

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO PORTO DO RIO
GRANDE UTILIZANDO A TÉCNICA DE SIMULAÇÃO**

NATÁLIA LEMKE

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Milton Luiz Paiva de Lima,
Dr. Eng. de Produção.

Rio Grande, março de 2008.

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO PORTO DO RIO GRANDE UTILIZANDO A TÉCNICA DE SIMULAÇÃO

NATÁLIA LEMKE

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA OCEÂNICA

tendo sido aprovada em sua forma final pela Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica.

Prof. Dr. André Tavares da Cunha
Guimarães
Coordenador da Comissão de Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Milton Luiz Paiva de Lima
Orientador – FURG

Prof. Dr. João Carlos Souza
UFSC

Prof. Dr^a. Catia Maria dos Santos Machado
FURG

Prof. Dr. Geralcy Carneiro da Silva
FURG

Dedico este trabalho aos meus amigos e à
minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Milton Luiz Paiva de Lima, pela orientação, dedicação, apoio e pela confiança depositada em meu trabalho.

Ao Professor Dr. Cezar Augusto Burkert Bastos pelo apoio, incentivo e pela colaboração.

A Professora Dr^a. Ana Maria Azambuja pela colaboração e apoio.

Ao Professor Dr. André Tavares da Cunha Guimarães pelo apoio e pela colaboração.

Ao Professor Dr. Cláudio Renato Rodrigues Dias pela colaboração e pelo incentivo.

Aos Professores Dr. Paulo Roberto de Freitas Texeira, e Me. Ernesto Luiz Gomes Alquati pelo apoio.

À Professora Mariza Schuch pela colaboração.

À Superintendência do Porto do Rio Grande pela transmissão de muitas informações e dados essenciais para a realização do presente estudo.

À Nilza T. Loureiro Rodrigues pela contínua colaboração.

A todos os meus amigos do PET – Eng. Civil, que de alguma maneira colaboraram.

À amiga Me. Karina Pires Duarte pela colaboração e conhecimentos transmitidos.

Às amigas Alessandra Vieira Migliorini e Regina Vieira pela colaboração e apoio.

Às amigas Ana Paula Gomes, e Talita Caroline Miranda, pela colaboração e pelo apoio.

À Andréia Schneid, Natielle Schneid, Tatiana Gouvêa e Fabrício Spiering pela amizade.

A todos os meus queridos familiares e amigos que, de alguma forma colaboraram.

Ao meu irmão, Alexandre Lemke, pela amizade e apoio.

Aos meus pais, João Mário Lemke e Elisa Beatriz Kuhn Lemke, pela vida, carinho, compreensão e incentivo.

Ao meu noivo, Marcelo Wiegand, pelo carinho, apoio e pela compreensão.

A Deus pela grande força que sempre me deu.

RESUMO

Este trabalho teve como propósito realizar uma análise da operação do Porto do Rio Grande, através da técnica de Simulação, com o auxílio do *software* Arena. O estudo foi feito para o terminal público Porto Novo e para os terminais de iniciativa privada do Superporto, os quais são: Bianchini, Bunge Alimentos, Copesul, Petrobrás, Tecon, Tergrasa, Termasa e Trevo Operadora. Nos terminais que possuem mais de um local de atracação, foram efetuadas duas análises: para o sistema íntegro, e para cada berço separadamente. Esta dissertação apresentou ainda como objetivo, comparar os resultados obtidos pela técnica de Teoria de Filas com a técnica de Simulação, as quais são utilizadas em modelagem de sistemas. Para tal, utilizaram-se os resultados fornecidos por Duarte (2007), que em sua dissertação de mestrado, realizou a análise operacional do Porto do Rio Grande, através do método de Teoria de Filas.

Primeiramente, foram averiguados os dados de movimentação de navios do porto, durante os anos de 2004, 2005 e 2006, os quais foram fornecidos pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). Em seguida, analisaram-se os intervalos entre as chegadas de navios, e os tempos de cada atendimento, com intuito de representar estes dados através de uma determinada distribuição estatística. Especificamente, para o terminal Tecon, foram realizadas análises mensais dos processos de chegada e de atendimento, com a finalidade de estimar a demanda para os próximos anos, pois este terminal passará a operar com mais um berço de atracação.

Posteriormente, construíram-se fluxogramas de simulação, para cada situação, de acordo com o número de locais de atracação, onde foram aplicados os valores estatísticos corretos que representaram os dados de chegada e de atendimento. Para cada simulação, o programa Arena forneceu inúmeros resultados, entre eles, o índice de congestionamento.

Como um dos principais resultados, constatou-se que o terminal Tecon apresentou consideráveis reduções em termos de congestionamento, nas simulações realizadas para o ano de 2009, em que este terminal contará com mais um local de atracação.

Palavras - Chave: Operacionalidade, Simulação, Porto do Rio Grande.

ABSTRACT

This work had as intention to carry through an analysis of the operation of the Port of Rio Grande, through the technique of Simulation, with the aid of software “Arena”. The study was made for the public terminal called Novo Porto and the terminals of private initiative of Superporto, which are: Bianchini, Bunge Alimentos, Copesul, Petrobrás, Tecon, Tergrasa, Termasa and Trevo Operadora. In the terminals that possess a mooring place more than, two analyses had been effected: for the complete system, and each cradle separately. This paper still presented as objective, to compare the results gotten for the technique of Theory of Lines with the technique of Simulation, which are used in modeling of systems. For such, the results supplied for Duarte had been used (2007), that in its master’s paper, carried through the operational analysis of the Port of Rio Grande, through the method of Theory of Lines.

First, the data of movement of ships of the port had been inquired, during the years of 2004, 2005 and 2006, which had been supplied by the Supervision of the Port of Rio Grande (SUPRG). After that, the intervals between the arrivals of ships, and the times of each attendance had been analyzed, with intention to represent these data through one definitive distribution statistics. Specifically, for the Tecon terminal, monthly analyses of the processes of arrived and attendance had been carried through, with the purpose esteem the demand for the next years, therefore this terminal will start to operate with plus a cradle of mooring.

Later, simulation flowcharts had been constructed, for each situation, in accordance with the number of mooring places, where the correct statistical values that had represented the data of fond and of attendance had been applied. For each simulation, the program “Arena” supplied innumerable resulted, between them, the index of congestion. As one of the main results, one evidenced that the Tecon terminal presented considerable reductions in congestion terms, in the simulations carried through for the year of 2009, where this terminal will count on plus a mooring place.

Words - Key: Operationalization, Simulation, Port of Rio Grande.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	12
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE FIGURAS	17
1. INTRODUÇÃO	21
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivos Específicos	22
1.3 JUSTIFICATIVA.....	22
1.4 ESTUDOS DE OPERAÇÕES LOGÍSTICAS E PORTUÁRIAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE SIMULAÇÃO.....	23
1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	24
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2. MODELAGEM DE SISTEMAS	26
2.1 INTRODUÇÃO	26
2.2 TEORIA DE FILAS APLICADA AOS SISTEMAS PORTUÁRIOS.....	27
2.2.1 Introdução	27
2.2.2 Aplicações do Método da Teoria de Filas	28
2.2.3 Fatores Condicionantes da Operação dos Sistemas	28
2.2.3.1 Forma dos Atendimentos	28
2.2.3.2 Forma de Chegadas	29
2.2.3.3 Disciplina da Fila	30
2.2.4 Estruturas dos Sistemas de Filas	30
2.2.5 Variáveis de um Sistema	31
2.2.6 Sistema de um Canal e uma Fila com População Infinita	33
2.2.6.1 Relações entre TF, TS, NF e NS	35
2.2.6.2 Ritmo de Atendimento ou Taxa de Serviço para Mínimo Custo Total do Sistema.....	36
2.2.7 Sistema de uma Fila e Diversos Canais	37
2.2.8 Sistema de um Canal com População Finita	38
2.3 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO	39
2.3.1 Análise do Processo de Chegada	39
2.3.2 Análise do Processo de Atendimento	40
2.3.3 Distribuições de Probabilidades	41
2.3.3.1 Definição da Distribuição Exponencial	41
2.3.3.2 Distribuição de Poisson	42
2.3.3.3 Distribuição Lognormal.....	42
2.3.3.4 Funções de Distribuição Cumulativa	43
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	43
3. SIMULAÇÃO	44
3.1 INTRODUÇÃO	44

3.2 ASPECTOS HISTÓRICOS	44
3.3 CONCEITUAÇÃO DE SIMULAÇÃO	45
3.4 APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO	46
3.4.1 Linhas de Produção	47
3.4.2 Comunicações	47
3.4.3 Bancos, Supermercados, Escritórios, etc	47
3.4.4 Confiabilidade ou Disponibilidade	48
3.4.5 Processamento de Dados	48
3.4.6 <i>Call Center</i>	48
3.4.7 Logística	49
3.5 VANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO	50
3.6 ETAPAS NA REALIZAÇÃO DE UMA SIMULAÇÃO	51
3.6.1 Formulação do Problema	51
3.6.2 Coleta de Dados	51
3.6.3 Identificação das Variáveis	51
3.6.4 Formulação do Problema	52
3.6.5 Avaliação do Modelo	52
3.7 O MÉTODO DE MONTE CARLO	53
3.7.1 Conceito Fundamental	54
3.7.2 Procedimento	55
3.7.3 Números Aleatórios	55
3.8 ESTIMATIVA DO NÚMERO DE EXPERIMENTOS	55
3.9 O USO DO COMPUTADOR EM SIMULAÇÃO	56
3.9.1 <i>Softwares</i> para Simulação	56
3.9.2 Uma Visão do <i>Software Arena</i>	57
3.9.2.1 Ambiente de Trabalho do Arena	58
3.9.2.2 Relatórios do Arena	63
3.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	64
4. UMA VISÃO DO LOCAL DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: O PORTO DO RIO GRANDE	65
4.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO PORTO DO RIO GRANDE	65
4.2 MOLHES DA BARRA DO RIO GRANDE	66
4.3 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA	67
4.4 ESTRUTURA DO PORTO DO RIO GRANDE	67
4.4.1 Porto Velho	68
4.4.2 Porto Novo	69
4.4.3 Superporto	70
4.4.4 Terminal Bianchini	70
4.4.5 Terminal Bunge Alimentos	71
4.4.6 Terminal Copesul	72
4.4.7 Terminal Petrobrás	72
4.4.8 Terminal Tecon	73
4.4.9 Terminal Termasa	74
4.4.10 Terminal Tergrasa	74
4.4.11 Terminal Trevo Operadora Ltda	75
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	76
5. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SIMULAÇÃO AO PORTO DO RIO GRANDE	77
5.1 INTRODUÇÃO	77

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROCEDIMENTOS EMPREGADOS PARA ANALISAR OS PROCESSOS DE CHEGADAS E DE ATENDIMENTO NO CASO EM ESTUDO	78
5.2.1 Processo de Chegada	78
5.2.2 Processo de Atendimento	80
5.3 ANÁLISES DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO NO PORTO DO RIO GRANDE	80
5.3.1 Terminal Porto Novo	80
5.3.2 Terminal Bianchini	86
5.3.3 Terminal Bunge Alimentos	88
5.3.4 Terminal Copesul	90
5.3.5 Terminal Petrobrás	94
5.3.6 Terminal Tecon	98
5.3.7 Terminal Tergrasa	102
5.3.8 Terminal Termasa	106
5.3.9 Terminal Trevo Operadora	108
5.4 ANÁLISES MENS AIS DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO NO TERMINAL TECON.....	110
5.5 MODELO DE SIMULAÇÃO	117
5.6 RESULTADOS REFERENTES ÀS SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA OS ANOS DE 2004, 2005 E 2006 PARA OS TERMINAIS DO PORTO DO RIO GRANDE.....	121
5.6.1 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	125
5.6.2 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais do Superporto	126
5.6.3 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	127
5.6.4 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais do Porto do Rio Grande	128
5.6.5 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para todos os Berços de Atracação e Terminais do Porto do Rio Grande	129
5.6.6 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	130
5.6.7 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais do Superporto	131
5.6.8 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	132
5.6.9 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais do Porto do Rio Grande	133
5.6.10 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande	134
5.6.11 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	135
5.6.12 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais do Superporto	136
5.6.13 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	138
5.6.14 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais do Porto do Rio Grande	139

5.6.15	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Porto do Rio Grande	140
5.6.16	Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	141
5.6.17	Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais do Superporto	142
5.6.18	Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	143
5.6.19	Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande	145
5.6.20	Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande	146
5.6.21	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	147
5.6.22	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais do Superporto	148
5.6.23	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	149
5.6.24	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande	151
5.6.25	Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande	151
5.6.26	Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação	153
5.6.27	Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais do Superporto	154
5.6.28	Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto	155
5.6.29	Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande	156
5.6.30	Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Porto do Rio Grande	157
5.7	RESULTADOS REFERENTES ÀS SIMULAÇÕES REALIZADAS MENSALMENTE PARA O TERMINAL TECON.....	159
5.7.1	Resultados Mensais Referentes ao Índice de Congestionamento para o Terminal Tecon.....	162
5.7.2	Resultados Mensais Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para o Terminal Tecon.....	163
5.7.3	Resultados Mensais Referentes ao Tempo Médio de Permanência na Fila para o Terminal Tecon.....	164
5.7.4	Resultados Mensais Referentes ao Número Médio de Navios no Sistema para o Terminal Tecon.....	165
5.7.5	Resultados Mensais Referentes ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para o Terminal Tecon.....	166
5.7.6	Resultados Mensais Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para o Terminal Tecon.....	167
6.	RELAÇÕES ENTRE AS TÉCNICAS DE TEORIA DE FILAS E DE SIMULAÇÃO..	168
6.1	INTRODUÇÃO	168

6.2 RESULTADOS OBTIDOS PELAS TÉCNICAS DE TEORIA DE FILAS E DE SIMULAÇÃO	169
6.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	173
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS	175
7.1 CONCLUSÕES	175
7.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS	176
ANEXO A. TELA DA ANÁLISE DE CHEGADAS DO PROGRAMA ARENA	177
ANEXO B. TELA DA ANÁLISE DO ATENDIMENTO DO PROGRAMA ARENA	178
ANEXO C. TELA DA FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DO PROGRAMA ARENA	179
ANEXO D. TELA DO FLUXOGRAMA DO PROGRAMA ARENA	180
ANEXO E. TELA DO MÓDULO <i>CREATE</i> DO PROGRAMA ARENA	181
ANEXO F. TELA DO MÓDULO <i>PROCESS</i> DO PROGRAMA ARENA	182
ANEXO G. TELA DO TEMPLATE <i>RESOURCE</i> DO PROGRAMA ARENA	183
ANEXO H. TELA DO MÓDULO <i>DISPOSE</i> DO PROGRAMA ARENA.....	184
ANEXO I. TELAS DOS RELATÓRIOS DO PROGRAMA ARENA.....	185
ANEXO J. TELAS DA ANÁLISE DE CHEGADAS DO PROGRAMA <i>STATISTICA</i>	187
ANEXO L. TELAS DA ANÁLISE DE ATENDIMENTOS DO PROGRAMA <i>STATISTICA</i>	188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente que determina o grau de confiança estatístico de uma amostra;
δ	Média do logaritmo neperiano de uma variável;
σ	Desvio padrão do logaritmo neperiano de uma variável;
λ	Ritmo médio de chegadas;
μ	Ritmo médio de atendimentos;
ρ	Índice de congestionamento ou taxa de utilização do sistema;
μ^*	Taxa de serviço que resulta no menor custo total do sistema;
Δt	Intervalo de tempo;
∞	Infinito;
C	Quantidade de atendentes;
CA_{unit}	Custo de atendimento unitário, por cliente;
CE_{unit}	Custo de estada unitário (por cliente) por período;
e	Número de Euler;
$E(t)_{atendimento}$	Média da distribuição exponencial para o tempo de atendimento;
$E(t)_{chegada}$	Média da distribuição exponencial para o intervalo entre chegadas;
$f(x)$	Função densidade de probabilidade;
$F(x)$	Função cumulativa de probabilidades;
IC	Intervalo médio entre chegadas;
K	Número finito de clientes;
n	Número “n” de clientes;
M	Número de servidores (atendentes);
NA	Número médio de clientes que estão sendo atendidos;
NF	Número médio de clientes na fila;
NS	Número médio de clientes no sistema;
$P_{(n>0)}$	Probabilidade de o sistema estar ocupado;
$P_{(ocupação\ total)}$	Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados;
$P_{(W=0)}$	Probabilidade do tempo de espera ser igual à zero;
P_n	Probabilidade de o sistema ter “n” clientes;
P_0	Probabilidade de o sistema estar ocioso;

TA	Tempo médio de atendimento ou serviço;
TF	Tempo médio de clientes na fila;
$TF_{(espera>0)}$	Tempo médio de espera na fila (quando há fila);
TS	Tempo médio do cliente no sistema;
W	Distribuição dos tempos de espera;
X	Variável aleatória.
Y	Variável com distribuição uniforme.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Principais <i>softwares</i> de simulação.....	57
Tabela 5.1 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o Porto Novo como um todo, no ano de 2006.....	81
Tabela 5.2 - Distribuição cumulativa para o processo de chegadas de navios no Porto Novo - 2006.....	82
Tabela 5.3 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o Porto Novo como um todo, no ano de 2006.....	83
Tabela 5.4 - Distribuição cumulativa para o processo de atendimento de navios no Porto Novo – 2006.....	84
Tabela 5.5 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Bianchini como um todo, no ano de 2006.....	86
Tabela 5.6 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Bianchini como um todo, no ano de 2006.	87
Tabela 5.7 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Bunge Alimentos como um todo, no ano de 2006.....	88
Tabela 5.8 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Bunge Alimentos como um todo, no ano de 2006.....	89
Tabela 5.9 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Copesul, no ano de 2006.....	90
Tabela 5.10 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal Copesul 2006.....	– 91
Tabela 5.11 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Copesul, no ano de 2006.....	93
Tabela 5.12 - Distribuição Cumulativa para o atendimento de navios no terminal Copesul – 2006.....	93
Tabela 5.13 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Petrobrás como um todo, no ano de 2006.	95
Tabela 5.14 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal	95

Petrobrás – 2006.....	
Tabela 5.15 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Petrobrás como um todo, no ano de 2006.....	97
Tabela 5.16 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Petrobrás – 2006.....	97
Tabela 5.17 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Tecon, no ano de 2006.....	99
Tabela 5.18 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal Tecon – 2006.....	99
Tabela 5.19 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Tecon, no ano de 2006.....	101
Tabela 5.20 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Tecon – 2006.....	101
Tabela 5.21 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Tergrasa como um todo, no ano de 2006.....	103
Tabela 5.22 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Tergrasa como um todo, no ano de 2006.....	104
Tabela 5.23 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Tergrasa – 2006.....	105
Tabela 5.24 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Termasa como um todo, no ano de 2006.....	107
Tabela 5.25 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Termasa como um todo, no ano de 2006.....	108
Tabela 5.26 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Trevo Operadora como um todo, no ano de 2006.....	109
Tabela 5.27 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Trevo Operadora como um todo, no ano de 2006.....	111
Tabela 5.28 - Resultados obtidos para processo de chegadas no ano de 2004.....	112
Tabela 5.29 - Resultados obtidos para processo de chegadas no ano de 2005.....	112
Tabela 5.30 - Resultados obtidos para processo de chegadas no ano de 2006.....	113
Tabela 5.31 - Resultados obtidos para processo de atendimento no ano de 2004.....	114
Tabela 5.32 - Resultados obtidos para processo de atendimento no ano de 2005.....	114
Tabela 5.33 - Resultados obtidos para processo de atendimento no ano de 2006.....	115

Tabela 5.34 - Taxas médias mensais para o processo de chegada.....	116
Tabela 5.35 - Taxas médias para os tempos de atendimento.....	
Tabela 5.36 - Taxas médias para o desvio padrão mensal, referente ao processo de atendimento.....	116
Tabela 5.37 - Equações estimadas para os processos de chegada e de atendimento para o ano de 2009, no terminal Tecon.....	117
Tabela 5.38 - Resultados referentes aos processos de chegadas, de atendimento e ao índice de congestionamento.....	122
Tabela 5.39 - Resultados referentes ao número e tempo médio de navios na fila, e ao número e tempo médio de navios no sistema.....	123 124
Tabela 5.40 - Resultados referentes às probabilidades de os sistemas estarem ociosos ou não.....	
Tabela 5.41 - Resultados referentes ao índice de congestionamento, número médio de navios na fila, tempo médio de permanência na fila, e ao número médio de navios no sistema.....	160
Tabela 5.42 - Resultados referentes ao tempo médio de permanência no sistema, à probabilidade de não haver navios no sistema, e à probabilidade de haver navios no sistema.....	161
Tabela 6.1 - Resultados referentes aos processos de chegada, de atendimento, e ao índice de congestionamento.....	170
Tabela 6.2 - Resultados referentes ao número médio de navios na fila, ao tempo médio de permanência na fila, e ao número médio de navios no sistema.....	171
Tabela 6.3 - Resultados referentes ao tempo médio de permanência no sistema, à probabilidade de não haver navios no sistema, e à probabilidade de haver navios no sistema.....	172

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Uma fila e um canal de atendimento.....	30
Figura 2.2 - Uma fila e múltiplos canais de atendimento em paralelo.....	30
Figura 2.3 - Múltiplas filas e múltiplos canais de atendimento em paralelo.....	31
Figura 2.4 - Uma fila e múltiplos canais de atendimento em séries.....	31
Figura 2.5 - Localização das variáveis.....	32
Figura 2.6 - Distribuição exponencial negativa.....	40
Figura 3.1 - Etapas na realização de uma simulação.....	53
Figura 3.2 - O ambiente de trabalho do Arena.....	58
Figura 3.3 - Eventos e fluxograma.....	59
Figura 3.4 - Módulos do <i>template Basic Process</i>	60
Figura 3.5 - Blocos <i>Create, Process e Dispose</i>	60
Figura 3.6 - Tela <i>Create</i>	61
Figura 3.7 - Tela <i>Process</i>	61
Figura 3.8 - Tela <i>Dispose</i>	62
Figura 3.9 - Tela de <i>Run Setup</i>	62
Figura 3.10 - Área de planilhas – <i>Resource</i>	63
Figura 3.11 - Exemplo de relatório do Arena.....	64
Figura 4.1 - Estrutura do Porto do Rio Grande.....	68
Figura 4.2 - Vista aérea do Porto Velho.....	68
Figura 4.3 - Vista aérea do Porto Novo.....	69
Figura 4.4 - Vista aérea do Superporto.....	70
Figura 4.5 - Terminal Bianchini.....	71
Figura 4.6 - Terminal Bunge Alimentos.....	71
Figura 4.7 - Terminal Copesul.....	72
Figura 4.8 - Terminal Petrobrás.....	73
Figura 4.9 - Terminal Tecon.....	73
Figura 4.10 - Terminal Termasa.....	74
Figura 4.11 - Terminal Tergrasa.....	75
Figura 4.12 - Terminal Trevo Operadora Portuária Ltda.....	76
Figura 5.1 - Processo de chegadas de navios no Porto Novo – 2006.....	82

Figura 5.2 - Processo de atendimento de navios no Porto Novo – 2006.....	85
Figura 5.3 - Processo de chegadas de navios no terminal Bianchini – 2006.....	86
Figura 5.4 - Processo de atendimento de navios no terminal Bianchini – 2006.....	87
Figura 5.5 - Processo de chegadas de navios no terminal Bunge Alimentos – 2006.....	89
Figura 5.6 - Processo de atendimento de navios no terminal Bunge Alimentos – 2006.....	90
Figura 5.7 - Processo de chegadas de navios no terminal Copesul – 2006.....	92
Figura 5.8 - Processo de atendimento de navios no terminal Copesul – 2006.....	94
Figura 5.9 - Processo de chegadas de navios no terminal Petrobrás – 2006.....	96
Figura 5.10 - Processo de atendimento de navios no terminal Petrobrás – 2006.....	98
Figura 5.11 - Processo de chegadas de navios para o terminal Tecon – 2006.....	100
Figura 5.12 - Processo de atendimento de navios para o terminal Tecon – 2006.....	102
Figura 5.13 - Processo de chegadas de navios para o terminal Tergrasa – 2006.....	103
Figura 5.14 - Processo de atendimento de navios para o terminal Tergrasa – 2006.....	104
Figura 5.15 - Processo de chegadas de navios para o terminal Termasa – 2006.....	107
Figura 5.16 - Processo de atendimento de navios para o terminal Termasa – 2006.....	108
Figura 5.17 - Processo de chegadas de navios para o terminal Trevo Operadora – 2006.....	109
Figura 5.18 - Processo de atendimento de navios para o terminal Trevo Operadora – 2006.....	110
Figura 5.19 - Fluxograma do programa Arena para os terminais do Porto do Rio Grande.....	118
Figura 5.20 - Processo de chegadas do terminal Tergrasa - 2006.....	118
Figura 5.21 - Processo de atendimento do terminal Tergrasa - 2006.....	119
Figura 5.22 - Identificação do número de atendentes do terminal Tergrasa - 2006.....	120
Figura 5.23 - Opções de controle da execução para o terminal Tergrasa - 2006.....	120
Figura 5.24 - Índices de congestionamento para o terminal Porto Novo e berços de atracação.....	125
Figura 5.25 - Índices de congestionamento para os terminais do Superporto.....	126
Figura 5.26 - Índices de congestionamento para os terminais e berços do Superporto.....	127
Figura 5.27 - Índices de congestionamento para os terminais do Porto do Rio Grande.....	129
Figura 5.28 - Índices de congestionamento para os terminais e berços do Porto do	

Rio Grande.....	130
Figura 5.29 - Número médio de navios na fila para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.....	131
Figura 5.30 - Número médio de navios na fila para os terminais do Superporto.....	132
Figura 5.31 - Número médio de navios para os terminais e berços do Superporto.....	133
Figura 5.32 - Número médio de navios para os terminais do Porto do Rio Grande.....	134
Figura 5.33 - Número médio de navios para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.....	135
Figura 5.34 - Tempo médio na fila para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.....	136
Figura 5.35 - Tempo médio na fila para os terminais do Superporto.....	137
Figura 5.36 - Tempo médio na fila para os terminais e berços do Superporto.....	138
Figura 5.37 - Tempo médio na fila para os terminais do Porto do Rio Grande.....	139
Figura 5.38 - Tempo médio na fila para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.....	140
Figura 5.39 - Número médio de navios no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.....	141
Figura 5.40 - Número médio de navios no sistema para os terminais do Superporto....	142
Figura 5.41 - Número médio de navios no sistema para os terminais e berços do Superporto.....	144
Figura 5.42 - Número médio de navios no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.....	145
Figura 5.43 - Número médio de navios no sistema para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.....	146
Figura 5.44 - Tempo médio no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.....	147
Figura 5.45 - Tempo médio no sistema para os terminais do Superporto.....	148
Figura 5.46 - Tempo médio no sistema para os terminais e berços do Superporto.....	150
Figura 5.47 - Tempo médio no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.....	151
Figura 5.48 - Tempo médio no sistema para os terminais e berços do Porto do Rio	

Grande.....	152
Figura 5.49 - Probabilidade de não haver navios no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.....	153
Figura 5.50 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais do Superporto.....	154
Figura 5.51 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais e berços do Superporto.....	156
Figura 5.52 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.....	157
Figura 5.53 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.....	158
Figura 5.54 - Índice de congestionamento para o terminal Tecon.....	162
Figura 5.55 - Número médio de navios na fila para o terminal Tecon.....	163
Figura 5.56 - Tempo médio de espera em fila para o terminal Tecon.....	164
Figura 5.57 - Número médio de navios no sistema para o terminal Tecon.....	165
Figura 5.58 - Tempo médio de permanência no sistema para o terminal Tecon.....	166
Figura 5.59 - Probabilidade de não haver navios no sistema para o terminal Tecon.....	167

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A economia dos transportes e da logística está passando por um período de grandes mudanças. A progressiva e inexorável liberalização do comércio mundial tem estado na base de seu crescimento significativo. O fenômeno da globalização das economias tem provocado um forte impacto nas soluções de exigências de transporte e de logística (Braga, 2006).

O transporte é um dos subsistemas mais importantes da logística, do qual, o subsistema portuário é parte integrante e fundamental para o desenvolvimento do comércio exterior. Portanto, os portos devem ser eficientes, contribuindo para o crescimento da economia regional, nacional e mundial.

Na era da globalização, rodovias, ferrovias, hidrovias, portos, dutos e aeroportos do Brasil precisam estar cada vez mais integrados, física e operacionalmente, permitindo obter o melhor aproveitamento de cada modal de transporte, a fim de reduzir distâncias, ganhar tempo, baixar fretes e tornar os produtos do país mais baratos no mercado interno, e mais competitivos no mercado externo. Em relação aos sistemas portuários brasileiros, não há dúvida de que seus custos ainda são muito altos, afetando assim na eficiência dos mesmos.

Com base nestes critérios, aplicou-se a técnica de Simulação, através do *software* Arena, ao Porto do Rio Grande, com a finalidade de avaliar sua operacionalidade nos anos de 2004, 2005 e 2006. A técnica foi aplicada ao terminal Porto Novo, o qual é público, e aos terminais privativos do Superporto, os quais são Termasa, Tergrasa, Tecon, Bianchini, Bunge Alimentos, Copesul, Trevo Operadora e Petrobrás. Estas análises foram realizadas considerando os processos de chegada e de atendimento para cada terminal como um sistema global, e também separadamente em função do número de berços de atracação, quando aplicável esta situação. A técnica de simulação também foi aplicada visando estimar a operacionalidade, em termos de congestionamento, do terminal Tecon, para o ano de 2009, pois a partir deste ano estará operando com mais um berço de atracação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise da operação do Porto do Rio Grande, em termos de congestionamento, através do estudo dos dados de movimentação de navios, usando a técnica de Simulação, e comparar os resultados obtidos por esta técnica com a de Teoria de Filas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Comparar os resultados obtidos com os dados reais observados;
- Fazer um diagnóstico da situação operacional dos terminais do Porto do Rio Grande, e também dos diversos berços de atracação, separadamente;
- Aplicar a técnica de Simulação ao terminal Tecon, com a finalidade de estimar o seu comportamento em relação ao congestionamento, para o ano de 2009.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a moderna Logística tem como ponto fundamental a satisfação dos clientes, a qual deve ser conseguida sem perder de vista a questão dos custos. Dessa forma, deve haver uma preocupação no estabelecimento do nível de serviço adequado a ser oferecido e seus custos. Para que isso seja conseguido, é necessário que os diversos subsistemas que formam o chamado sistema logístico estejam funcionando adequadamente.

Um dos subsistemas mais importantes da logística é o de transportes e, compondo este, pode-se destacar o subsistema portuário, o qual deve operar dentro de certos padrões para que o sistema como um todo funcione satisfatoriamente.

Assim, é importante que se aplique alguma metodologia que possibilite a avaliação das operações portuárias, pois isso permite a tomada de decisões corretivas, caso este importante subsistema apresente tendência de diminuição do padrão de atendimento como, por exemplo, a tendência de formação de congestionamentos, formação de filas de espera, etc.

Segundo a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG, 2007), no cenário atual do comércio exterior uma das grandes exigências tem sido a cobrança de mais rapidez no atendimento, devido aos altos custos envolvidos nesse setor. Quanto mais eficiente na operação for o porto, menor será o tempo de permanência do navio, diminuindo os custos com fretes. Com isso, o porto torna-se mais competitivo. São muitos os fatores que influenciam na eficiência portuária, entre eles, ressaltam-se: a velocidade de movimentação de contêineres e navios, a seleção de armadores e companhias, a profundidade do canal de navegação, a adaptabilidade às mudanças no mercado, e a acessibilidade ao transporte terrestre.

Diante deste contexto, entende-se que é importante a aplicação de uma metodologia que, baseada nos dados de movimentação do porto coletados ano a ano, permite dar uma idéia a respeito da sua operacionalidade, conforme será exposto na próxima seção.

1.4 ESTUDOS DE OPERAÇÕES LOGÍSTICAS E PORTUÁRIAS ATRAVÉS DA TÉCNICA DE SIMULAÇÃO

Atualmente diversos pesquisadores têm realizado estudos relacionados à operacionalidade de sistemas portuários. Uma metodologia largamente utilizada para estes estudos é a construção de modelos matemáticos através de específicas equações, visando evidenciar a situação operacional dos portos. No entanto, devido às inúmeras dificuldades encontradas no estudo de um complexo portuário, tem-se adotado uma técnica que possibilita identificar os pontos onde ocorrem gargalos, e assim tentar solucionar o problema, a qual é a simulação.

A técnica de simulação está sendo amplamente utilizada nas mais diversas áreas de conhecimento. Cabe destacar alguns estudos desenvolvidos através deste método para operações logísticas e portuárias, os quais são:

- Modelagem e Simulação: Poderosa Ferramenta para a Otimização de Operações Logísticas (Carvalho, 2003);
- Modelo de Simulação de Operações Portuárias (Saliby, 1998);
- Tecnologia de Informação: uso da Simulação para Obtenção de Melhorias em Operações Logísticas (Saliby, 2000);

- Análises das Operações com Embarcações de apoio *Offshore* na Bacia de Campos – RJ (Batista, 2005).

Com base nestes estudos, foi realizado este trabalho, que consiste em empregar a técnica de simulação para avaliar a operacionalidade no sistema portuário de Rio Grande, e assim, diagnosticar pontos onde ocorrem ou podem ocorrer congestionamento, e testar hipóteses para melhorar o sistema em questão, sem refletir em custos extremamente dispendiosos, de maneira a colaborar com a operacionalidade do Porto do Rio Grande, em termos de congestionamento.

1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Para a realização deste trabalho foram analisados dados referentes aos processos de chegadas e de atendimentos de todos os terminais do Porto do Rio Grande durante os anos de 2004, 2005 e 2006. Este conjunto de amostras foi obtido através do setor de estatística da Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). Para analisar amostras de tamanhos maiores, seria necessário disponibilizar-se de mais tempo para a realização da pesquisa. Deste modo, o estudo ficou limitado no período referido.

Em relação ao *software* utilizado para a realização deste trabalho, pode-se aferir que o programa Arena foi muito utilizado em diversos trabalhos acadêmicos, propiciando ótimos resultados. Além disso, este programa encontra-se facilmente disponível no mercado, tornando um processo simples a sua obtenção.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho, além do capítulo de Introdução, é composto de 6 capítulos.

O capítulo 2 trata de técnicas para a Modelagem de Sistemas, no qual está apresentada a Teoria de Filas, com suas diversas aplicações, estruturas dos sistemas de filas, e suas variáveis.

O capítulo 3 aborda sobre a principal questão do estudo, a qual é a Simulação, onde são apresentadas conceituações, aplicações, vantagens, assim como a utilização do *software* Arena.

No capítulo 4 é apresentada uma visão do Porto do Rio Grande, onde são citadas algumas características geográficas, assim como a sua estrutura.

O capítulo 5 fornece a metodologia utilizada, através dos *softwares* Arena e *Statistica*, bem como os resultados obtidos.

No capítulo 6 também são mostrados resultados, mas referentes à comparação entre as técnicas de Teoria de Filas e de Simulação.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do presente estudo, e sugestões para próximas pesquisas.

2. MODELAGEM DE SISTEMAS

2.1 INTRODUÇÃO

Ao efetuar certos tipos de estudos de planejamento é comum haver problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa. O cenário pode ser uma fábrica, o trânsito de uma cidade, um escritório, um porto, uma mineração, etc. Segundo Prado (2004) é muito importante o conhecimento da quantidade correta de pessoas e equipamentos (sejam eles máquinas, ferramentas, veículos, etc), do melhor leiaute e do melhor roteiro de fluxo dentro do sistema que está sendo analisado. Ou seja, deseja-se que o sistema tenha um funcionamento eficiente ou otimizado. Para que um sistema seja otimizado, o seu custo deve ser adequado, e os usuários devem estar satisfeitos com o ambiente ou com o serviço oferecido. Um sistema ou processo adequadamente dimensionado está balanceado. Os estudos necessários para alcançar a otimização, definem a modelagem de sistemas.

Estudos de modelagem de sistemas podem envolver modificações de leiaute, ampliações de fábricas, troca de equipamentos, automatização, dimensionamento de uma nova fábrica, etc. Assim, dado um determinado objetivo de produção ou de qualidade de atendimento, o estudo vai procurar definir a quantidade de atendentes (equipamentos, ferramentas, veículos, etc) e pessoas que devem estar em cada estação de trabalho, assim como o melhor leiaute e o melhor fluxo. Para dimensionar adequadamente um sistema, é necessário ter atenção às maneiras que ocorrem os processos de chegada e de atendimento, ao número de atendentes, à estrutura da fila, etc., e deve haver uma dedicação especial aos gargalos, ou seja, pontos onde ocorrem filas (Prado, 2004).

Ainda, conforme o mesmo autor, dentre as técnicas disponíveis para a Modelagem de Sistemas há a Teoria das Filas e a Simulação, sendo esta última a mais utilizada. A Teoria das Filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de equações matemáticas. Já a Simulação é uma técnica que, usando o computador digital, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo. Simulação, como o próprio nome indica, é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real. Os modernos programas de computador permitem construir modelos nos quais é possível visualizar na tela o funcionamento do sistema em estudo, tal como um filme. Antes de efetuar alterações no

sistema real, pode-se interagir com um sistema virtual. A junção da tradicional teoria da simulação com as técnicas modernas de computação e jogos (tais como vídeo games) tem possibilitado estes avanços.

A seguir será abordada a técnica de Teoria de Filas dentro do contexto portuário.

2.2 TEORIA DE FILAS APLICADA AOS SISTEMAS PORTUÁRIOS

2.2.1 Introdução

Segundo Andrade (1989) um dos tópicos da Pesquisa Operacional com muitas e variadas aplicações é a Teoria das Filas, que trata de problemas de congestionamento de sistemas, onde a característica principal é a presença de clientes solicitando serviços de alguma forma. Em sua expressão mais simples, um sistema de filas é composto por elementos que querem ser atendidos em um posto de serviço e que, eventualmente, devem esperar até que o posto esteja disponível. Um dos sintomas mais frequentes de funcionamento deficiente de um sistema é o congestionamento de clientes. Quando o número de clientes à espera de atendimento for muito grande permanentemente, é sinal de que o número de atendentes não está adequadamente dimensionado.

A abordagem matemática de filas surgiu no início deste século (1908) em Copenhague, Dinamarca, com A. K. Erlang, considerado o pai da Teoria das Filas, quando trabalhava em uma companhia telefônica estudando o problema de redimensionamento de centrais telefônicas. Somente a partir da Segunda Guerra Mundial a teoria foi aplicada a outros problemas de filas. Apesar do enorme progresso alcançado pela teoria, inúmeros problemas não são adequadamente resolvidos em decorrência de complexidades matemáticas (Prado, 2004).

Para Wagner (1986) a Pesquisa Operacional pode analisar muito eficazmente os fenômenos de filas ou congestionamentos. Mas como em todas as aplicações práticas de pesquisa operacional, os problemas relevantes de decisão devem ter significado econômico suficiente para garantir o dispêndio de esforço que é necessário para efetuar a análise científica.

2.2.2 Aplicações do Método da Teoria de Filas

Para Andrade (1989) as aplicações do Método da Teoria de Filas são muitas, destacam-se as seguintes:

- Estabelecimento de uma política de atendimento ao público, em empresas concessionárias de serviços públicos, determinando o número de atendentes e a especialização de cada um;
- Estudo de um sistema de almoxarifados, de forma a determinar os custos totais de operação;
- Estudo da operação de um centro de processamento de dados, com o objetivo de determinar políticas de atendimento e prioridades para a execução dos serviços;
- Determinação de equipes de manutenção em grandes instalações, onde há custos elevados associados aos equipamentos danificados à espera de reparos;
- Estudo de operações de caixas (bancos, supermercados, etc.) com o objetivo de estabelecer uma política ótima de atendimento ao público.

Vários outros casos de aplicações podem ser citados: programação de tráfego aéreo em aeroportos, determinação de capacidade em pátios de estacionamento de automóveis, tempo de espera em comunicações telefônicas, sincronização de semáforos, estudo e programação de linhas de montagem etc. Em todos os exemplos citados existem clientes solicitando serviços, que são limitados por restrições próprias do sistema. Assim, existe a possibilidade de que estes clientes venham a formar filas, até que o serviço solicitado possa ser prestado.

2.2.3 Fatores Condicionantes da Operação dos Sistemas

De acordo com Andrade (1989) existem diversos fatores que condicionam a operação de um sistema, os quais podem ser divididos em três categorias, explicadas a seguir.

2.2.3.1 Forma dos Atendimentos

De forma geral, os postos de atendimento são formados por pessoas, instalações e equipamentos que devem operar em sintonia, de forma a prestar um bom serviço. Por isso, existem diversos elementos passíveis de atuação por parte do administrador, com o objetivo

de aprimorar o desempenho do sistema, os quais são: dimensionamento da capacidade, treinamento de atendentes, rotinas administrativas, sistemas de informações etc.

Todos esses elementos podem ser observados, pesquisados, avaliados e aprimorados. O resultado da interação desses fatores aparece, para o cliente, como o tempo gasto em cada atendimento ou como o número de atendimentos que o sistema consegue fornecer. Assim, essa é a variável que o administrador deve observar em primeiro lugar.

O primeiro passo no estudo de um sistema de filas é o levantamento estatístico do número de clientes atendidos por unidade de tempo, ou do tempo gasto em cada atendimento. Esse tempo pode ser regular, ou seja, todos os atendimentos têm a mesma duração ou são aleatórios, que é a situação mais comum, onde cada cliente exige um tempo próprio para solução de seu problema. A finalidade do levantamento estatístico é, então, determinar a distribuição de probabilidades do número de atendimentos ou da duração de cada atendimento.

Há mais dois fatores que devem ser analisados na definição do regime de atendimento, os quais são: disponibilidade do serviço, já que alguns sistemas só atendem durante certo intervalo de tempo, enquanto outros estão sempre em disponibilidade; e a capacidade de atendimento simultâneo do sistema, isto é, o número de postos de serviço que podem atender aos clientes. Existem sistemas com apenas um posto ou com vários postos de atendimento. No sistema portuário, por exemplo, há terminais que possuem apenas um local de atracação, enquanto outros apresentam dois ou mais berços de atracação.

2.2.3.2 Forma de Chegadas

As chegadas de clientes a um sistema são na maioria dos casos, de forma aleatória, ou seja, o número de clientes que chegam por unidade de tempo varia ao acaso. Torna-se importante, dessa forma, realizar um levantamento estatístico com a finalidade de descobrir se o processo de chegadas pode ser caracterizado por uma distribuição de probabilidades. Para que essa caracterização possa ser feita, o processo de chegadas tem necessariamente que estar no chamado estado estacionário. Isto significa que a distribuição de probabilidades que identifica o processo de hoje será a mesma de amanhã.

Ao contrário, quando a distribuição de probabilidades de um evento varia com o tempo, o sistema é dito no estado não-estacionário ou transitório.

2.2.3.3 Disciplina da Fila

A disciplina da Fila consiste em um conjunto de regras que determinam a ordem em que os clientes serão atendidos. Esse atendimento pode ser feito pela ordem de chegada, pela ordem inversa de chegada, pelo atendimento com prioridade para certas idades, etc. Frequentemente, a disciplina da fila é *first come, first served* (o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido). Certamente é a ordenação mais fácil de manipular em modelos matemáticos. Algumas vezes ela é *last come, first served* (o último a chegar é o primeiro a ser atendido).

2.2.4 Estruturas dos Sistemas de Filas

Além das características gerais de um sistema de filas, é importante determinar a estrutura do mesmo, que é um elemento fundamental do estudo. De acordo com Fricker e Whitford (2004) o sistema pode ter as mais variadas estruturas, conforme indicam as Figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.

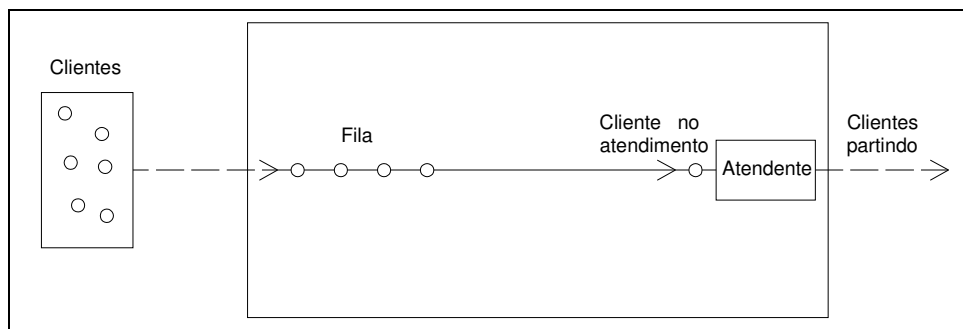


Figura 2.1 - Uma fila e um canal de atendimento.

Fonte: Adaptada de Fricker e Whitford (2004).

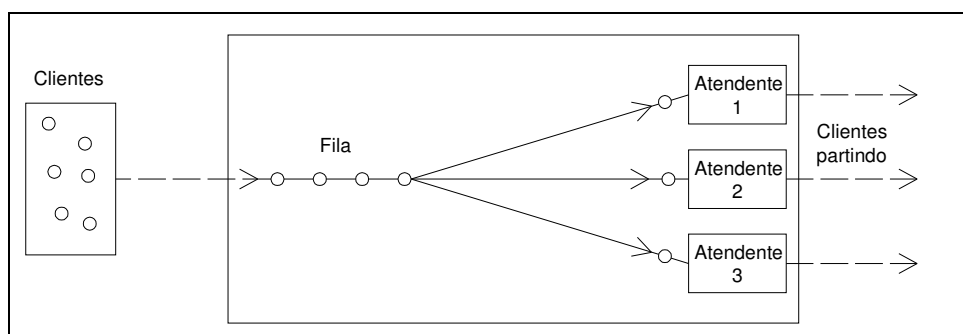


Figura 2.2 - Uma fila e múltiplos canais de atendimento em paralelo.

Fonte: Adaptada de Fricker e Whitford (2004).

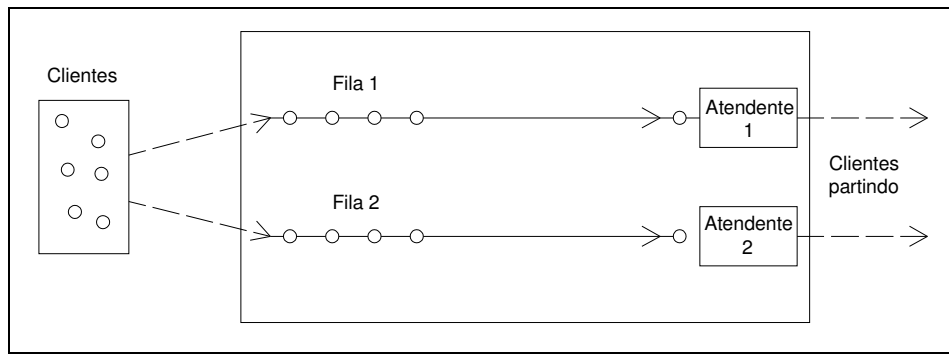


Figura 2.3 - Múltiplas filas e múltiplos canais de atendimento em paralelo.

Fonte: Adaptada de Fricker e Whitford (2004).

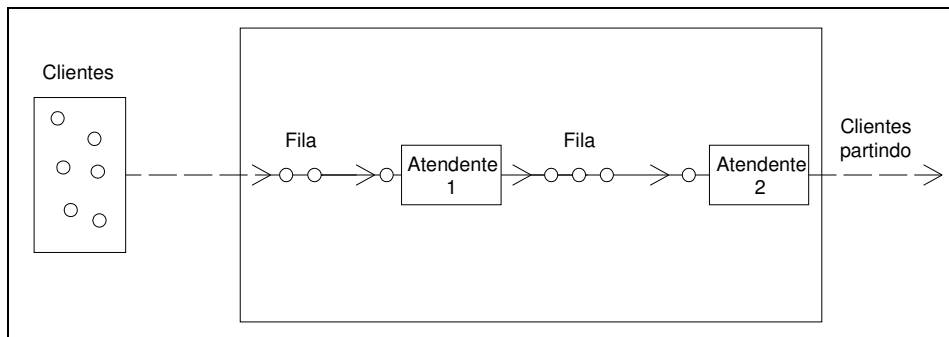


Figura 2.4 - Uma fila e múltiplos canais de atendimento em séries.

Fonte: Adaptada de Fricker e Whitford (2004).

2.2.5 Variáveis de um Sistema

Ao efetuar o dimensionamento de um sistema, é necessário conhecer as suas variáveis, como: tempo de espera do cliente na fila, a quantidade de atendentes, etc. Na Teoria de Filas e/ou na Simulação, estas variáveis são aleatórias, ou seja, são descritas por uma distribuição de probabilidades.

Na Figura 2.5, observa-se o exemplo de um sistema de filas, no qual clientes chegam e entram na fila, existindo M servidores para atendê-los.

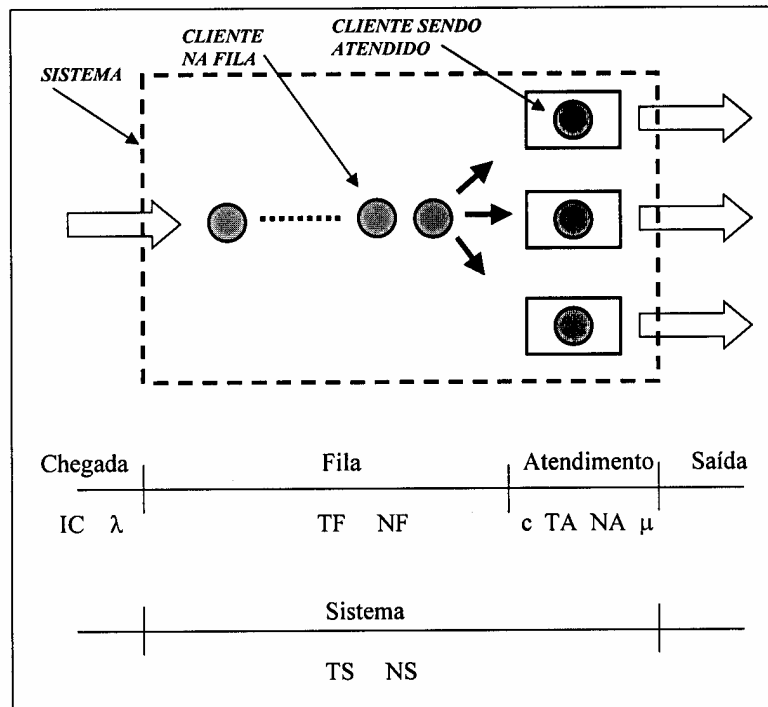


Figura 2.5 - Localização das variáveis.

Fonte: Prado (2004).

As variáveis aleatórias utilizadas em dimensionamento são (Prado, 2004):

- Variáveis referentes ao sistema:
 - TS: Tempo médio de permanência no sistema;
 - NS: Número médio de clientes no sistema.
- Variáveis referentes ao processo de chegada:
 - λ : Ritmo médio de chegada;
 - IC: Intervalo médio entre chegadas, o qual é definido pelo inverso de λ .
- Variáveis referentes à fila:
 - TF: Tempo médio de permanência na fila;
 - NF: Número médio de clientes na fila.
- Variáveis referentes ao processo de atendimento:
 - μ : Ritmo médio de atendimento de cada atendente (ou taxa de serviço);
 - TA: Tempo médio de atendimento ou de serviço, o qual é definido pelo inverso de μ ;
 - C: Quantidade de atendentes;
 - NA: número médio de clientes que estão sendo atendidos.

Existem duas relações básicas entre as variáveis aleatórias da Figura 2.5, as quais são:

$$NS = NF + NA \quad (2.1)$$

$$TS = TF + TA \quad (2.2)$$

A taxa de utilização dos atendentes é definida à relação entre o tempo total ocupado e o tempo disponível. Esta definição pode ser expressa por:

$$\rho = \frac{\lambda}{C\mu} \quad (2.3)$$

Para as situações onde o sistema é constituído por um apenas um posto de atendimento, a expressão se torna:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.4)$$

2.2.6 Sistema de um Canal e uma Fila com População Infinita

Segundo Andrade (1989) o sistema de um canal e uma fila com população infinita, deve apresentar as seguintes características para os sistemas portuários:

- as chegadas, comumente se processam segundo uma distribuição de Poisson com média λ ;
- os tempos de atendimento, geralmente seguem a distribuição exponencial negativa com média $1/\mu$ (ou seja: o número de atendimentos, na maioria das vezes segue uma distribuição de Poisson com média μ);
- o atendimento à fila é feito pela ordem de chegada;
- o número de possíveis clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita.

Ainda segundo este mesmo autor, tanto a distribuição de Poisson quanto a distribuição exponencial negativa têm as seguintes propriedades:

- a probabilidade de uma chegada é proporcional a Δt , ou seja, é igual a $\lambda \cdot \Delta t$;

- A probabilidade de término de um serviço é proporcional ao intervalo de tempo Δt : $\mu \cdot \Delta t$;
- A probabilidade de mais de uma chegada no intervalo Δt é desprezível. Logo, no intervalo Δt , só pode-se ter uma chegada com probabilidade $\lambda \cdot \Delta t$ ou nenhuma, com probabilidade $1 - \lambda \cdot \Delta t$;
- Término de um serviço: ou termina um com probabilidade $\mu \cdot \Delta t$ ou nenhum, com probabilidade $1 - \mu \cdot \Delta t$.

Sendo λ o número médio de chegadas ao sistema por unidade de tempo e sendo μ o número médio de saídas, se ocorrer $\lambda > \mu$ poderia haver congestionamento crescente. Para o caso de $\lambda = \mu$, poderia se definir o equilíbrio do sistema como instável. Qualquer variação no número de chegadas, acima da média, poderia provocar congestionamento. Para essas considerações, pode-se estabelecer como condição de estabilidade do sistema quando $\lambda < \mu$.

Andrade (1989) apresenta as seguintes equações para o modelo do sistema de um canal e uma fila com população infinita:

- Probabilidade de haver n clientes no sistema:

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(\frac{\mu - \lambda}{\mu}\right) \quad (2.5)$$

- Probabilidade de que o sistema esteja ocioso:

$$P_0 = \left(\frac{\mu - \lambda}{\mu}\right) \quad (2.6)$$

Significa a porcentagem de tempo em que o sistema está inativo, sendo também chamada de Taxa de Ociosidade.

- Probabilidade de que o sistema esteja ocupado:

$$P_{(n>0)} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \quad (2.7)$$

Analogamente, designa-se o Fator ou Taxa de Ocupação.

- Número médio de clientes no sistema:

$$NS = \left(\frac{\lambda}{\mu - \lambda} \right) \quad (2.8)$$

- Número médio de clientes na fila:

$$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.9)$$

- Distribuição dos tempos de espera (W):

A probabilidade de tempo de espera $W = 0$ é igual à probabilidade de encontrar o sistema desocupado, isto é:

$$P_{(w=0)} = P(0) = 1 - \rho \quad (2.10)$$

- Tempo médio de espera na fila (incluindo fila 0):

$$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (2.11)$$

- Tempo médio de espera na fila (quando há fila):

$$TF_{(espera>0)} = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (2.12)$$

- Tempo médio gasto no sistema:

$$TS = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (2.13)$$

2.2.6.1 Relações entre TF, TS, NF e NS

O número médio de clientes na fila (no sistema) tem a seguinte relação com o tempo médio de espera (gasto no sistema):

$$NF = \lambda TF \quad (2.14)$$

$$NS = \lambda TS \quad (2.15)$$

Por definição, o tempo médio de espera na fila é igual ao tempo médio gasto no sistema menos o tempo médio gasto no atendimento. Assim:

$$TF = TS - \frac{1}{\lambda} \quad (2.16)$$

Ao multiplicar ambos os lados por λ e substituir as equações (2.14) e (2.15) na (2.16), obtém-se:

$$NF = NS - \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.17)$$

2.2.6.2 Ritmo de Atendimento ou Taxa de Serviço para Mínimo Custo Total do Sistema

É evidente que um aumento na taxa de atendimento do sistema promoverá melhor desempenho global. No entanto, na maioria dos casos práticos, maior eficiência do sistema de atendimento resultará também em maior custo total de serviço, porque normalmente torna-se necessária a adoção de um número maior de atendentes.

A taxa de serviço que resulta no menor custo total do sistema é obtida através da seguinte expressão (Andrade, 1989).

$$\mu^* = \lambda + \sqrt{\frac{\lambda CE_{unit}}{CA_{unit}}} \quad (2.18)$$

onde:

- CE_{unit} : Custo de estada unitário (por cliente) por período;
- CA_{unit} : Custo de atendimento unitário, por cliente;
- λ : Ritmo médio de chegada;
- μ^* : Taxa de serviço que resulta no menor custo total do sistema.

2.2.7 Sistema de uma Fila e Diversos Canais

As características gerais de um sistema com uma fila e vários canais podem ser (Andrade, 1989).

- as chegadas, geralmente se processam segundo a distribuição de Poisson, com média de λ chegadas por unidade de tempo;
- os tempos de atendimento, por canal, comumente seguem uma distribuição exponencial negativa, com média $1/\lambda$;
- o atendimento é feito por ordem de chegada;
- o número de canais de serviço no sistema é C ;
- o número de clientes é suficientemente grande para que a população possa ser considerada infinita;
- o ritmo de serviço é $\mu.C$;
- a condição de estabilidade do sistema é $\lambda < \mu.C$.

De acordo com Andrade (1989), este modelo apresenta as seguintes equações:

- Probabilidade de não haver cliente no sistema:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{c-1} \left(\frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^c}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C}\right)} \right)} \quad (2.19)$$

- Probabilidade de haver n clientes no sistema:

$n < C$:

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \frac{1}{n!} \cdot P_0 \quad (2.20)$$

$n \geq C$:

$$P_n = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n}{C! C^n - C} \cdot P_0 \quad (2.21)$$

- Probabilidade de que todos os canais estejam ocupados:

$$P_{(ocupação\ total)} = P(n \geq C) = \frac{\rho^C}{C! \left(1 - \frac{\rho}{C}\right)} \cdot P_0 \quad (2.22)$$

- Número médio de clientes na fila:

$$NF = \frac{\rho}{C - \rho} P_{(ocupação\ total)} \quad (2.23)$$

- Tempo médio de espera na fila:

$$TF = NF \frac{1}{\lambda} \quad (2.24)$$

- Número médio de clientes no sistema:

$$NS = NF + \rho \quad (2.25)$$

- Tempo médio gasto no sistema:

$$TS = \frac{NS}{\lambda} \quad (2.26)$$

2.2.8 Sistema de um Canal com População Finita

Um sistema de um canal de atendimento com uma população finita de clientes, indica que o número máximo de clientes que podem solicitar serviços é fixado.

Segundo Andrade (1989), este modelo pode apresentar as seguintes características:

- Taxa de chegada λ , geralmente segundo a distribuição de Poisson;
- Taxa de atendimento μ , comumente segundo a distribuição exponencial negativa;
- Número finito de clientes K ;
- Disciplina da fila: suposto por ordem de chegada.

E é constituído pelas seguintes equações:

- Probabilidade de haver n clientes no sistema:

$$P_n = \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{K-n}}{(K-n)! \sum_{j=0}^K \frac{(\mu/\lambda)^j}{j!}} \quad (2.27)$$

- Número médio de clientes na fila:

$$NF = K - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0) \quad (2.28)$$

- Número médio de clientes no sistema:

$$NS = K - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} (1 - P_0) + \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.29)$$

- Tempo médio gasto no sistema:

$$TS = \frac{K}{\lambda} - \frac{(\lambda + \mu)(1 - P_0)}{\lambda^2} + \frac{1}{\mu} \quad (2.30)$$

- Tempo médio gasto na fila:

$$TF = \frac{K}{\lambda} - \frac{(\lambda + \mu)(1 - P_0)}{\lambda^2} \quad (2.31)$$

2.3 ANÁLISE DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO

2.3.1 Análise do Processo de Chegada

O estabelecimento do processo de chegada de entidades ao sistema é uma etapa muito importante da criação do modelo.

O processo de chegada geralmente refere-se a uma distribuição de probabilidades que descreve corretamente a chegada de clientes ao sistema.

Cada caso deve ser analisado individualmente, mas os mais comuns, geralmente são (Prado, 2004):

- Os intervalos entre as chegadas seguem a distribuição exponencial negativa;
- O número de chegadas, em um intervalo de tempo, segue uma distribuição de Poisson;

O primeiro caso é bastante comum, dentre as distribuições estatísticas, a exponencial negativa se adapta a quase todos os processos de chegadas. A distribuição exponencial se dá de maneira semelhante à representada na Figura 2.6, onde nota-se que são representados os tempos entre as chegadas em função da frequência observada.

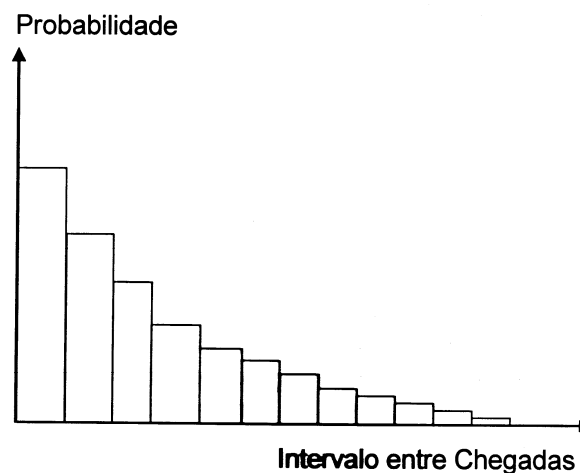


Figura 2.6 - Distribuição exponencial negativa

Fonte: Prado (2004).

2.3.2 Análise do Processo de Atendimento

Segundo Prado (2004), ao chegar a uma estação de trabalho, a entidade sofre um atendimento durante um período de tempo. Para este caso não existe uma distribuição estatística que se adapte a todos os cenários. Pelo contrário, cada cenário deve ser analisado individualmente. As possibilidades teóricas são:

- Distribuição de Erlang, também chamada de real:

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

- Distribuição Exponencial Negativa:

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

- Distribuição Triangular:

A distribuição Triangular é muito utilizada quando se deseja uma primeira aproximação na falta de dados específicos. Além dos valores mínimo e máximo característicos da distribuição uniforme, o conhecimento de um valor mais provável, valor modal, permite o uso desta distribuição, no lugar da uniforme. É muito utilizada quando não existem dados suficientes e é necessária uma estimativa.

- Distribuição Retangular ou Uniforme:

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

- Distribuição Log Normal:

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

2.3.3 Distribuições de Probabilidades

No Capítulo 5 será muito abordada a distribuição exponencial negativa, a função de distribuição cumulativa, e a distribuição lognormal. Para uma maior clareza do assunto, a seguir serão apresentadas as definições, segundo Montgonmery e Runger (2003) e Devore (2006), para estas distribuições, e também para a distribuição de Poisson.

2.3.3.1 Definição da Distribuição Exponencial

A variável aleatória X , que é igual à distância entre contagens sucessivas de um processo de Poisson, com média $\lambda > 0$, tem uma distribuição exponencial com parâmetro λ . A função densidade de probabilidade de X é:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (2.32)$$

para $0 \leq x < \infty$

A distribuição exponencial tem esse nome por causa da função exponencial na função densidade de probabilidade.

2.3.3.2 Distribuição de Poisson

Dado um intervalo de números reais, onde as contagens ocorrem através do intervalo. Se o intervalo puder ser dividido em subintervalos com comprimentos suficientemente pequenos tal que

- a probabilidade de mais de uma contagem em um subintervalo seja zero;
- a probabilidade de uma mesma contagem em um subintervalo seja a mesma para todos os subintervalos e proporcional ao comprimento do subintervalo;
- a contagem em cada subintervalo seja independente de outros subintervalos;

então o experimento aleatório será chamado de processo de Poisson.

Se o número médio de contagens do intervalo for $\lambda > 0$, a variável aleatória X , que é igual ao número de contagens no intervalo, terá uma distribuição de probabilidades de X dada por

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (2.33)$$

onde: $x = 0, 1, 2, \dots$

2.3.3.3 Distribuição Lognormal

Uma variável aleatória não-negativa X possui uma distribuição lognormal se a variável aleatória $Y = \ln(X)$ possui uma distribuição normal. A função de distribuição de probabilidade resultante de uma variável lognormal quando $\ln(X)$ tem distribuição normal com parâmetros δ e σ é

$$f(x, \delta, \sigma) = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} e^{-\frac{(\ln x - \delta)^2}{2\sigma^2}} \right. \quad (2.34)$$

Onde os parâmetros δ e σ são, respectivamente, a média e o desvio padrão de $\ln(X)$.

2.3.3.4 Funções de Distribuição Cumulativa

A função distribuição cumulativa de uma variável aleatória discreta X , denotada por $F(x)$, é

$$f(x) = P(X \leq x) = \sum_{xi \leq x} f(xi) \quad (2.35)$$

Para uma variável aleatória discreta X , $F(x)$ satisfaz as seguintes propriedades:

$$f(x) = P(X \leq x) = \sum_{xi \leq x} f(xi) \quad (2.36)$$

$$0 \leq F(x) \leq 1 \quad (2.37)$$

$$\text{Se } x \leq y, \text{ então } F(x) \leq F(y) \quad (2.38)$$

Assim como a função de probabilidades, uma função de distribuição cumulativa provê probabilidades. Mesmo se uma variável aleatória X puder assumir somente valores inteiros, a função de distribuição cumulativa poderá ser definida em valores não inteiros.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi vista uma revisão objetiva sobre a Teoria de Filas no contexto portuário, apresentando diversas aplicações desta técnica, bem como os fatores que condicionam a operação dos sistemas, tais como: forma dos atendimentos e das chegadas, disciplinas das filas, e estruturas dos sistemas de filas. Também foi feita uma apresentação das variáveis mais importantes de um sistema portuário, que podem ser utilizadas tanto na técnica de Teoria de Filas, quanto na de Simulação.

No próximo capítulo, será abordada a técnica de Simulação, a qual consiste no cerne desse trabalho.

3. SIMULAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

A logística moderna vem sendo fortemente influenciada pela evolução da tecnologia da informação. Esta evolução tecnológica proporciona vantagens para operações logísticas, que passam a ser mais rápidas, mais confiáveis, e de menor custo. Enfim, mais eficientes. O avanço tecnológico implica também no gradativo barateamento da tecnologia, focalizando diretamente no custo. Atualmente, há uma grande disseminação de ferramentas quantitativas mais sofisticadas que, há pouco tempo, apenas empresas de grande porte tinham o privilégio de utilizar (Saliby, 2000).

Segundo Andrade (1989) a simulação sempre foi usada pela humanidade como forma de representar os processos relativos aos sistemas onde as pessoas viviam. Nesse caso estão as esculturas, pinturas e todas as formas de representação de idéias. Na ciência, a utilização de modelos é uma atividade corriqueira, desde os modelos em escala reduzida (barragens, topografia, edificações etc.), modelos de aviões para estudo de aerodinâmica e modelos analíticos de processos físicos e mentais.

3.2 ASPECTOS HISTÓRICOS

O uso moderno da palavra simulação, com o sentido que tem em Pesquisa Operacional, tem sua origem em um trabalho de Von Neumann e Ulam em 1940, quando eles associaram a expressão Análise de Monte Carlo a uma técnica matemática que utilizaram para resolver problemas de blindagem em reatores nucleares.

Prado (2004) diz que a partir da década de 50, com o surgimento do computador, a modelagem de filas pôde ser analisada pelo ângulo da simulação, em que não se utiliza mais o equacionamento do modelo pela sua complexidade, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real. As linguagens de simulação apareceram na década de 60 e hoje, podem ser facilmente utilizadas devido aos microcomputadores. A técnica de simulação

visual iniciou-se na década de 80, e em virtude de sua maior capacidade de comunicação teve uma aceitação surpreendente. Algumas linguagens são mundialmente conhecidas, como GPSS, GASP, SIMSCRIPT, SIMAN, ARENA, PROMODEL, AUTOMOD, TATLOR, etc.

A simulação por computador é uma abordagem de estudo que vem sendo cada vez mais utilizada nas diversas áreas de conhecimento, como por exemplo: análises de previsão meteorológica, e o treinamento de estratégia para militares e pilotagem de veículos ou aviões. Até mesmo o estudo aerodinâmico, antes feito por maquetes, pode ser realizado agora pelo computador. Isso é possível, pois o computador é alimentado com as propriedades e características do sistema real, criando um ambiente “virtual”, que é usado para testar as teorias desejadas. O computador efetua os cálculos necessários para a interação do ambiente virtual com o objeto em estudo e apresenta os resultados do experimento no formato desejado pelo analista.

A crescente complexidade dos problemas e a maior disponibilidade de recursos computacionais são dois fatores que vêm contribuindo para o crescimento da simulação. (Dávalos, 2001).

De acordo com Saliby (2000) as primeiras aplicações da simulação em operações e logística foram nas áreas de mineração, siderurgia e transportes marítimos. Hoje, devido às facilidades decorrentes da evolução da tecnologia da informação, praticamente encontra-se aplicações de modelagem e simulação nas mais diversas áreas.

São notórios o dinamismo e a complexidade dos sistemas logísticos. Há diversos elementos interagindo entre si e influenciados por efeitos de natureza aleatória. Existem situações que impõem certas dificuldades para um estudo analítico do problema, fazendo da simulação computacional um forte aliado para o projeto e análise de sistemas logísticos.

3.3 CONCEITUAÇÃO DE SIMULAÇÃO

A simulação computacional tem como uma das principais características a criação de modelos que representam os sistemas reais.

Para Shimizu (1984) a simulação é essencialmente um trabalho com analogias. É uma modalidade experimental de pesquisa que procura tirar conclusões próprias através de exercícios com modelos que representam a realidade. A simulação consiste em um processo

de imitar uma realidade através de modelos. Tais modelos podem conservar ou não as características físicas e lógicas do sistema imitado.

Saliby (2000) diz que a simulação utiliza modelos para o estudo de problemas reais de natureza complexa, através da experimentação computacional. Assim, a simulação consiste no processo de construção de um modelo que replica o funcionamento de um sistema real ou idealizado (ainda a ser construído) e na condução de experimentos computacionais com este modelo com o objetivo de melhor entender o problema em estudo, testar diferentes alternativas para sua operação e assim propor melhores formas de operá-los.

Segundo Prado (2004) simulação é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real. Os modernos programas de computador permitem construir modelos nos quais é possível visualizar na tela o funcionamento do sistema em estudo, tal como em um filme. A grande vantagem da simulação reside no fato de permitir a análise de diversas alterações no cenário virtual, sem o custo e o risco de atuar no cenário real.

De acordo com o *site* da empresa Paragon (2007), Pegden criador do programa Arena, apresenta a seguinte definição:

“Simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para os responsáveis por projeto e operação de processos complexos ou sistemas. Em um mundo de crescente competitividade, a simulação se tornou uma ferramenta muito poderosa para planejamento, projeto e controle de sistemas. Não mais renegado ao posto de “último recurso”, hoje ela é vista como uma metodologia indispensável de solução de problemas para engenheiros, projetistas e gerentes”.

Atualmente um dos conceitos de simulação mais aceito é o seguinte:

“Simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital” (Prado, 2004).

Portanto, é parte integrante da definição de simulação o uso do computador digital para se chegar aos resultados.

3.4 APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO

A simulação é indicada para sistemas onde as conseqüências das relações entre seus diversos componentes não são conhecidas a priori e dificilmente traduzidas de uma maneira analítica (Saliby, 2000).

Atualmente a simulação tem inúmeras aplicações no mundo, nas áreas mais diversas, que vão desde a produção em uma manufatura até o movimento de papéis em um escritório. Tudo o que pode ser descrito pode ser simulado (Prado 2004).

De acordo com Prado (2004) cabe destacar algumas das aplicações em simulação, as quais são apresentadas a seguir.

3.4.1 Linhas de Produção

Através da simulação podem-se efetuar modificações em sistemas existentes, tais como as produzidas pela expansão da atual produção, pela troca de equipamentos, ou pela adição de novos produtos, que afetam a dinâmica do atual processo. Pode-se também, determinar os possíveis locais de formações de gargalos oriundos de modificações no sistema existente. Ao realizar alterações (no fluxo, na programação das atividades, ou na quantidade de recursos), pode-se chegar ao melhor modelo que se incorpore, após efetuar algumas tentativas.

No caso de um setor novo de produção, pode-se realizar um planejamento, visando adquirir o melhor fluxo possível.

3.4.2 Comunicações

É possível determinar o ponto ótimo de uma rede de comunicações através da simulação, obtendo-se informações sobre o tempo de resposta e sobre chamadas perdidas. Regras para análise de rotas alternadas podem ser comparadas e um estudo econômico pode avaliar o valor de concentradores, canalizadores de linha, etc.

3.4.3 Bancos, Supermercados, Escritórios, etc.

Com a finalidade de reduzir as filas, pode-se dimensionar o número adequado de caixas, através da simulação. Pode-se também avaliar o uso de caixas especiais, tais como “caixas rápidos” dos supermercados. No caso de bancos, o uso de “fila única” pode trazer um melhor atendimento aos clientes, apesar de poder assustar pelo tamanho que geralmente costuma ter.

3.4.4 Confiabilidade ou Disponibilidade

A confiabilidade tem de ser bastante aplicável a sistemas militares ou de computadores *on line*, os quais são sistemas complexos. Através da simulação pode-se obter uma medição quantitativa da confiabilidade do sistema, se as características dos componentes individuais são conhecidas. Especificamente, o tempo médio de falha e o tempo médio de reparo de cada componente devem ser conhecidos, em adição ao tempo necessário para substituir cada componente.

Um planejamento de manutenção preventiva pode também ser construído por meio da simulação. Mediante diversas tentativas no modelo, os componentes vitais de estoque podem ser determinados. Isto pode ser feito para diferentes requisitos de disponibilidade do sistema e, então, obtém-se a relação entre disponibilidade e custo total. A validade da duplicação de certos componentes do sistema também pode ser testada.

3.4.5 Processamento de Dados

A simulação é muito utilizada pelas empresas que desenvolvem computadores e pelas universidades, com a finalidade de medir a produtividade ou o tempo de resposta de certo sistema de computadores e terminais. A modelagem de sistemas é também bastante aplicada na área de teleprocessamento. Ainda, para identificar gargalos e indicar opções de crescimento, a simulação é uma ótima ferramenta, atuando no estudo de desempenho e de capacidade, os quais fazem parte de uma nova área da informática.

3.4.6 Call Center

É comum haver empresas de *Call Center* com centenas de pessoas trabalhando simultaneamente, e são sujeitas a críticas dos clientes caso não ofereçam um serviço adequado. Neste ponto, com o auxílio da simulação, é possível dimensionar a quantidade correta de atendentes, para manter tais empresas lucrativas e competitivas. Pode haver ainda, casos de fusão de empresas ou de adoção de um novo serviço, o que torna o dimensionamento particularmente importante.

3.4.7 Logística

É uma área em que muito se aplica a simulação. O cenário pode ser uma fábrica, um banco, o tráfego de uma cidade, etc. O meio de transporte pode ser empilhadeira, caminhão, trem, navio, etc. Além disso, aspectos inerentes a empresas que trabalham exclusivamente com transportes podem ser analisados, tais como os que são detalhados a seguir.

No transporte ferroviário, o pátio de consertos e serviços apresenta problemas, que incluem o número e localização dos desvios e alocação de máquinas de serviço (com base em uma tabela de trens e carros a serem removidos ou adicionados), além da tabela de horários de trens diretos que passam pelo local. O sistema ferroviário pode ainda ser analisado como um todo, visando minimizar o movimento de carros vazios.

Em relação aos transportes marítimo e aéreo, a simulação é aplicada para auxiliar a confecção da tabela de horários de chegadas, atendimentos e saídas, e para o dimensionamento de portos e aeroportos.

No modo rodoviário, é possível dimensionar um pedágio ou estabelecer o melhor diagrama de fluxo de veículos pelas ruas de uma cidade, com as durações dos semáforos, com o objetivo de melhorar o serviço, tornando o sistema ágil e, conseqüentemente, diminuindo os gastos com combustível.

No setor de elevadores é possível minimizar o tempo de espera e o custo de movimentação dos elevadores, pois quanto mais paradas ocorrem entre andares, maior o custo. A partir da distribuição de chegada de pessoas aos vários andares, juntamente com seus destinos, é possível utilizar um modelo para determinar o número de elevadores em funcionamento para atender um dado padrão de serviço.

Para o caso específico de aplicações em operações logísticas, Saliby (2000) ressalta as seguintes aplicações:

- Dimensionamento de operações de carga e descarga: determinação do número de docas, número e tipo de empilhadeiras, área de preparação de carga etc;
- Estudo de movimentação de material: avaliação da relação custo/benefício da implantação de novos equipamentos e novas tecnologias como esteiras, transelevadores, sistemas automáticos de *picking*¹ etc;

¹A atividade de *piking* pode ser definida como a atividade responsável pela coleta do “mix” correto de produtos, em suas quantidades corretas da área de armazenagem para satisfazer as necessidades do consumidor.

- Dimensionamento de estoque: determinação de estoque de segurança e estoque base em sistemas multi-elos (centros de distribuição centrais e regionais), considerando incertezas nos suprimentos de matérias-primas e na demanda pelos produtos e sua consequência sobre o nível de serviço prestado;
- Sistema de transporte: determinação de frota ideal em termos de número e tamanho de veículos, considerando o perfil de pedidos a serem entregues, a duração das viagens e tempo de carga e descarga e o resultado sobre a utilização dos veículos, tempo de atendimento etc;
- Fluxo de produção: dimensionamento de equipamentos e de estações de trabalho. Avaliação de diferentes configurações de recursos: células de produção, linhas especializadas etc;

3.5 VANTAGENS DO USO DA SIMULAÇÃO

Andrade (1989) apresenta uma série de vantagens referentes ao uso da simulação. A seguir são citadas algumas das delas:

- A simulação permite estudar e experimentar complexas interações internas de um dado sistema seja ele uma empresa ou parte da mesma;
- Através da simulação podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos no sistema total;
- A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode conduzir a uma melhor compreensão do sistema, com possibilidades de melhorá-lo;
- A simulação pode ser usada para experiências com novas situações, sobre as quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação, com o intuito de preparar a administração para o que possa acontecer;
- 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 experimentar no sistema real.

3.6 ETAPAS NA REALIZAÇÃO DE UMA SIMULAÇÃO

Para Andrade (1989) um trabalho de simulação deve ser desenvolvido seguindo certas etapas, conforme ilustrado na Figura 3.1, e explicado nos itens a seguir.

3.6.1 Formulação do Problema

Devem ser explicitamente definidos os objetivos da simulação, a amplitude e a profundidade que se quer da análise e os recursos disponíveis. É evidente que essa definição inicial do problema pode ser alterada durante a realização do processo de simulação.

3.6.2 Coleta de dados

A coleta de dados é um processo de recolhimento dos fatos e informações disponíveis que serão processados quando houver necessidade. De posse da formulação do problema, como explicado acima, os dados devem ser coletados observando-se os seguintes cuidados:

- Deve haver uma quantidade suficiente de dados;
- Os dados devem ser qualitativamente confiáveis;
- Os dados devem ser significativos para o processo de decisão.

3.6.3 Identificação das Variáveis

Como primeiro passo da modelagem, as variáveis do problema devem ser identificadas. Não é um procedimento simples, pois em muitas situações as variáveis são inúmeras, tornando assim o sistema em estudo mais complexo. No entanto, nem sempre é possível considerar todas as variáveis de um sistema.

Para o sistema portuário, por exemplo, há diversas variáveis que deveriam ser consideradas, como: intervalo de tempo entre chegadas de navios, tempos de atendimentos de navios, número de locais de atracação (berços), quantidade de equipamentos para a carga e descarga de mercadorias, espaço para armazenagem das cargas, acessibilidade ao transporte terrestre, profundidade do canal de navegação, profundidade do cais, maré, ventos, chuvas, etc. Contudo, neste trabalho, não foi possível considerar todas estas variáveis, devido ao fato

de não ter acesso a estes dados. Então, apenas foram considerados os tempos entre as chegadas, os tempos de atendimentos e o número de berços de atracação.

3.6.4 Formulação do Modelo

Esta talvez seja a parte mais difícil do processo de simulação e que deve ser realizada com muita atenção. A dificuldade decorre do fato de que, na construção de modelos, é exigida tanto arte quanto técnica, para que eles representem bem os sistemas, levando em conta todas as relações importantes, tanto entre as variáveis internas do sistema quanto entre este e o meio ambiente que o cerca. Deve-se conhecer muito bem o sistema em estudo, para poder representá-lo por meio de um fluxograma de simulação. Conhecidos os objetivos, os dados disponíveis e as variáveis do processo, a construção do modelo consiste na formulação das equações que devem representar as inter-relações do sistema e no estabelecimento de limites de variação dos resultados e valores.

3.6.5 Avaliação do Modelo

Uma vez construído o modelo, é necessário saber se ele atende aos objetivos da simulação, representando corretamente o sistema em estudo. Os testes com o modelo devem abranger também os dados, de forma a verificar sua consistência. Diversas técnicas existem. Caso o modelo seja aceito, deve ser realizado um programa de computador.

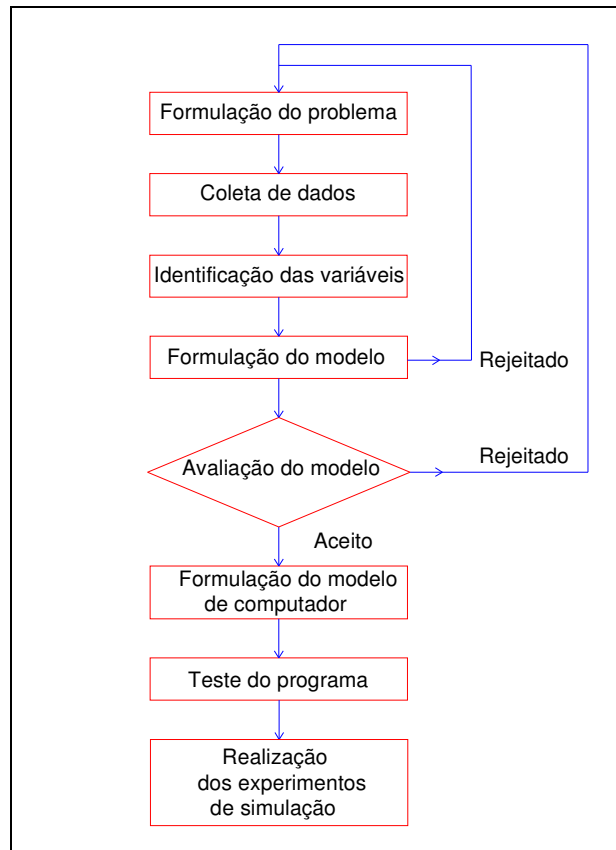


Fig. 3.1 - Etapas na realização de uma simulação.

Fonte: Andrade (1989).

3.7 O MÉTODO DE MONTE CARLO

Os modelos de simulação podem conservar ou não as características físicas e lógicas do sistema imitado. Shimizu (1984) descreve exemplos de simulação que conservam as características físicas, os quais são:

- Modelos miniaturizados, como maquetes de edifícios, brinquedos, etc;
- Aparelhos de treinamento, como simuladores de voo.

Quando o modelo não conserva as características físicas do sistema real, tem-se o caso da simulação simbólica ou Método de Monte Carlo, e a parte lógica, que é conservada, é expressa através de equações ou relações matemáticas que formam o modelo matemático do sistema real.

O Método de Monte Carlo é um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com diversas aplicações nas mais variadas áreas de conhecimento. Este método

tem sido utilizado há bastante tempo como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas. Envolve a geração de observações de alguma distribuição de probabilidades e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse.

Segundo Prado (2004) quando um cliente chega a uma estação de trabalho, a duração do atendimento daquele cliente geralmente é diferente do atendimento dos outros clientes, visto que o processo é aleatório e descrito por uma distribuição de probabilidades. Para descobrir qual a duração do atendimento daquele cliente, utiliza-se o Método de Monte Carlo, baseado na distribuição de probabilidades. Por esse método é feito um sorteio para se encontrar a duração do atendimento. O mesmo método é efetuado para o processo de chegada, para o deslocamento entre as estações de trabalho, etc. O Método de Monte Carlo utiliza números aleatórios e a função de probabilidades que descreve o fenômeno real. Para que a simulação forneça resultados confiáveis, é necessário que a amostra simulada seja de tamanho adequado, o que significa que, se o tamanho da amostra for aumentado, os resultados pouco se alteram. O uso de amostras de tamanho pequeno pode fornecer resultados diferentes do real.

3.7.1 Conceito Fundamental

Segundo Andrade (1989) o método de Monte Carlo baseia-se num conceito estatístico simples.

Seja x uma variável aleatória com as seguintes características:

- Função de distribuição de probabilidades $f(x)$;
- Função cumulativa de probabilidades $F(x)$.

Se uma nova variável aleatória for definida como $y = F(x)$, esta tem uma distribuição uniforme sobre o intervalo fechado $(0,1)$.

Assim, como a função cumulativa de probabilidades representa as características aleatórias da variável em questão, a função

$$Y = F(x) \tag{3.1}$$

é uma relação entre duas variáveis:

- Variável x , com distribuição aleatória própria;
- Variável y , com distribuição uniforme, entre 0 e 1.

3.7.2 Procedimento

De acordo com Andrade (1989) o Método de Monte Carlo consiste nos seguintes passos:

- Dada a função cumulativa de probabilidades da variável em simulação, se adquire um número, gerado aleatoriamente, no intervalo (0,1).
- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável x que corresponde ao número aleatório gerado.

3.7.3 Números Aleatórios

Um dos elementos necessários à aplicação do método de Monte Carlo é um gerador de números aleatórios. Andrade (1989) diz que isto pode ser conseguido de três formas:

- Uso de uma tabela de números aleatórios;
- Uso de rotinas ou programas já implantados em computadores digitais;
- Utilização de um método aritmético para calcular uma seqüência de números aleatórios, a partir de uma equação recursiva.

3.8 ESTIMATIVA DO NÚMERO DE EXPERIMENTOS

Não há regra única para determinar a duração da simulação ou o número de experimentos que devem ser realizados; entretanto, existem métodos estatísticos para determinar tal número (cálculo do tamanho de uma amostra).

De maneira geral, esses métodos são baseados em hipóteses sobre os parâmetros que serão calculados na própria simulação (usualmente, a média e o desvio padrão) e na expectativa da precisão desejada.

Andrade (1989) apresenta um método aproximado em que, à medida que a simulação vai se desenvolvendo, devem ser calculadas as médias dos resultados obtidos. Quando a variação dessas médias estiver dentro de um intervalo de precisão desejado, o processo será interrompido. Esse é o processo de convergência dos experimentos da simulação.

3.9 O USO DO COMPUTADOR EM SIMULAÇÃO

Essencial para a simulação, o computador foi desenvolvido na década de quarenta e passou a ser comercializado desde 1951. Na década de cinquenta as linguagens FORTRAN e ALGOL foram bastante utilizadas em programas de simulação. Na década de sessenta surgiram linguagens com mais facilidade de uso, como o GPSS, criado em 1961 em um trabalho conjunto da IBM com os laboratórios BELL. Naquela década, apesar da existência das linguagens, havia raros computadores com capacidade de executar tais programas, tendo em vista que necessitavam de um espaço de memória não comum na época. Já na década de setenta, a simulação foi divulgada pelo mundo todo. Novas linguagens foram desenvolvidas, tais como o GASP, SIMSCRIPT e EXELSIM. Atualmente existem vários programas desenvolvidos para a simulação, como por exemplo: ARENA, TAYLOR, PROMODEL, AUDOMOD, e GPSS (Prado, 2004).

3.9.1 *Softwares* para Simulação

De acordo com Saliby (1997), o contínuo uso da simulação na modelagem de sistemas deu origem ao desenvolvimento e comercialização de muitos *softwares* de simulação. No entanto, dependendo da aplicação, não se deve desconsiderar a possibilidade do uso de planilhas eletrônicas. Além disso, há outros *softwares* que podem muito auxiliar a simulação, são os estatísticos, os quais têm o poder de identificar distribuições de probabilidades para dados de entrada.

Conforme este mesmo autor os *softwares* de simulação hoje disponíveis podem ser divididos em duas grandes categorias:

- De natureza geral;
- Voltados para aplicações específicas, tais como manufatura, serviços, telecomunicações, reengenharia e outros.

Os *softwares* de caráter geral são os mais conhecidos. Na Tabela 3.1, estão apresentados os principais *softwares* de simulação, e as respectivas empresas responsáveis.

Para realizar o projeto em estudo, será utilizada a técnica de Simulação, com o auxílio do *software* Arena, que será abordado na Seção 3.9.2. Optou-se em adotar este programa devido ao fato de ser uma ótima referência quanto ao seu uso, em outros trabalhos científicos

e acadêmicos, conforme explicado na Seção 1.5. E, ainda, por ser uma ferramenta que está facilmente disponível no mercado.

Tabela 3.1 - Principais *softwares* de simulação.

Produto	Empresa
Arena	Systems Modeling Corporation
AutoMod	Autosimulations
Extend	Imagine That
GPSS H	Wolverine Software
Micro Saint	Micro Analysis & Design
ProModel	ProModel Corporation
SIMPLE ++	AESOP (Alemanha)
Simscrip II.5 e MODSIM III	CACI Products Company
TAYLOR IIb	F&H Simulations (Holanda)
VisSim	Visual Solutions

3.9.2 Uma Visão do *Software* Arena

Segundo Prado (2004) o Arena foi lançado em 1993 pela empresa americana *Systems Modeling*, a partir do aperfeiçoamento de dois outros produtos da mesma empresa: SIMAN e CINEMA, os quais foram desenvolvidos em 1982 e 1984, respectivamente. A partir de 1998 a empresa *Rockwell Software* incorporou a *Systems Modeling*.

O Arena possui um conjunto de blocos (ou módulos) que são utilizados para descrever uma aplicação real, os quais funcionam como comandos de uma linguagem de programação como o Fortran, Cobol, Visual Basic, Delphy, etc.

O programa Arena possui ainda ferramentas indispensáveis para a formulação do processo de simulação, as quais são:

- analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- analisador de resultados (*Output Analyzer*).

Através da ferramenta *Input Analyzer*, é possível realizar a análise dos dados reais, e assim, escolher a distribuição estatística mais aplicável aos mesmos.

A ferramenta *Output Analyzer* possui vários recursos que permitem analisar dados coletados durante a simulação (esta análise pode ser gráfica), e podem realizar comparações estatísticas.

O Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. Não é necessário escrever nenhuma linha de código no Arena, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, e de maneira integrada.

A tecnologia diferencial do programa Arena são os *templates*, ou seja, várias ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo estudado, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa. O Arena pode utilizar diversos tipos de *templates*, inclusive simultaneamente.

3.9.2.1 Ambiente de Trabalho do Arena

Na Figura 3.2 são mostrados os principais espaços de trabalho do Arena, os quais são: área de trabalho, área de planilhas e a barra de ferramentas.

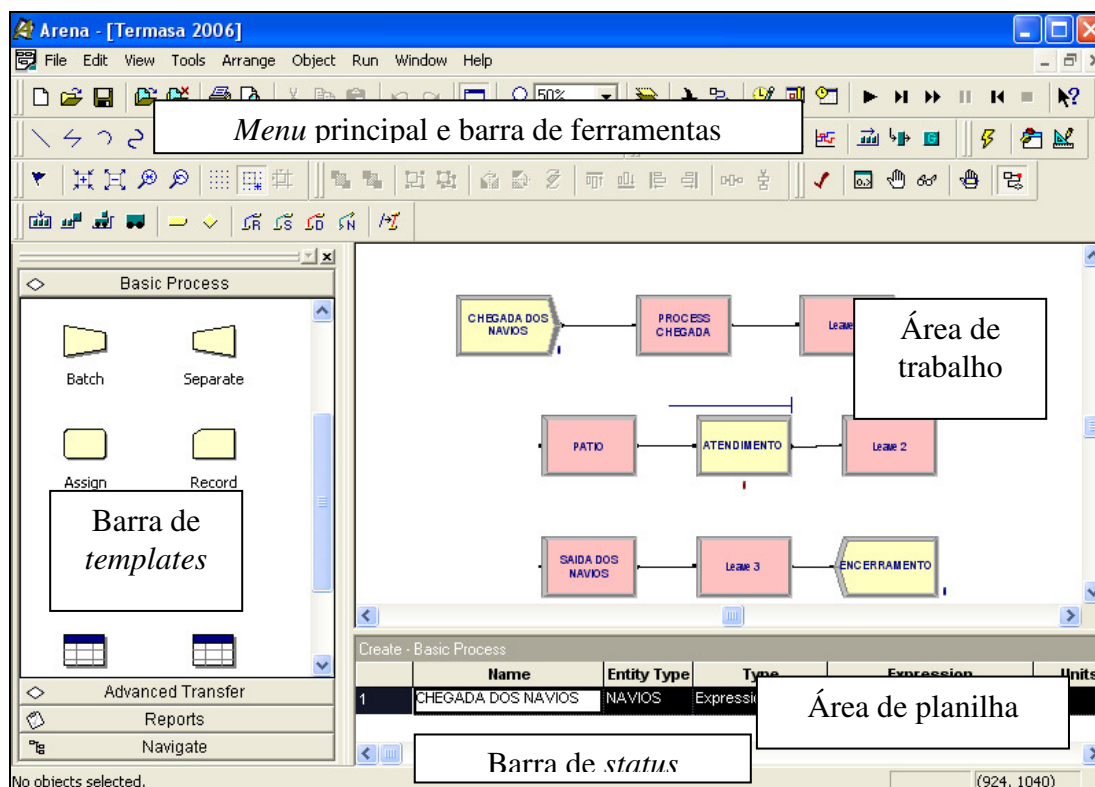


Figura 3.2 - O ambiente de trabalho do Arena.

Na área de trabalho são criados o fluxograma e a animação do modelo. Quando este espaço está ativado, é possível inserir novos blocos ou efetuar alterações no conteúdo dos blocos existentes. As teclas do teclado, quando acionadas, efetuam funções que afetam esta área, as teclas de setas podem ser usadas para movimentar o modelo. Ao clicar em um bloco, ele torna-se ativado, e o conteúdo de seus campos aparece na área de planilha.

Na área de planilha são mostrados os detalhes daquele bloco que se ativou na área de trabalho ou na barra de *templates*. Quando este espaço está ativado é possível efetuar alterações nos campos mostrados. As teclas do teclado, quando acionadas, efetuam funções que afetam esta área.

Para simular qualquer sistema no Arena, é necessário descrever:

- As estações de trabalho;
- O fluxo dentro do sistema;
- As durações, distâncias, velocidades, etc.

A técnica utilizada pelo Arena para montar qualquer modelo é a programação visual, em que o fluxo do sistema é criado na tela do computador na forma de um fluxograma, que corresponde à ocorrência de eventos a um cliente genérico (também chamado de “entidade”). Portanto, cada bloco do fluxograma representa um evento no sistema, como, por exemplo, a chegada de um navio, seu atendimento, etc. No caso de um porto, os eventos seriam: chegada, atendimento e saída. Cada evento corresponde a um módulo no programa Arena, e a seqüência dos mesmos forma um fluxograma ou diagrama de blocos, conforme esquematizado na Figura 3.3.

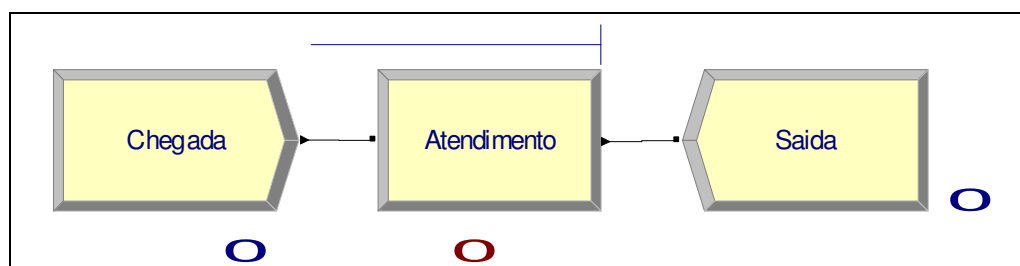


Figura 3.3 - Eventos e fluxograma.

Um fluxograma é construído a partir dos módulos do Arena, os quais estão disponíveis nos diversos *templates* e que podem ser mostrados na *barra de templates*.

No *template Basic Process* há os módulos de fluxograma, que são usados para construir o diagrama de blocos dentro da área de trabalho, e há também os módulos de dados,

os quais recebem dados referentes ao modelo, mas não são colocados dentro da área de trabalho. Estes módulos estão ilustrados na Figura 3.4.

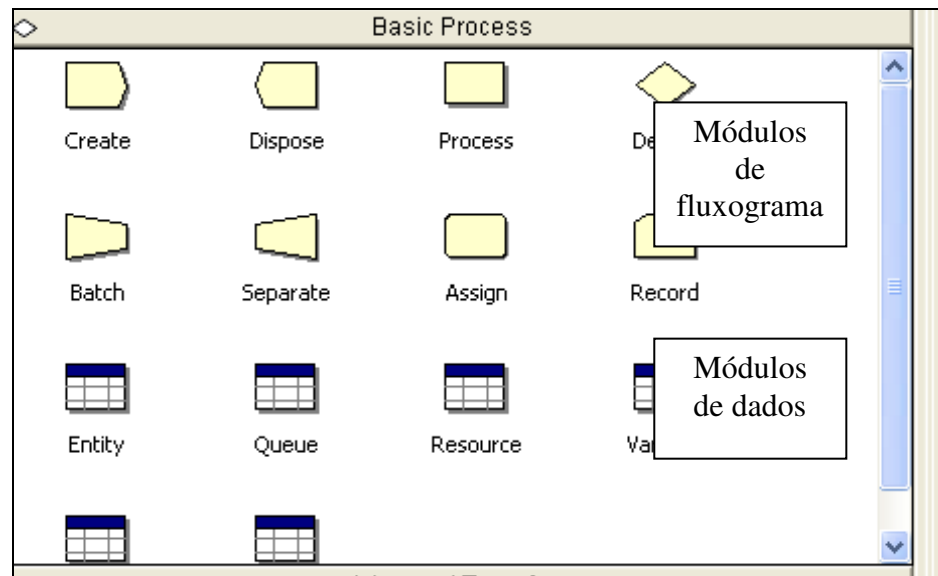


Figura 3.4 - Módulos do *template Basic Process*.

Os blocos essenciais em um fluxograma são os representados na figura 3.5.

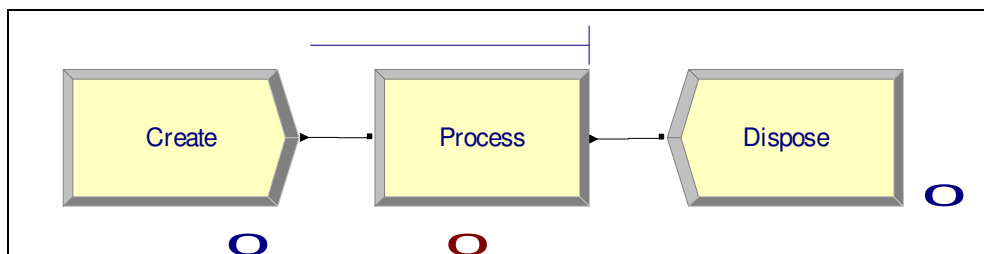


Figura 3.5 - Blocos *Create*, *Process* e *Dispose*.

O bloco *Create* é utilizado para descrever o processo de chegada, nele deve-se fornecer o valor da distribuição de probabilidades no campo *Expression*, com a unidade correta no campo *Units*, de acordo com a Figura 3.6.

The 'Create' dialog box is used to define the arrival of entities. It includes the following fields and values:

- Name: CHEGADA DOS NAVIOS
- Entity Type: NAVIOS
- Time Between Arrivals:
 - Type: Expression
 - Expression: -0.001 + EXPO(3)
 - Units: Days
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: Infinite
- First Creation: 0.0

Figura 3.6 - Tela *Create*.

O bloco *Process* é utilizado para descrever o atendimento. Assim, no campo *Expression* escreve-se o valor da distribuição de probabilidades, com a unidade correta no campo *Units*, como apresentado na Figura 3.7.

The 'Process' dialog box is used to define the service process. It includes the following fields and values:

- Name: ATENDIMENTO
- Type: Standard
- Logic:
 - Action: Seize Delay Release
 - Priority: Medium(2)
 - Resources: Resource, ATENDENTE, 1
- Delay Type: Expression
- Units: Days
- Allocation: Value Added
- Expression: EXPO(2.04)
- Report Statistics:

Figura 3.7 - Tela *Process*.

Já o bloco *Dispose*, é utilizado apenas para indicar o final do evento, ou seja, que o cliente sai do sistema, de acordo com a Figura 3.8.

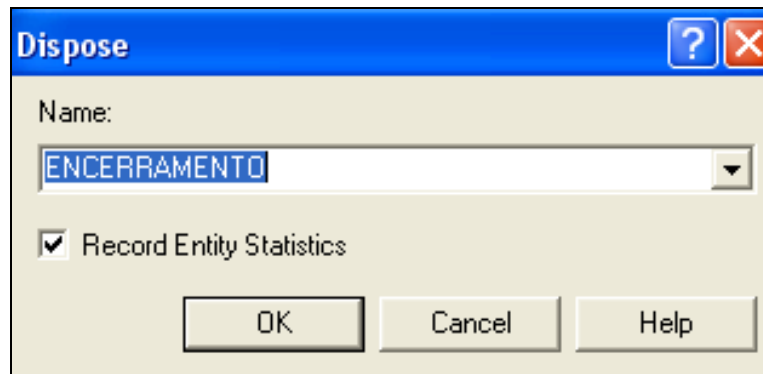


Figura 3.8 - Tela *Dispose*.

Para descrever qual será a duração da simulação, deve-se fornecer o seu valor, no campo *Replication*, com a unidade correta no campo *Time Units*. Para tal, deve-se clicar no ícone *Run* da barra de ferramentas, e em seguida em *Run Setup*, que surgirá uma janela como na Figura 3.9. Adicionalmente, deve ser fornecido o valor da duração por dia, no campo *Hours per Day*.

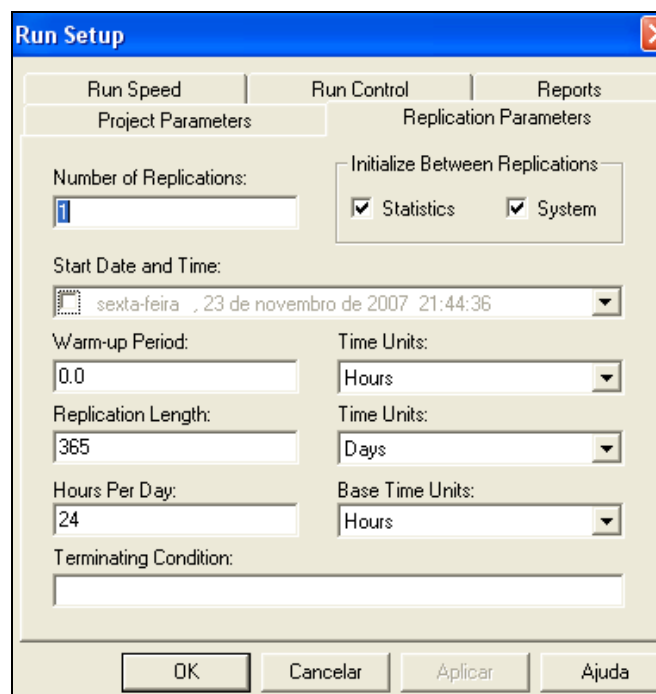


Figura 3.9 - Tela de *Run Setup*.

O número de atendentes é outra variável muito importante em um processo de simulação. O seu valor deve ser fornecido na área de planilha, no bloco *Resource* do template *Basic Process*, como na Figura 3.10. Este valor pode ser facilmente alterado no ícone *Capacity*.

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name
1	ATENDENTE	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0	

Double-click here to add a new row.

Figura 3.10 - Área de planilhas – *Resource*.

3.9.2.2 Relatórios do Arena

O Arena é bastante rico em informações estatísticas. O programa pode apresentar vários relatórios, que estão no *template Reports*, como:

- *Category Overview*: visão global da categoria;
- *Category Replication*: semelhante ao anterior, dividido em replicações;
- *Entities*: entidades;
- *Frequencies*: frequências;
- *Processes*: processos;
- *Queues*: filas;
- *Resources*: recursos;
- *Transfer*: transportadores;
- *User Specified*: variáveis ou atributos especificados pelo usuário;
- *Agents and Trunks*: agentes;
- *Call Times and Counts*: chamadas e contadores.

Quase todas as informações estão disponíveis, resumidamente, nas diversas páginas do relatório *Category Overview*, e os outros relatórios contêm informações adicionais específicas. De acordo com a necessidade de cada usuário, em relação ao seu estudo, ele pode escolher qual ou quais os relatórios são importantes para o objetivo da simulação.

A Figura 3.11 apresenta um relatório do Arena em relação à fila.

The screenshot shows the 'Queues' window in Arena. At the top, it displays the time '22:54:06' and the date 'setembro 26, 2007'. The main title is 'Queues'. Below this, there is a section for 'PORTO NOVO' with 'Replications: 1'. Underneath, 'Replication 1' is detailed with 'Start Time: 0,00', 'Stop Time: 8.760,00', and 'Time Units: Hours'. The queue name is 'ATENDIMENTO.Queue'. A table follows, showing performance metrics for 'Waiting Time' and 'Number Waiting'.

Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Waiting Time	3.2983	(Insufficient)	0	58.3504
Other	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Number Waiting	0.03689857	(Insufficient)	0	2.0000

Figura 3.11 - Exemplo de relatório do Arena.

No relatório apresentado na Figura 3.11, o programa mostra o valor médio, máximo e mínimo para o tempo de espera na fila (horas) e para o número de clientes na fila.

3.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordada a técnica de Simulação, onde foram apresentadas suas conceituações e diversas aplicações. Mostrou-se, ainda, que esta técnica oferece inúmeras vantagens, como por exemplo, a possibilidade de efetuar alterações no meio ambiente e verificar seus efeitos no sistema total. Também foram apresentados vários *softwares* para simulação, enfatizando o Arena, o qual é utilizado nesta dissertação. Este programa, além de fazer simulações, realiza testes estatísticos das amostras analisadas, demonstrando assim, qual a melhor distribuição estatística para representá-las.

No capítulo seguinte, será apresentada uma visão do Porto do Rio Grande, visando uma melhor compreensão do local a ser aplicada a técnica de simulação.

4. UMA VISÃO DO LOCAL DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: O PORTO DO RIO GRANDE

4.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO PORTO DO RIO GRANDE

A primeira transposição registrada da Barra do Rio Grande ocorreu em 1º de novembro de 1737, com a sumaca (antigo navio à vela) Santo Antônio e Almas. A partir desta data, tornou-se necessária a construção de um cais. Em 1872, foi inaugurado o cais da Alfândega, com 93 metros de extensão. Com o aumento do tráfego de embarcações através da Barra, surgiu um pequeno porto (hoje conhecido como Porto Velho), onde era freqüentado principalmente por embarcações à vela.

O movimento intenso de navios e também das marés, provocou uma constante deposição de areia no fundo do canal, reduzindo assim a sua profundidade. Há registros de 4,40 metros de profundidade, em 1800, e de 2,20 metros em 1860. Em 1881, apenas navios de 2 metros de calado conseguiam ultrapassar a Barra do Rio Grande, mas somente após dias de espera. Diante destas circunstâncias, uma comissão, chefiada pelo engenheiro Honório Bicalho, então diretor das Obras Públicas da Secretaria de Estado, foi criada para estudar melhoramentos para a Barra e elaborar um projeto definitivo de porto marítimo. Em 1883 apresentou-se a proposta, a qual consistia principalmente na construção de dois molhes convergentes, em forma de funil, com um canal interior de quase 10 metros de profundidade.

Somente em 1910 foram iniciados os trabalhos nos molhes e no porto (hoje conhecido como Porto Novo), sob comando do Engenheiro Elmer Lawrence Cortheill e com capital francês da “Compagnie Française du Port du Rio Grande do Sul”. As obras, consideradas na época, tão grandiosas quanto à abertura do canal do Panamá, exigiram o consumo de muito material e a contratação de aproximadamente quatro mil pessoas. Para construir os molhes da Barra, por exemplo, foram utilizadas mais de três milhões de toneladas de pedras, oriundas de Pelotas. Ambos possuem mais de quatro quilômetros de comprimento, incluindo seus prolongamentos submersos. A distância entre seus eixos paralelos é de 725 metros.

Em 1º de março de 1915, o navio-escola Benjamin Constant, da Armada Nacional, com calado de 6,35 metros, transpôs a renovada Barra do Rio Grande. Somente em novembro do mesmo ano, foi inaugurado o primeiro trecho de cais do Porto Novo, com extensão de 500

metros e capacidade para atracar navios de 10 metros de calado. Ele possuía três armazéns para mercadorias, serviços de guindastes elétricos, um depósito para carvão, servido de dois transbordadores elétricos, linhas férreas, entre outras instalações. As obras tiveram continuidade nos anos seguintes e em 1919 tornaram-se responsabilidade do Governo do Rio Grande do Sul, assim como a administração do porto. Nesse ano, o Porto Novo estava com 1470 metros de cais, extensão que atingiu 1950 metros em 1967.

Devido ao contínuo crescimento das exportações e importações, e o avanço da tecnologia relativa à navegação, surgiu a necessidade de ampliar e atualizar o Porto do Rio Grande, através de terminais especializados. Estas modificações foram adquiridas, com a formação do Superporto. Desde 1996, toda a estrutura hidroportuária é administrada pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), autarquia estadual ligada à Secretaria Estadual dos Transportes.

O Porto do Rio Grande, localizado no município mais antigo do estado do Rio Grande do Sul, representa uma das instalações portuárias mais importantes do país. Atualmente o porto é responsável pelo escoamento de grande parte da produção gaúcha em diversos setores, desempenhando um papel fundamental na economia do estado (Revista CONSELHO, 2007).

4.2 MOLHES DA BARRA DO RIO GRANDE

No porto do Rio Grande, atualmente estão sendo realizadas construções que visam a sua melhoria. As obras que iniciaram em 2001, e foram paradas no final de 2002 em função de problemas de documentação com o Tribunal de Contas da União (TCU), foram retomadas e têm o orçamento previsto no Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal, de R\$ 400 milhões, incluindo o aprofundamento do canal de acesso ao porto gaúcho de 40 para 60 pés. Em janeiro de 2007, a obra foi retomada emergencialmente, para realizar o assentamento, fixação e proteção das pedras lançadas anteriormente.

A obra de prolongamento deve continuar sem interrupções, sendo finalizada em 2009. Com a finalização do prolongamento, o molhe Leste (São José do Norte) passará a contar com mais 370 metros, ficando com a extensão de 4590 metros. Já o molhe Oeste (Rio Grande) ficará com 3860 metros, ou seja, 700 metros a mais que atualmente. Com o aprofundamento, o canal de acesso ao Porto do Grande, que hoje tem 12,19 metros, atingirá 18 metros.

Com o investimento, o porto gaúcho poderá atender grandes graneleiros para cargas secas e líquidas, com a capacidade de até 200 mil toneladas. Também estará apto a receber navios de maior porte, que atuam no transporte de celulose e madeira. Além disso, o Porto do Rio Grande poderá captar, concentrar e tratar de forma mais adequada cargas de outros países e estados.

4.3 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

A cidade do Rio Grande localiza-se na Planície costeira Sul do Estado do Rio Grande do Sul, limitada ao Norte pelo município de Pelotas e Laguna dos Patos; ao Sul pelo município de Santa Vitória do Palmar; a Leste pelo Oceano Atlântico e Canal do Rio Grande; e a Oeste pelos municípios de Pelotas, Arroio Grande e Lagoa Mirim. Possui uma posição geográfica privilegiada, pois está situada entre as Lagoas Mirim e dos Patos e o Oceano Atlântico, importante ligação entre a via oceânica e a rede de navegação interior.

Localizado no município mais antigo do Rio Grande do Sul, o Porto do Rio Grande está situado a 32 graus 07 minutos e 20 segundos (32° 07' 20'') de latitude Sul e a 52 graus 05 minutos e 36 segundos (52° 05' 36'') de longitude Oeste de Greenwich. É o porto de mar mais meridional do Brasil, localizado na margem Oeste do Canal do Norte, que é o escoadouro natural de toda a bacia hidrográfica da Laguna dos Patos. Dos três Portos Organizados do Estado, Rio Grande é o mais importante, como único porto marítimo, dotado de características naturais privilegiadas, capaz de ser desenvolvido racionalmente, em condições de atender à navegação de longo curso, que exige boas profundidades. A situação geográfica do Porto do Rio Grande pode ser vista em maiores detalhes através da Carta Náutica nº 2101, da Diretoria de Hidrografia e Navegação, da Marinha do Brasil.

4.4 ESTRUTURA DO PORTO DO RIO GRANDE

Atualmente, o Porto do Rio Grande é constituído por três áreas (Porto Velho, Porto Novo e Superporto), com possibilidade de uma futura expansão para a área confronte ao Porto

Novo, no município de São José do Norte. Estas áreas estão apresentadas na Figura 4.1, e serão descritas nos itens a seguir.



Fig. 4.1 - Estrutura do Porto do Rio Grande.

Fonte: SUPRG (2007).

4.4.1 Porto Velho

O Porto Velho é constituído por uma área onde são desenvolvidas atividades de ensino, pesquisa e administração da Frota da Oceanográfica da FURG. Também fazem parte deste porto: a área onde são realizadas atividades institucionais, culturais, recreativas e turísticas com a valorização do Patrimônio Histórico Cultural; a área destinada à recepção, embarque e desembarque de passageiros (terminal de passageiros) para a travessia Rio Grande/São José do Norte e passeios turísticos de barcos; área pesqueira; a área militar; e a área de prestação de serviços às atividades marítimo-portuárias.



Fig. 4.2 - Vista aérea do Porto Velho.

Fonte: Rio Grande Virtual (2007).

Possui um cais acostável de 640 metros de comprimento e profundidade de 15 pés. E no canal de acesso, possui largura de 100 metros, e a profundidade de 15 pés. (SUPRG, 2007).

4.4.2 Porto Novo

No terminal público do Porto Novo são realizadas atividades diversas, tais como: atividades sócio-desportivas e de administração de manejo social; atividades do V Distrito Naval; operações de carga e descarga de carga geral; operações de carga e descarga de veículos, maquinário agrícola, ônibus; operações de carga e descarga de contêineres e também de fertilizantes (matérias-primas e derivados); atividades de construção e reparo naval; e operações portuárias em geral.

O Porto Novo possui um cais acostável de 1952 metros, e calado com a profundidade média de 31 pés. A largura no canal de acesso é de aproximadamente 150 metros. (SUPRG, 2007).

A Figura 4.3 ilustra uma vista aérea do Porto Novo.



Fig. 4.3 - Vista aérea do Porto Novo.

Fonte: NEWSCOMEX (2008).

Nas áreas de embarque e desembarque, o terminal Porto Novo, possui os seguintes berços: de Barcaças, de Carga Geral, de Contêineres, de Fertilizantes, de Granéis Líquidos, e de Granéis Sólidos. No entanto, de acordo com a Superintendência do Porto do Rio Grande

(SUPRG), o Berço de Granéis Líquidos não está sendo utilizado desde o ano de 2006, devido ao baixo número de movimentações neste local.

4.4.3 Superporto

No Superporto são realizadas inúmeras atividades, tais como: atividades marítimo-portuárias; operações de carga e descarga de petróleo e fertilizantes, com o manejo de matérias-primas e derivados; atividades de construção e reparo naval; operações de carga e descarga de produtos agrícolas, como soja, trigo e arroz; operações de carga e descarga de Contêineres; operações de carga e descarga de produtos florestais e derivados; operações de carga e descarga de pescados; atividades militares do V Distrito Naval; atividades de turismo e lazer com administração e manejo ambiental; e operações portuárias em geral.

O Superporto é constituído pelos terminais administrados pela iniciativa privada, os quais são: Bianchini, Bunge Alimentos, Copesul, Petrobrás, Tecon, Termasa, Tergrasa e Trevo Operadora (também conhecido como Yara Fertilizantes).



Fig. 4.4 – Vista aérea do Superporto.

Fonte: SEINFRA-RS (2008).

4.4.4 Terminal Bianchini

Neste terminal há quatro armazéns graneleiros, com capacidade de armazenagem estática de 900.000 toneladas de granéis agrícolas, distribuídas em 91.350 m², possibilitando uma expedição de 2.000 toneladas/hora. O terminal possui ainda oito tanques, para depósito de óleo de soja degomado, com a capacidade 50.000 toneladas. Sua capacidade de recepção é de 2.000 toneladas/hora via rodoviária, 2.000 toneladas/hora via ferroviária, e 750 toneladas/hora via hidroviária. Além de operar com grãos e farelos, esse terminal vem

realizando a exportação de cavacos de madeira (*wood chips*). A capacidade de expedição do terminal é de 2.600 toneladas/hora de grãos e 2.000 toneladas/hora de farelo. O Terminal Bianchini possui três berços, onde podem atracar navios e barcaças (SUPRG, 2007).



Figura 4.5 – Terminal Bianchini.

Fonte: TRANSPORTES (2007).

4.4.5 Terminal Bunge Alimentos

O terminal é especializado na armazenagem e movimentação de grãos, farelos e óleos vegetais, para exportação. Possui dois armazéns graneleiros, com uma área total de 42.000 m², capacidade de armazenagem estática de 157.000 toneladas, podendo receber 5.000 toneladas/dia via rodoviária e 3.000 toneladas/dia via ferroviária. Para armazenagem de óleos vegetais, o terminal possui cinco tanques, com capacidade total de 42.000 toneladas. Está ligado à unidade fabril de esmagamento de soja e fabricação de óleo degomado, com uma capacidade de 4.000 toneladas/dia. Na expedição, a capacidade do terminal é de 600 toneladas/hora. Possui dois berços de atracação, onde podem operar navios e barcaças (SUPRG, 2007).



Figura 4.6 – Terminal Bunge Alimentos.

Fonte: SUPRG (2007).

4.4.6 Terminal Copesul

Terminal de tancagem destinado à armazenagem de produtos petroquímicos produzidos no Pólo Petroquímico do Rio Grande do Sul e estocagem de gás liquefeito. Tem capacidade de armazenamento estática total, para petroquímicos líquidos, de 40.000 m³ (10 tanques); e, para gás liquefeito, de 2.600 m³. Está interligado ao Píer Petrolero, podendo efetuar operações em ambos os cais. Dentre os produtos com os quais trabalha, pode-se citar benzeno, etil-benzeno, xileno, metanol e gás liquefeito. Capacidade de recepção de 90 m³ para caminhões; e 350 m³ para embarcações. Este terminal possui um berço de atracação.



Figura 4.7 – Terminal Copesul.

Fonte: SUPRG (2007).

4.4.7 Terminal Petrobrás

Destinado ao recebimento e embarque de produtos derivados de petróleo e ácidos para fabricação de adubos. O Píer Petrolero possui cinco tanques para armazenagem de derivados de petróleo, com uma capacidade de armazenamento estática de 22.500 m³; dois tanques para armazenagem de álcool, com capacidade total de 10.000 m³; e dois tanques para armazenagem de benzeno, com capacidade total de 8.700 m³. Sua capacidade de recepção é de 350 m³/hora. Possui dois berços para navios e um para barcaças (SUPRG, 2007).



Figura 4.8 – Terminal Petrobrás.

Fonte: SUPRG (2007).

4.4.8 Terminal Tecon

Terminal especializado na movimentação e armazenagem de contêineres. Ocupa uma área total de 670.000 m². Movimenta 99% da carga containerizada que passa pelo Porto do Rio Grande. O Tecon possui um calado de 12,5 metros (40 pés), e cais de 600 metros de comprimento. Sua capacidade estática é de 20.000 TEUs. O Terminal Tecon possui dois berços de atracação para navios (SUPRG, 2007). De acordo com a Superintendência do porto, este terminal está com projetos de ampliação do cais para 850 metros de comprimento, onde passará a operar com mais um berço de atracação. A previsão da conclusão destas obras é para o ano de 2009.



Figura 4.9 – Terminal Tecon.

Fonte: TECON RIO GRANDE S.A. (2007).

4.4.9 Terminal Termasa

O terminal privativo Termasa possui um píer acostável de 350 metros e um calado de 40 pés. Possui capacidade estática de armazenagem de 220.000 toneladas de granéis sólidos em seus oito armazéns horizontais, sendo dois com termometria e aeração para conservação e monitoramento da qualidade dos grãos e dois tanques com capacidade de 10.000 toneladas de granéis líquidos. Ainda, capacidade para receber diferentes produtos através dos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário a uma cadência de 500 toneladas/hora em cada uma das modalidades operacionais. Oferece alternativa de descarga de grãos com navios auto-descarregáveis. A cadência de desembarque atinge 1500 toneladas/hora para granéis sólidos e 600 toneladas/hora para granéis líquidos (SUPRG, 2007). No ano de 2004 este terminal contava apenas um berço de atracação. Desde 2005, o terminal possui dois berços de atracação, sendo um para navios, e um para barcaças (SUPRG, 2007).



Figura 4.10 – Terminal Termasa.

Fonte: TERMASA – TERGRASA (2007).

4.4.10 Terminal Tergrasa

O terminal Tergrasa (terminal de trigo e soja) é o maior terminal da América Latina para operações de granéis agrícolas. Possui dois armazéns graneleiros, com área total de 37.000 m² e capacidade de armazenagem estática de 152.000 toneladas. O terminal Tergrasa conta com um píer de navios de 412,5 metros de extensão e calado de 40 pés. Possui dois carregadores de navios com capacidade de carregamento de 1500 toneladas/hora cada, permitindo abastecer dois navios com produtos diferentes simultaneamente. O cais de

barcaças possui extensão de 612 metros e calado de 5 metros, com capacidade unitária nominal de 450 toneladas/hora. Conta com silo vertical para armazenagem de grãos em geral com capacidade de 130.000 toneladas. Dispõe de dois armazéns graneleiros horizontais, com capacidade estática de 76.000 toneladas e dois pórticos Raspadores, que totalizam capacidade de descarga de 1500 toneladas/hora cada. Utilizando o píer de 412,5 metros, o Tergrasa realiza operações de transbordo direto do navio para barcaças para produtos diferenciados como: celulose, granéis minerais e granéis líquidos. De acordo com a Superintendência do Porto do Rio Grande, o terminal Tergrasa utilizava dois berços de atracação em 2004. A partir de 2005, passou a utilizar 6 berços, dos quais dois são destinados a navios, e quatro a barcaças.



Figura 4.11 – Terminal Tergrasa.

Fonte: TERMASA - TERGRASA (2007).

4.4.11 Terminal Trevo Operadora Portuária Ltda

Terminal especializado em movimentação de matérias-primas para fertilizantes e produtos químicos. Possui um cais com uma capacidade de expedição de 6.000 toneladas/dia. O terminal oferece três armazéns, com uma área de armazenagem de 42.000 m², e capacidade estática de 250.000 toneladas. Tem ainda cinco tanques com capacidade de estocar 60.000 toneladas de produtos químicos (ácido fosfórico e ácido sulfúrico). Sua capacidade de recepção é de 2.000 toneladas/dia para caminhões, 400 toneladas/dia para trens, e 12.000 toneladas/dia para embarcações. A capacidade de expedição é de 8.000 toneladas/dia. Este terminal possui quatro berços de atracação, dos quais dois são destinados a navios, e dois a barcaças (SUPRG, 2007).



Figura 4.12 – Terminal Trevo Operadora Portuária Ltda.

Fonte: SUPRG (2007).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Aqui foi brevemente apresentado o Porto do Rio Grande, que é o local da aplicação da técnica de simulação desta dissertação. No próximo capítulo será abordado o procedimento desta técnica, bem como os resultados obtidos.

5. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SIMULAÇÃO AO PORTO DO RIO GRANDE

5.1 INTRODUÇÃO

Segundo Novaes (1975), uma avaliação de eficiência portuária pode ser realizada de acordo com a análise de vários dados como: número de chegadas diárias dos navios, duração de cada atendimento dos navios, tempos de espera dos navios, e o número de posições de atracação do porto.

Para o presente estudo, os dados de movimentação de cargas nos navios, referentes aos anos de 2004, 2005 e 2006, foram concedidos pelo setor de estatística da Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). Para cada movimentação das embarcações foram registrados os dados listados abaixo:

- PDA (número de identificação do navio);
- Local (berço de atracação);
- Nome da embarcação;
- Sentido (navegação interior, cabotagem ou longo curso);
- Espécie da carga;
- Mercadoria;
- Sentido (carga ou descarga);
- Chegada (data e horário);
- Atracação (data e horário);
- Desatracação (data e horário);
- Tempo de espera;
- Tempo de atracação;
- Tempo de operação;
- Peso da carga.

Após a obtenção destes dados, realizou-se uma análise criteriosa, a fim de organizá-los, separando-os de acordo com os terminais do Porto do Rio Grande. Foram considerados os

intervalos de tempo entre as chegadas, e os tempos de atendimento para cada embarcação. Após, foi feita a tentativa de representar tais dados através de distribuições estatísticas.

Conforme descrito no Capítulo 2, Seção 2.3.1, a distribuição de probabilidades mais aplicável à análise de intervalos entre chegadas geralmente é a exponencial. Se a análise é realizada em relação ao número de chegadas em um intervalo de tempo, comumente aplica-se a distribuição de Poisson. Para os dados de atendimento, conforme a Seção 2.3.2 do capítulo referido, uma das distribuições de probabilidades aplicável geralmente também é a exponencial (PRADO, 2004).

Levando em conta o exposto no parágrafo anterior, procurou-se verificar se os dados de intervalos entre as chegadas, e os dados de duração de cada atendimento, ajustavam-se à distribuição exponencial. Para tal, foram utilizados os *softwares* Arena e *Statistica*. Esta análise foi realizada para cada terminal do Porto do Rio Grande, de duas maneiras distintas:

1^a) O terminal foi considerado no seu todo, de forma homogênea, ou seja, considerou-se que os berços de atracação componentes do mesmo podiam receber indistintamente qualquer tipo de navio;

2^a) O terminal foi desmembrado de acordo com o tipo de berço e a análise foi realizada de forma separada para cada berço específico.

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROCEDIMENTOS EMPREGADOS PARA ANALISAR OS PROCESSOS DE CHEGADAS E DE ATENDIMENTO NO CASO EM ESTUDO

5.2.1 Processo de Chegada

De acordo com Novaes (1975) a análise dos intervalos entre as chegadas fornece mais informações do que a análise do número de chegadas. Então, para cada terminal do Porto do Rio Grande, foram calculados os intervalos entre as chegadas, já que estes são mais precisos que os números de chegadas. Posteriormente, estes dados foram analisados através do *software* Arena. Neste programa, os dados foram submetidos ao *Input Analyser*, sendo que neste caso, devem estar no formato ASCII (por exemplo, utilizando o editor do DOS, o Bloco De Notas (ou NotePad) do Windows ou qualquer editor de texto, tal como Word da Micorsoft e, neste último caso, o arquivo deve ser salvo no tipo “.texto MS-DOS”). O Arena trabalha

com a extensão *default* “.DST” para estes arquivos. O *Input Analyser* permite fazer uma avaliação dos dados fornecidos pelo usuário, agrupando-os em intervalos de acordo com a distribuição estatística escolhida, indicando o valor da probabilidade de estes dados ajustarem-se à função considerada.

Através dessa avaliação, o *software* Arena gera um gráfico com a distribuição selecionada, no caso a exponencial, e apresenta resultados como: média da distribuição estatística, o valor do teste Qui-Quadrado, o número de graus de liberdade, o número de intervalos agrupados pelo programa, o valor da probabilidade de os dados aderirem a esta distribuição, etc. Com a finalidade de comprovar estes resultados, os dados ainda foram analisados através do *software* *Statistica*, comparando assim os valores dos resultados de ambos os programas.

Segundo Triola (1999) os dados analisados aderem à curva escolhida, quando estiverem dentro de um grau de confiança. O grau de confiança, também chamado de nível de significância ou coeficiente de confiança, representa a probabilidade $1 - \alpha$ (comumente expressa como o valor percentual equivalente) de o intervalo de confiança conter o verdadeiro valor do parâmetro populacional. Geralmente, as escolhas para o grau de confiança são: 90% (com $\alpha = 0,10$), 95% (com $\alpha = 0,05$) e 99% (com $\alpha = 0,01$). A mais comum é a opção 95%, porque propicia bom equilíbrio entre a precisão (refletida na amplitude do intervalo de confiança) e a confiabilidade (expressa pelo grau de confiança).

Portanto, neste trabalho optou-se por adotar o grau de confiança de 95% (com $\alpha = 0,05$). Então, conclui-se que as amostras analisadas podem ser representadas pela curva estatística adotada, quando a probabilidade de aderência calculada tanto pelo programa Arena quanto o *Statistica*, for maior que 5%, pois assim está dentro do nível de confiança de 95%. Outra maneira de verificar a aderência é através do teste de Qui-Quadrado. A hipótese testada é aceita quando o valor do Qui-Quadrado calculado com os dados adquiridos é menor que o valor do Qui-Quadrado crítico, de acordo com o nível de significância adotado.

Portanto, a distribuição estatística selecionada foi aceita nos casos em que apresentou uma probabilidade de aderência maior que 5%, pois indica que assim estava dentro do nível de significância de 95% (nestes casos, usava-se a distribuição estatística com, sua média, no modelo de simulação do *software* Arena).

Nas situações em que esta probabilidade não atingiu este valor mínimo, o Arena gerou dados da função cumulativa. E, no modelo de simulação do Arena, informaram-se os dados gerados por esta função.

5.2.2 Processo de Atendimento

Os tempos de atendimentos, fornecidos pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), representam o tempo que cada navio permanece atracado, até que o serviço de descarga e/ou carga seja finalizado.

De maneira análoga ao processo de chegada, os dados do processo atendimento (tempos) foram analisados através do *software* Arena, com o auxílio do *Input Analyser*, que agrupou os dados em diferentes intervalos, de acordo com a distribuição estatística escolhida, indicando o valor da probabilidade de estes dados ajustarem-se a uma determinada função. O *software* Arena gera um gráfico com a distribuição selecionada, no caso a exponencial, e apresenta os resultados já citados no Capítulo 2, Seção 2.2.1. Os dados também foram analisados através do *software* *Statística*, para comprovar o valor médio da distribuição estatística.

Nas situações em que esta probabilidade de aderência não ficou dentro do intervalo de confiança de 95%, o Arena gerou dados da função cumulativa. E, para estes casos, no modelo de simulação do Arena, informaram-se os dados gerados por esta função. Já para as situações em que a probabilidade ficou dentro do intervalo de confiança, informou-se, no modelo de simulação do Arena, a distribuição estatística com sua média.

A Seção 5.3, a seguir, apresenta de forma detalhada a aplicação da metodologia proposta nesse trabalho. Para evitar que este capítulo tornasse-se demasiadamente extenso, optou-se por apresentar apenas a aplicação feita da 1ª maneira supracitada, para o ano de 2006, a qual consiste em considerar que cada terminal pode receber indistintamente qualquer tipo de navio nos seus berços componentes. Para os demais casos e anos, são apresentados apenas os resultados finais obtidos.

5.3 ANÁLISES DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO NO PORTO DO RIO GRANDE

5.3.1 Terminal Porto Novo

O terminal público Porto Novo é constituído de seis berços de atracação, os quais são de: Barcaças, Carga Geral, Contêineres, Fertilizantes, Granéis Sólidos e Granéis Líquidos.

Na análise do terminal público Porto Novo como um todo (1ª maneira da análise) foi feita a consideração de seis berços de atracação, para o caso dos anos de 2004 e 2005. Já para o ano de 2006, foram considerados apenas cinco berços de atracação, porque de acordo com a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), o Berço de Granéis Líquidos não foi utilizado no referido ano.

Quando um sistema apresenta poucos dados, (como é o caso de um terminal com pouca movimentação de cargas) acaba por gerar uma amostra muito pequena para as análises, dificultando assim a obtenção de resultados. Em razão desse fato, foi feita a opção de realizar uma análise conjunta dos berços de Granéis Sólidos e Líquidos, ou seja, foram analisados como um único berço, pois a movimentação de cargas é relativamente pequena em ambos.

Os dados de intervalos entre as chegadas do Porto Novo foram analisados através dos *softwares* Arena e *Statistica*. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o Porto Novo como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,883}$	$e^{-0,883}$
Teste de Qui-Quadrado	7,47	6,64
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,0243	0,0361

Considerando a Tabela 5.1, observa-se que o valor médio da distribuição exponencial é de 0,883 dias. Ou seja, a cada 0,883 dias chega um navio ao Porto Novo. Observa-se ainda que a probabilidade de aderir à curva exponencial, através dos *softwares* Arena e *Statistica*, respectivamente, é de 2,43% e de 3,61%.

As pequenas discrepâncias, observadas entre os resultados do processo de chegadas obtidos pelos dois programas, devem-se à maneira diferente como cada programa estabelece os intervalos de classe para análise, o que está evidenciado na Figura 5.1.

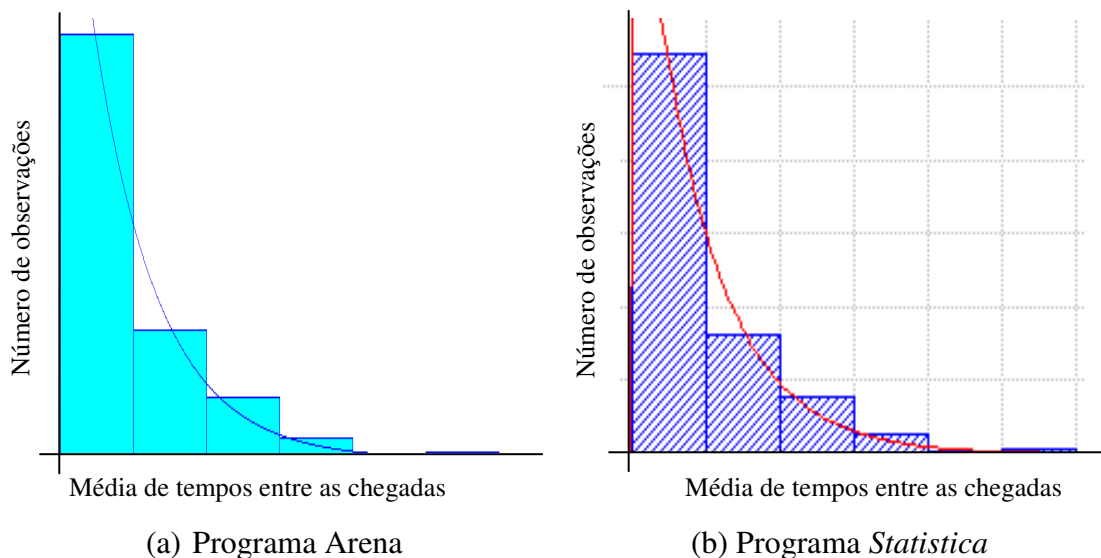


Fig. 5.1 - Processo de chegadas de navios no Porto Novo – 2006.

Como a probabilidade dos dados ajustarem-se à distribuição exponencial foi menor que 5% em ambos os programas utilizados, tornou-se necessário utilizar a função de distribuição cumulativa, gerada pelo programa Arena. Estes resultados estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Distribuição cumulativa para o processo de chegadas de navios no Porto Novo – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo entre as Chegadas	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	271	0,999	0,659	0,678	0,659	0,678
1	82	2,00	0,200	0,218	0,859	0,896
2	39	3,00	0,0949	0,0703	0,954	0,967
3	13	4,00	0,0316	0,0226	0,985	0,989
4	2	5,00	0,00487	0,00729	0,990	0,997
5	4	6,00	0,00973	0,00235	1,00	0,999

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.2 têm os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo entre as chegadas: indica o valor médio do intervalo de tempo entre as chegadas de navios ao porto;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Para esta situação, onde a probabilidade de aderir à curva exponencial foi menor que 5%, informaram-se no modelo de simulação (descrito na Seção 5.5) os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos valores dos tempos entre as chegadas, e não a distribuição exponencial com a média.

De maneira semelhante ao processo de chegadas foram analisados os tempos de atendimento do terminal Porto Novo, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.3, onde se nota que o valor médio da distribuição exponencial negativa foi de 1,39 dias.

Tabela 5.3 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o Porto Novo como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-1,39}$	$e^{-1,39}$
Teste de Qui-Quadrado	5,38	4,71
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,0216	0,02998

De acordo com a Tabela 5.3, constatou-se que o processo de atendimento levou em média 1,39 dias. Observa-se ainda que a probabilidade de aderência dos dados da amostra à

curva exponencial, através dos *softwares* Arena e *Statistica*, respectivamente, foi de 2,16% e de 2,998%. Nota-se que em ambos os programas, a probabilidade de ajuste à curva, foi menor que 5%, indicando que estes dados não puderam ser representados segundo a distribuição exponencial. Portanto foi necessário adotar os valores gerados pelo programa Arena, através da função de distribuição cumulativa, os quais estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Distribuição cumulativa para o processo de atendimento de navios no Porto Novo – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo de atendimento	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	355	2,59	0,864	0,844	0,864	0,844
1	42	5,18	0,102	0,132	0,966	0,976
2	10	7,76	0,0243	0,0206	0,990	0,996
3	2	10,4	0	0,00322	0,995	0,999
4	1	12,9	0	0,000503	0,998	1,00
5	0	15,5	0	$7,85e^{-005}$	0,998	1,00
6	0	18,1	0	$1,23e^{-005}$	0,998	1,00
7	0	20,7	0	$1,92e^{-006}$	0,998	1,00
8	0	23,3	0	$2,99e^{-007}$	0,998	1,00
9	0	25,9	0	$4,68e^{-008}$	0,998	1,00
10	0	28,5	0	$7,31e^{-009}$	0,998	1,00
11	0	31,1	0	$1,14e^{-009}$	0,998	1,00
12	0	33,6	0	$1,78e^{-010}$	0,998	1,00
13	0	36,2	0	$2,79e^{-011}$	0,998	1,00
14	0	38,3	0	$4,35e^{-012}$	0,998	1,00
15	0	41,4	0	$6,80e^{-013}$	0,998	1,00
16	1	44,0	0,0243	$1,06e^{-013}$	1,00	1,00

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.4 apresentam os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo de atendimentos: indica o valor médio dos tempos de atendimentos necessários aos navios;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Portanto, para o processo de atendimento, foi necessário informar no modelo de simulação (descrito na Seção 5.5), os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos valores dos tempos de atendimento.

Através da Figura 5.2 é possível visualizar as pequenas diferenças, que ocorreram entre os resultados de cada programa, para o processo de atendimento, devido ao número de intervalos utilizado.

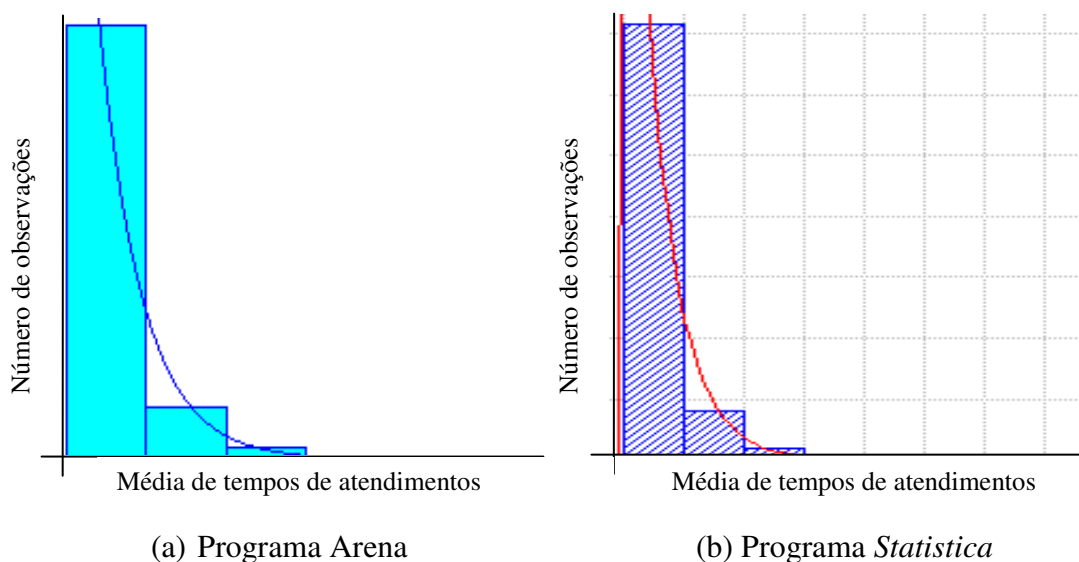


Fig. 5.2 - Processo de atendimento de navios no Porto Novo – 2006.

5.3.2 Terminal Bianchini

O Terminal Bianchini possui três locais de atracação, dos quais um é destinado a navios, e os outros dois são para barcaças. A análise para o sistema integral foi desempenhada considerando três berços de atracação, independentemente da destinação de cada um.

Os dados de intervalos entre as chegadas ao terminal Bianchini foram analisados através dos *softwares* Arena e *Statistica*, e os resultados estão expressos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Bianchini como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,934}$	$e^{-0,932}$
Teste de Qui-Quadrado	7,63	7,21
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,272	0,30145

Como os referidos programas agruparam os dados das amostras em diferentes intervalos, surgiram algumas discrepâncias entre os resultados da análise de chegadas, os quais podem ser visualizados através da Figura 5.3.

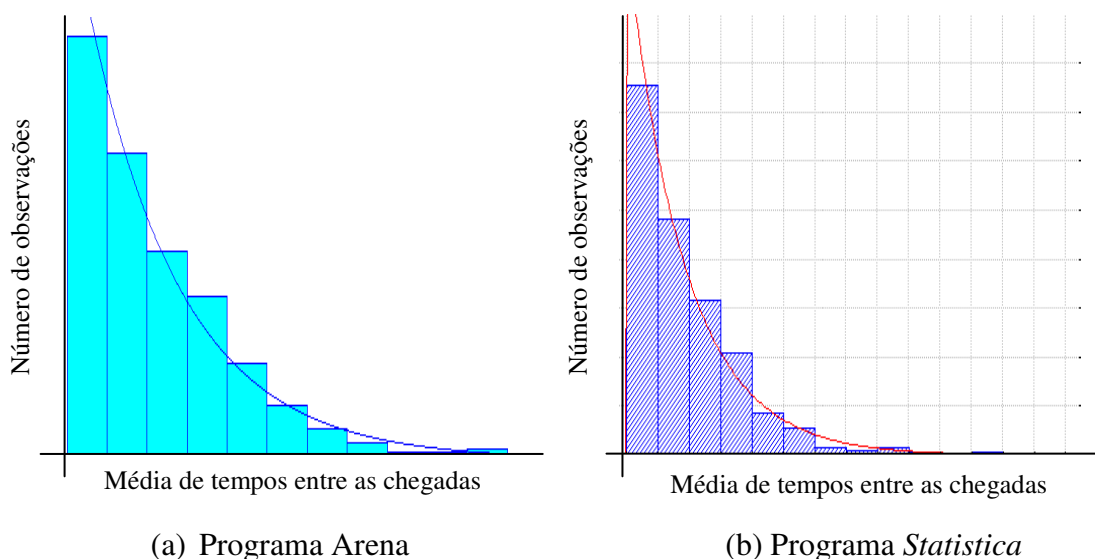


Fig. 5.3 - Processo de chegadas de navios no terminal Bianchini – 2006.

De acordo com a Tabela 5.5, observa-se que a média da distribuição exponencial é de 0,93 dias, representando o tempo entre chegadas de navios ao porto. A probabilidade de aderir à curva exponencial através dos programas utilizados foi de 27,2% e de 30,145%, respectivamente. Como a probabilidade foi maior que 5% em ambos os programas, a função da distribuição exponencial pôde ser utilizada diretamente no modelo de simulação, escusando o uso da distribuição cumulativa.

De maneira análoga ao processo de chegadas foram analisados os tempos de atendimento para o terminal Bianchini, e os resultados estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Bianchini como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-1,18}$	$e^{-1,18}$
Teste de Qui-Quadrado	2,39	2,25
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,496	0,52174

A Figura 5.4 mostra as pequenas diferenças ocorridas entre os resultados, da análise do tempo de atendimento, dos referidos programas.

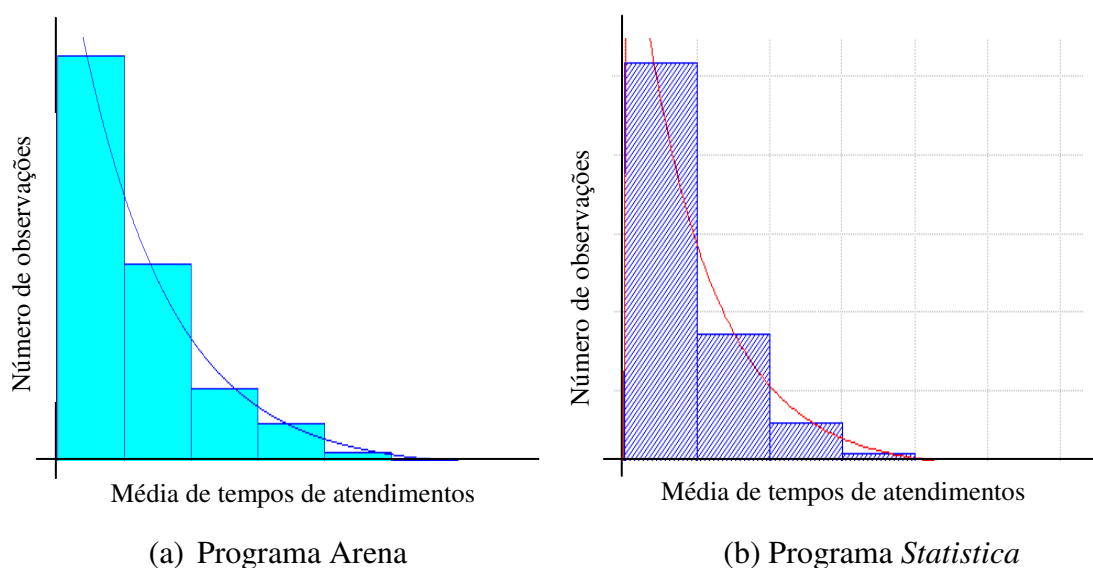


Fig. 5.4 - Processo de atendimento de navios no terminal Bianchini – 2006.

Conforme a Tabela 5.6, verifica-se que o valor médio de cada atendimento foi de 1,18 dias, segundo uma distribuição exponencial, com a probabilidade de aderência à curva de 49,6% e de 52,174%, de acordo com os programas Arena e *Statistica* respectivamente. Estas probabilidades foram maiores que 5% nos dois programas; então, os dados puderam ser representados através da distribuição exponencial, com a média de 1,18 dias, sem a necessidade de utilizar a função da distribuição cumulativa.

5.3.3 Terminal Bunge Alimentos

Para a análise dos dados referentes ao processo de chegada e de atendimento do terminal Bunge Alimentos, no seu todo, ou seja, no sistema global, foram considerados os dois berços de atracação existentes no local.

Os dados de intervalos entre as chegadas a este terminal foram submetidos à análise através dos *softwares* Arena e *Statistica*, apresentando assim, a média de 5,11 dias segundo a distribuição exponencial. A probabilidade de aderir à curva foi de 46,5% e de 49,2% com os respectivos programas, confirmando assim a hipótese de utilizar a expressão exponencial para representar os dados. Estes resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Bunge Alimentos como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-5,11}$	$e^{-5,10}$
Teste de Qui-Quadrado	1,58	1,41
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,465	0,492

Como os programas adotaram diferentes intervalos para agrupar os dados de chegadas, surgiram algumas discrepâncias entre os resultados, as quais estão claramente demonstradas na Figura 5.5.

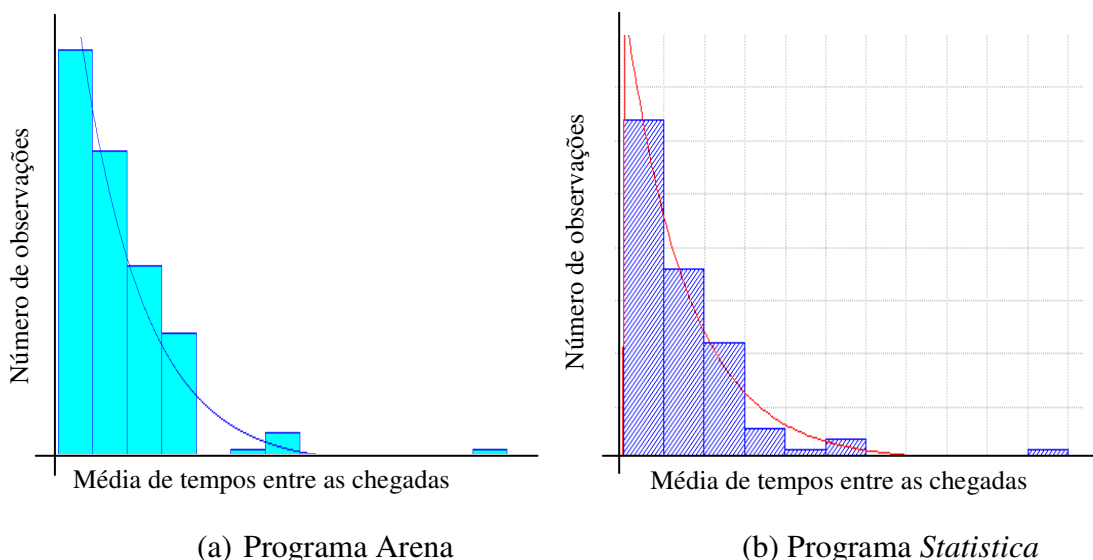


Fig. 5.5 - Processo de chegadas de navios no terminal Bunge Alimentos – 2006.

De maneira semelhante ao processo de chegadas, foram avaliados os tempos de atendimento para o terminal Bunge Alimentos. Os resultados podem ser observados através da Tabela 5.8, na qual se constata que a probabilidade de os dados ajustarem-se à curva exponencial foi de 9,84% e de 9,69%, sendo maiores que 5% nos dois programas. Então, nesta situação, também foi dispensável a utilização da função de distribuição cumulativa, adotando assim, a distribuição exponencial para representar os dados, com a média de 2,29 dias.

Tabela 5.8 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Bunge Alimentos como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-2,29}$	$e^{-2,288}$
Teste de Qui-Quadrado	2,74	2,75
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,0984	0,0969

Para a avaliação do tempo de atendimento também ocorreram pequenas diferenças entre os resultados dos referidos programas, as quais podem ser visualizadas através da Figura 5.6.

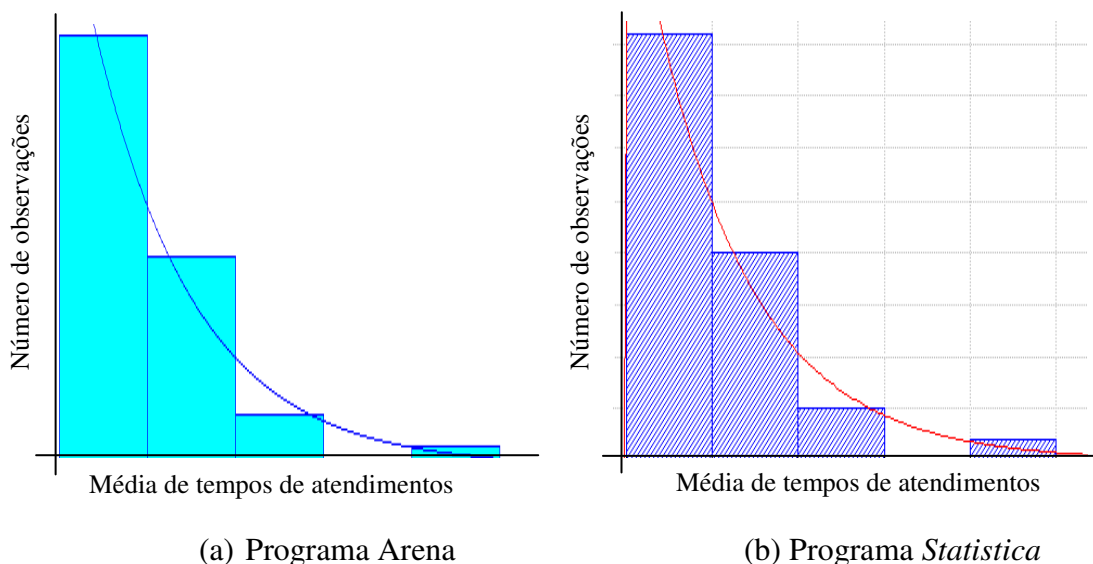


Fig. 5.6 - Processo de atendimento de navios no terminal Bunge Alimentos – 2006.

5.3.4 Terminal Copesul

Os dados referentes ao processo de chegadas, e ao de atendimento de navios do terminal Copesul, foram estudados considerando o único berço de atracação existente.

Os resultados da distribuição estatística, para o processo de chegadas, estão apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Copesul, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-1,9}$	$e^{-1,9}$
Teste de Qui-Quadrado	33,8	35,89
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,00

De acordo com a Tabela 5.9, observa-se que o valor médio de intervalos entre chegadas de navios foi de 1,9 dias, segundo uma distribuição exponencial. No entanto, a probabilidade de aderir à curva foi menor que 5%, em ambos os programas utilizados, indicando assim, a necessidade de utilizar a distribuição cumulativa para representar estes

dados. Os valores gerados pela distribuição cumulativa, através do programa Arena, estão expressos na Tabela 5.10. Portanto, neste caso, informaram-se no modelo de simulação (descrito na Seção 5.5), os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos valores dos tempos entre as chegadas.

Tabela 5.10 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal Copesul – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo entre as Chegadas	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	37	0,571	0,195	0,260	0,195	0,26
1	43	1,14	0,226	0,192	0,421	0,453
2	17	1,71	0,0895	0,142	0,511	0,595
3	28	2,28	0,147	0,105	0,658	0,700
4	14	2,86	0,0737	0,0780	0,732	0,778
5	15	3,43	0,0789	0,0577	0,811	0,836
6	16	4,00	0,0842	0,0427	0,895	0,879
7	13	4,57	0,0684	0,0316	0,963	0,910
8	5	5,14	0,0263	0,0234	0,989	0,934
9	1	5,71	0,00526	0,0173	0,995	0,951
10	0	6,29	0,000	0,0128	0,995	0,964
11	0	6,86	0,000	0,00946	0,995	0,973
12	0	7,43	0,000	0,00700	0,995	0,980
13	1	8,00	0,00526	0,00518	1,00	0,985

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.10 têm os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;

- Tempo entre as chegadas: indica o valor médio do intervalo de tempo entre as chegadas de navios ao porto;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

As discrepâncias que ocorreram entre os resultados, da análise de chegadas, dos dois programas podem ser visualizadas através da Figura 5.7.

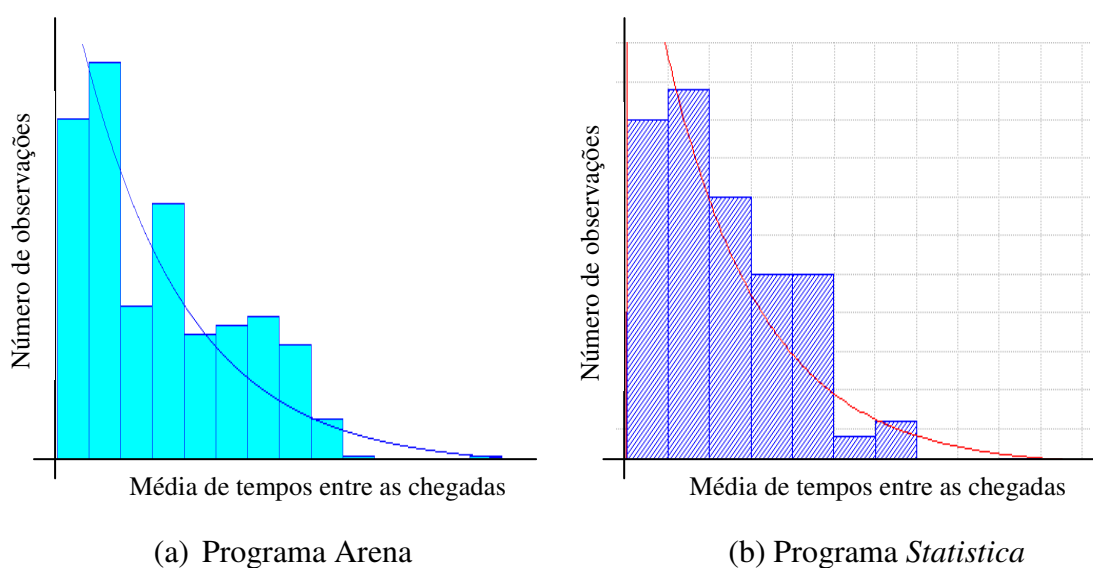


Fig. 5.7 - Processo de chegadas de navios no terminal Copesul – 2006.

Os resultados das análises do tempo de atendimento estão apresentados na Tabela 5.11, onde se verifica que a média da distribuição exponencial foi de 0,85 dias. No entanto, a probabilidade de ajuste à curva foi menor que 5%, em ambos os programas. Então, para esta situação, também se adotaram os valores gerados pela distribuição cumulativa, apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.11 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Copesul, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-0,85}$	$e^{-0,85}$
Teste de Qui-Quadrado	19,3	18,22
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,00011

Tabela 5.12 - Distribuição Cumulativa para o atendimento de navios no terminal Copesul – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo de atendimento	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	105	0,773	0,550	0,597	0,550	0,597
1	67	1,55	0,351	0,241	0,901	0,838
2	14	2,32	0,0733	0,0969	0,974	0,935
3	4	3,09	0,0209	0,0390	0,995	0,974
4	0	3,87	0,000	0,0157	0,995	0,989
5	1	6,46	0,00524	0,00633	1,00	0,996

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.12 apresentam os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo de atendimento: indica o valor médio dos tempos de atendimentos necessários aos navios;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;

- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Para o processo de atendimento, o teste de aderência não se verificou, portanto, forneceram-se no modelo de simulação (descrito na Seção 5.5) os valores da frequência relativa cumulativa, e dos tempos dos atendimentos dos navios.

Através da Figura 5.8, se observam as pequenas discrepâncias ocorridas entre os resultados, de tempos de atendimento, dos referidos *softwares*, devido aos diferentes números de intervalos de dados.

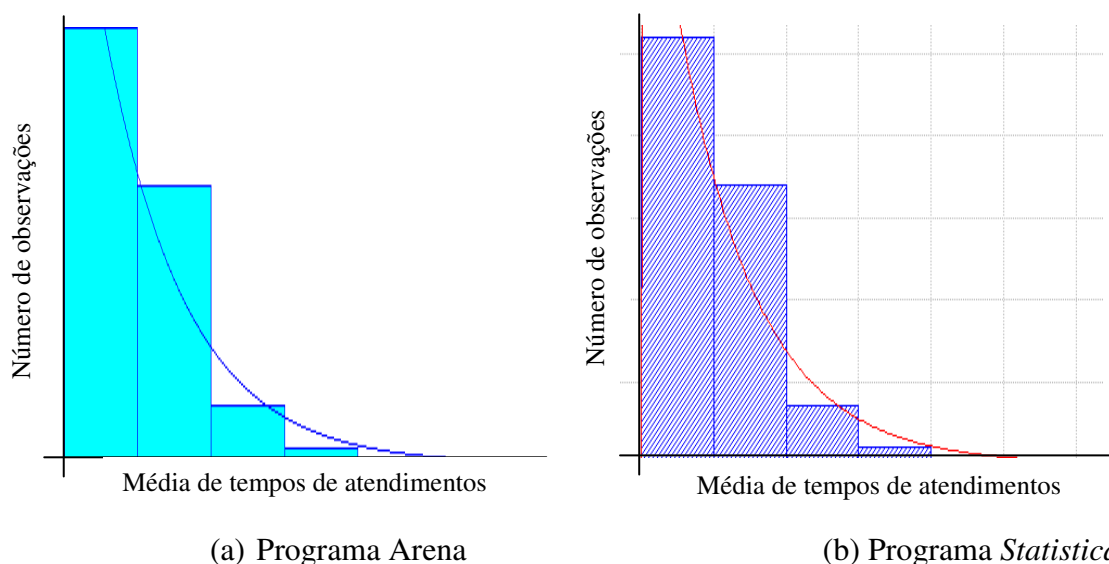


Fig. 5.8 - Processo de atendimento de navios no terminal Copesul – 2006.

5.3.5 Terminal Petrobrás

O terminal Petrobrás é constituído de dois locais de atracação para navios e um para barcaças. Então, para o estudo íntegro deste terminal, foram considerados os três berços de atracação, sem diferenciá-los.

Os resultados das análises do processo de chegadas estão apresentados na Tabela 5.13, onde se verifica que a média do tempo de intervalo entre chegadas foi de 0,858 dias, e que os dados não se ajustaram à distribuição exponencial porque a probabilidade de aderência à curva foi menor que 5% em ambos os programas. Conseqüentemente, tornou-se

imprescindível a utilização dos valores gerados pela função de distribuição cumulativa, os quais estão apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.13 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Petrobrás como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,858}$	$e^{-0,858}$
Teste de Qui-Quadrado	28,8	28,19
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,0000

Tabela 5.14 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal Petrobrás – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo entre as Chegadas	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	189	0,647	0,447	0,530	0,447	0,530
1	146	1,30	0,345	0,249	0,792	0,779
2	45	1,94	0,106	0,117	0,898	0,896
3	33	2,59	0,0780	0,0549	0,976	0,951
4	8	3,24	0,0189	0,0258	0,995	0,977
5	2	3,89	0,00473	0,0121	1,00	0,989

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.14 têm os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;

- Tempo entre as chegadas: indica o valor médio do intervalo de tempo entre as chegadas de navios ao porto;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Portanto, para o processo de chegadas, informaram-se os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos valores de tempo entre as chegadas, no modelo de simulação da Seção 5.5.

A Figura 5.9 mostra as diferenças ocorridas entre os resultados, da análise de chegadas, devido aos números de intervalos que cada programa adotou.

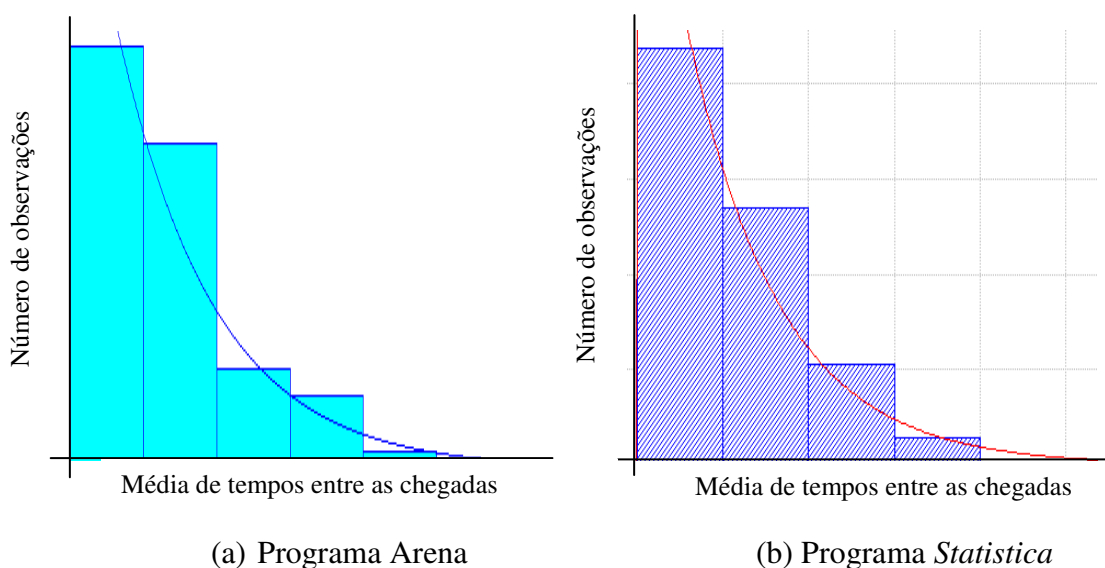


Fig. 5.9 - Processo de chegadas de navios no terminal Petrobrás – 2006.

Os dados de atendimento também foram analisados de maneira análoga ao processo de chegadas. Os resultados podem ser observados na Tabela 5.15, na qual nota-se que o valor médio de intervalos entre chegadas foi de 0,96 dias, e a probabilidade de aderir à distribuição exponencial foi menor que 5% em ambos os programas, sendo de 0,897% e de 0,593%, respectivamente. Por conseguinte, no modelo de simulação (descrito na Seção 5.5), tornou-se

indispensável o emprego de valores gerados pelo programa Arena, através da função de distribuição cumulativa, os quais podem ser observados através da Tabela 5.16.

Tabela 5.15 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Petrobrás como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-0,962}$	$e^{-0,96}$
Teste de Qui-Quadrado	9,5	10,25
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,00897	0,00593

Tabela 5.16 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Petrobrás – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo de atendimento	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	312	1,17	0,738	0,703	0,738	0,703
1	89	2,33	0,210	0,209	0,948	0,912
2	16	3,50	0,0378	0,0621	0,986	0,974
3	3	4,67	0,00709	0,0185	0,993	0,992
4	2	5,83	0,00473	0,00549	0,998	0,998
5	1	7,00	0,00236	0,00163	1,00	0,999

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.16 apresentam os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;

- Tempo de atendimento: indica o valor médio dos tempos de atendimentos necessários aos navios;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Deste modo, tornou-se indispensável fornecer os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos tempos de atendimento, no modelo de simulação (na Seção 5.5).

A pequena variação que ocorreu entre os resultados, do processo de atendimento, dos referidos programas pode ser visualizada na Figura 5.10.

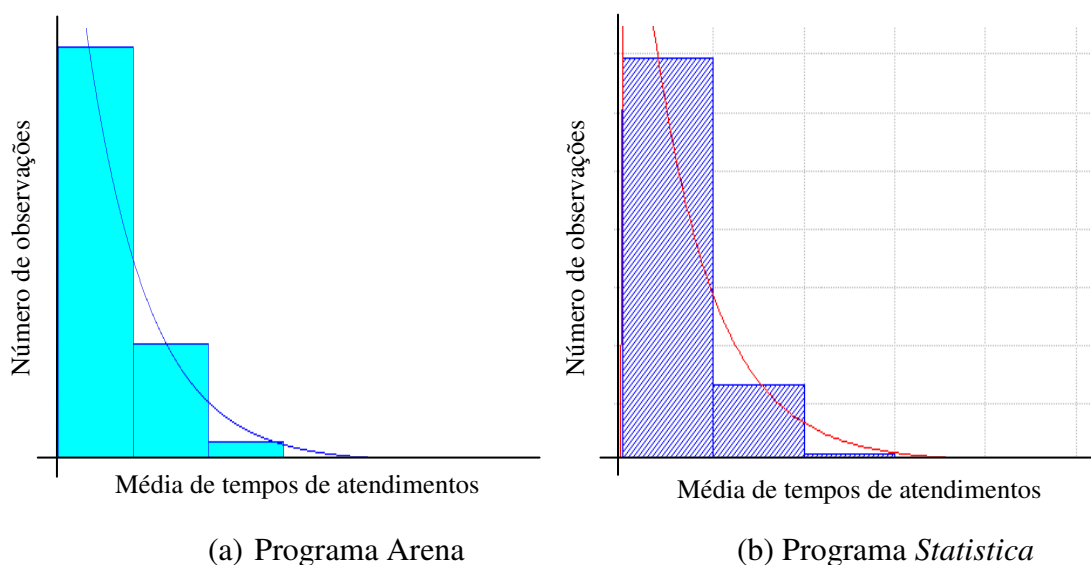


Fig. 5.10 - Processo de atendimento de navios no terminal Petrobrás – 2006.

5.3.6 Terminal Tecon

O terminal de contêineres Tecon é composto de dois berços de atracação para navios, sendo este o valor utilizado para o número de atendentes no modelo de simulação deste terminal.

A análise dos dados de intervalo entre chegadas foi efetuada através dos programas Arena e *Statistica*, e os resultados estão apresentados na Tabela 5.17. Ao observar estes

resultados, verifica-se que a média dos intervalos entre as chegadas foi de 0,36 dias, e que estes dados não puderam ser representados pela distribuição exponencial porque a probabilidade de ajustarem-se à curva foi menor que 5% em ambos os programas. Portanto, tornou-se necessário adotar os valores gerados pelo programa Arena, através da função de distribuição cumulativa, os quais estão apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.17 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Tecon, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,364}$	$e^{-0,363}$
Teste de Qui-Quadrado	13,5	13,25
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,00411

Tabela 5.18 - Distribuição Cumulativa para o processo de chegadas de navios no terminal Tecon – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo entre as Chegadas	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	572	0,332	0,573	0,599	0,573	0,599
1	266	0,666	0,266	0,240	0,839	0,840
2	105	0,999	0,105	0,0962	0,944	0,936
3	44	1,33	0,0440	0,0385	0,988	0,974
4	8	1,67	0,00801	0,0154	0,996	0,990
5	4	2,00	0,00400	0,00618	1,00	0,996

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.18 têm os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;

- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo entre as chegadas: indica o valor médio do intervalo de tempo entre as chegadas de navios ao porto;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Para o processo de chegadas, tornou-se necessário informar os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos tempos entre chegadas.

A Figura 5.11 mostra as pequenas diferenças ocorridas entre os resultados ,do processo de chegadas, dos programas refereridos.

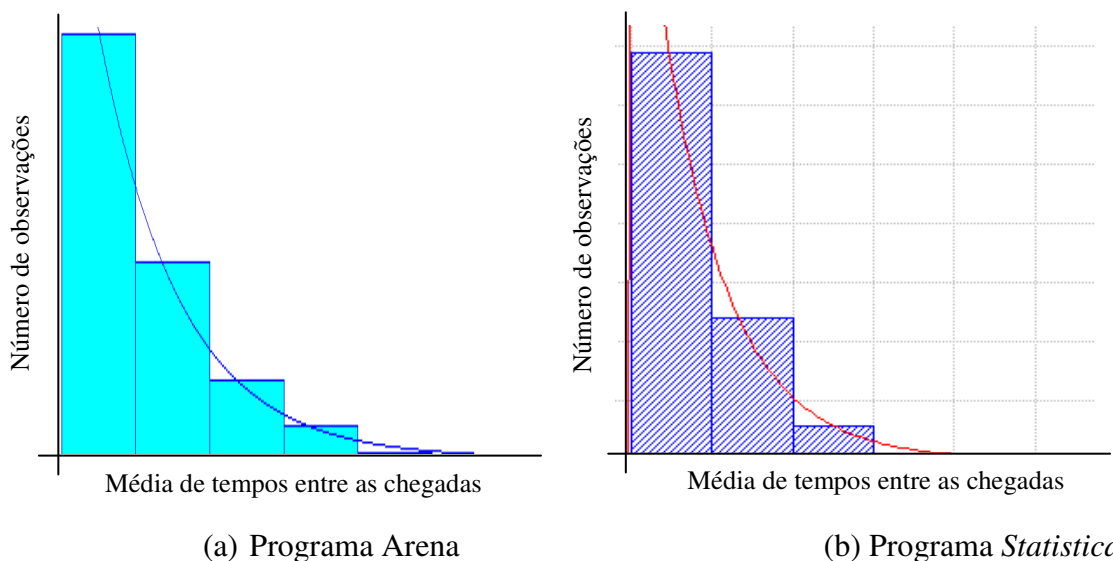


Fig. 5.11 - Processo de chegadas de navios para o terminal Tecon – 2006.

O processo de Atendimento foi realizado de maneira equivalente ao processo de chegadas, e os resultados estão apresentados na Tabela 5.19, onde é possível verificar que o valor médio do atendimento foi de 0,56 dias. No entanto, a distribuição exponencial, não pôde ser utilizada porque no teste de aderência foi provado que a probabilidade resultou em um valor menor que 5% em ambos os programas. Tornou-se, então, necessária a utilização de

valores gerados pelo programa Arena, através da função de distribuição cumulativa, os quais estão apresentados na Tabela 5.20.

Tabela 5.19 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Tecon, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-0,56}$	$e^{-0,56}$
Teste de Qui-Quadrado	185	198
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,0000

Tabela 5.20 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Tecon – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo de atendimento	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	0,546	0,532	0,546	0,613	0,546	0,613
1	0,404	1,06	0,404	0,237	0,950	0,851
2	39	1,60	0,0390	0,0917	0,989	0,942
3	8	2,13	0,0080	0,0354	0,997	0,978
4	3	2,66	0,0030	0,0137	1,00	0,991

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.20 apresentam os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;
- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo de atendimento: indica o valor médio dos tempos de atendimentos necessários aos navios;

- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Neste caso, tornou-se indispensável fornecer os valores referentes à frequência relativa cumulativa, e aos tempos de atendimento, no modelo de simulação do fluxograma (exposto na Seção 5.5).

Através da Figura 5.12 observa-se a discrepância entre os resultados dos dois programas utilizados, devido ao número de intervalos adotado por cada um destes.

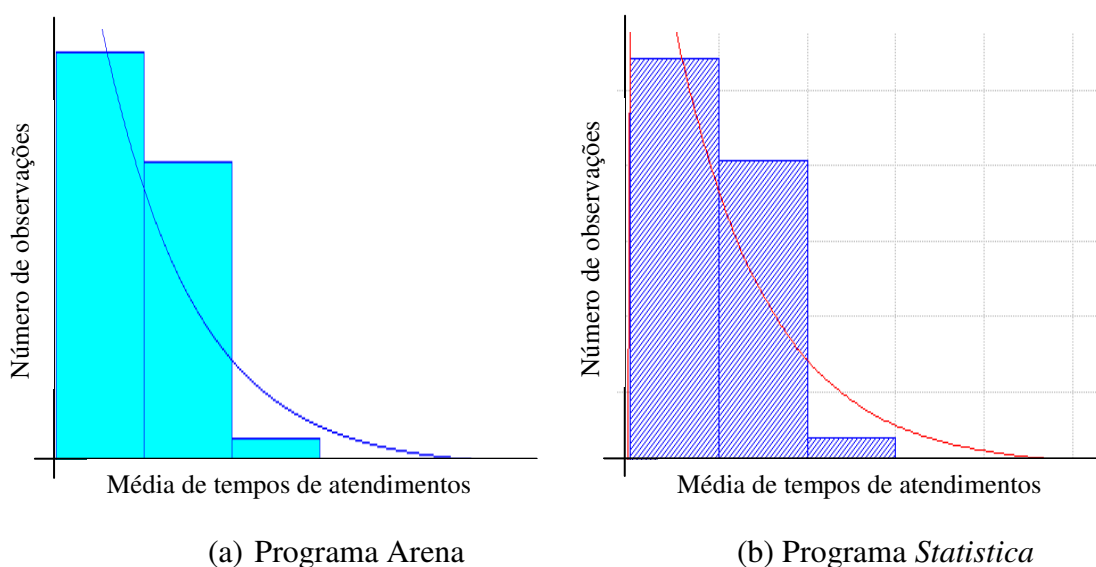


Fig. 5.12 - Processo de atendimento de navios para o terminal Tecon – 2006.

5.3.7 Terminal Tergrasa

De acordo com a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), no ano de 2004, este terminal utilizava apenas dois berços de atracação. Já nos anos de 2005 e 2006, passou a utilizar seis berços. Pelo fato deste terminal operar com apenas dois berços em 2004, torna-se evidente o congestionamento. Portanto, não foram realizadas análises para 2004, e sim para os anos seguintes. Então, no ano de 2006, o terminal Tergrasa possuía seis locais de atracação,

sendo dois reservados a navios, e quatro a barças. Logo, para o sistema integral deste terminal, foram considerados seis berços de atracação neste ano.

As análises do processo de chegadas foram efetuadas, e os resultados estão expostos da Tabela 5.21, onde se constata que os dados seguiram a distribuição exponencial com média de 0,896 dias, e assim puderam ser representados no modelo de simulação, porque a probabilidade de ajuste à curva foi maior que 5% em ambos os programas utilizados. No Arena a probabilidade foi maior que 75%, e no Statistica foi de 81,39%. Portanto, ficou escusada a utilização da distribuição cumulativa gerada pelo Arena.

Tabela 5.21 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Tergrasa como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,896}$	$e^{-0,89}$
Teste de Qui-Quadrado	4,44	4,45
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	> 0,75	0,8139

Através da Figura 5.13 observam-se as pequenas variações que ocorreram entre os resultados, do processo de chegadas, de ambos os programas utilizados.

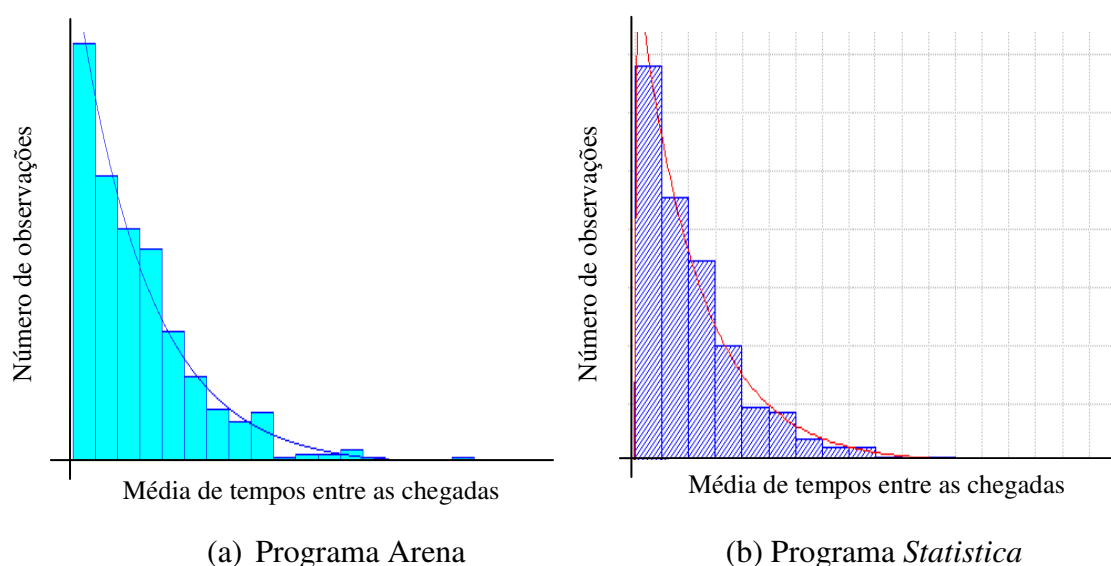


Fig. 5.13 - Processo de chegadas de navios para o terminal Tergrasa – 2006.

As análises do processo de atendimento foram realizadas de modo similar às avaliações feitas para o processo de chegadas, e os resultados estão expostos na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Tergrasa como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-2,04}$	$e^{-2,04}$
Teste de Qui-Quadrado	21,5	18,21
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	< 0,005	0,0004

De acordo com a Tabela 5.22, nota-se que a média dos valores foi de 2,04 dias para o tempo de atendimento, e a expressão exponencial não pôde ser empregada para representar os dados, porque a probabilidade de aderência à curva foi menor que 5%. Conseqüentemente, foi necessário empregar os valores fornecidos pelo programa Arena, por meio da função de distribuição cumulativa, os quais estão apresentados na Tabela 5.23.

As pequenas discrepâncias que ocorreram entre os resultados, da análise de tempo de atendimento, dos dois programas podem ser visualizadas através da Figura 5.14.

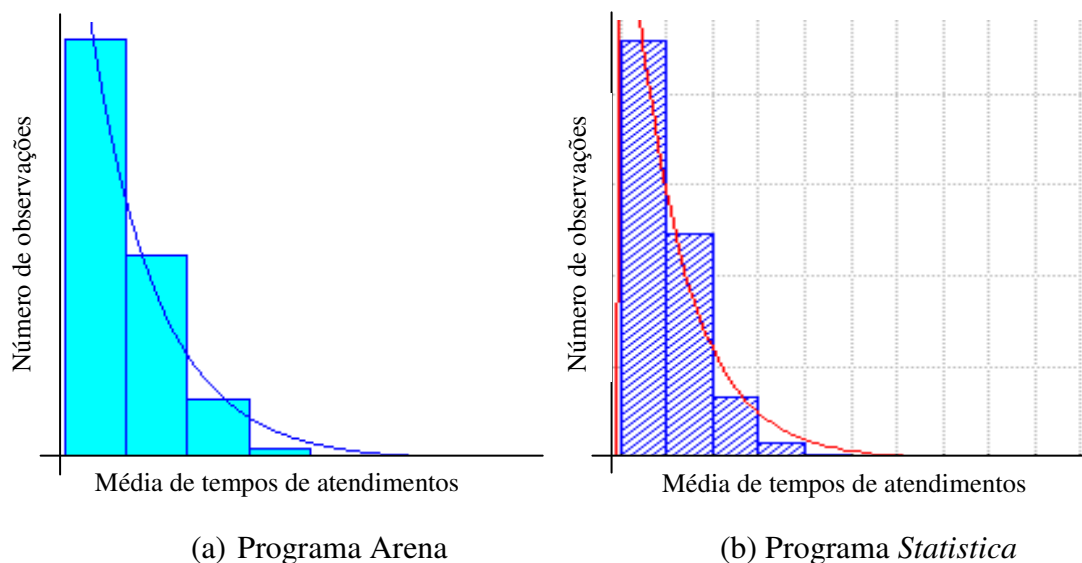


Fig. 5.14 - Processo de atendimento de navios para o terminal Tergrasa – 2006.

Tabela 5.23 - Distribuição Cumulativa para o processo de atendimento de navios no terminal Tergrasa – 2006.

Número do Intervalo	Frequência Absoluta	Tempo de atendimento	Frequência Relativa	Frequência Relativa Teórica *	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica *
0	238	1,86	0,598	0,597	0,598	0,597
1	116	3,71	0,291	0,241	0,889	0,837
2	34	5,57	0,0854	0,0970	0,975	0,934
3	7	7,43	0,0176	0,0391	0,992	0,974
4	2	9,29	0,00503	0,0158	0,997	0,989
5	0	11,1	0,000	0,00636	0,997	0,996
6	0	13,0	0,000	0,00256	0,997	0,998
7	0	14,9	0,000	0,00103	0,997	0,999
8	0	16,7	0,000	0,000417	0,997	1,00
9	0	18,6	0,000	0,000168	0,997	1,00
10	0	20,4	0,000	6,77e-005	0,997	1,00
11	0	22,3	0,000	2,73e-005	0,997	1,00
12	0	24,1	0,000	1,10e-005	0,997	1,00
13	0	26,0	0,000	4,44e-006	0,997	1,00
14	0	27,9	0,000	1,79e-006	0,997	1,00
15	0	29,7	0,000	7,21e-007	0,997	1,00
16	0	31,6	0,000	2,91e-007	0,997	1,00
17	0	33,4	0,000	1,17e-007	0,997	1,00
18	0	35,3	0,000	4,73e-008	0,997	1,00
19	0	37,1	0,000	1,91e-008	0,997	1,00
20	1	39,0	0,00251	7,68e-009	1,00	1,00

*Obtidas pela Distribuição Exponencial Negativa

Os campos apresentados na Tabela 5.23 apresentam os seguintes significados:

- Número do intervalo: indica apenas o intervalo que está sendo analisado;

- Frequência absoluta: representa a quantidade de pontos existentes no intervalo analisado;
- Tempo de atendimento: indica o valor médio dos tempos de atendimentos necessários aos navios;
- Frequência relativa: expressa a relação entre a frequência absoluta de cada intervalo e o número total de observações durante o ano;
- Frequência relativa teórica: representa a frequência da média de tempo de cada intervalo analisado, calculada através da distribuição exponencial negativa;
- Frequência relativa acumulada: indica as somas dos valores de frequências relativas;
- Frequência relativa acumulada teórica: representa as somas dos valores de frequência relativa teórica.

Por conseguinte tornou-se necessário informar os valores relativos à frequência relativa cumulativa, e aos tempos de atendimento, no fluxograma de simulação (descrito na Seção 5.5).

5.3.8 Terminal Termasa

Segundo a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), o terminal Termasa possui dois pontos de atracação, entretanto, no ano de 2004, somente um berço estava sendo utilizado. Então, para a avaliação do desempenho do sistema integral do terminal Termasa, nos anos de 2005 e 2006 foram considerados dois berços de atracação, e para o ano de 2004, apenas um berço.

A análise da distribuição dos dados referentes ao intervalo entre chegadas foi efetuada por meio dos *softwares* Arena e *Statistica*, e os resultados podem ser observados através da Tabela 5.24, na qual constata-se que o teste de aderência foi verificado, apresentando probabilidade de 72,7% e de 74,8% conforme os programas utilizados, respectivamente. Por conseguinte, tornou-se dispensável o emprego de valores gerados pela função de distribuição cumulativa, pois a probabilidade de aderência à curva foi maior que 5% em ambos os programas. Logo, os dados puderam ser representados segundo a distribuição exponencial negativa com valor médio de 3,23 dias.

Tabela 5.24 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Termasa como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-3,23}$	$e^{-3,23}$
Teste de Qui-Quadrado	3,63	3,46
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,727	0,748

A Figura 5.15 apresenta as diferenças entre os resultados adquiridos, através da análise de chegadas, por ambos os programas.

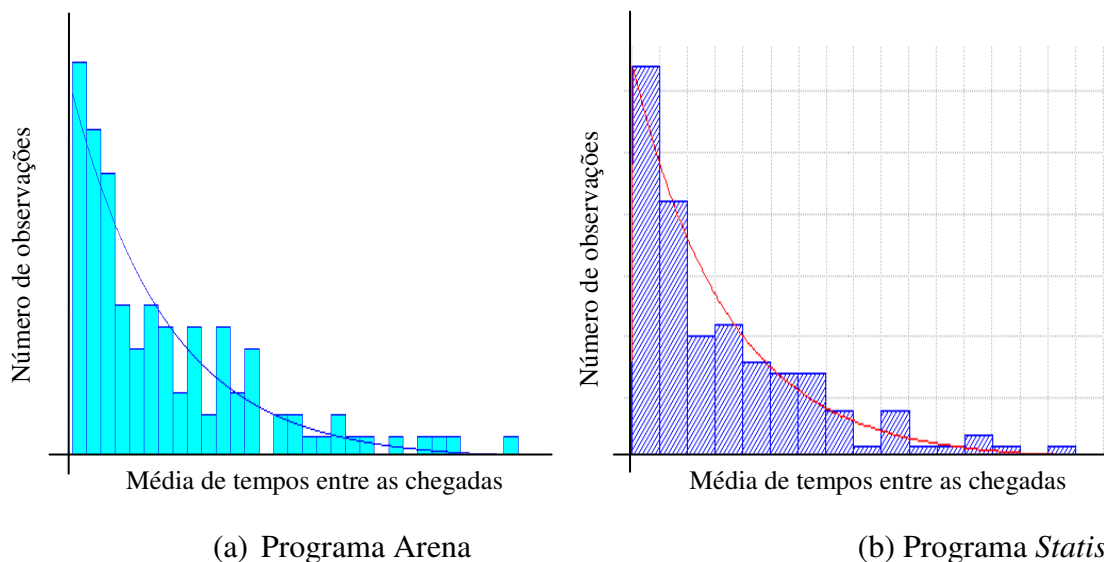


Fig. 5.15 - Processo de chegadas de navios para o terminal Termasa – 2006.

De maneira equivalente ao processo de chegada foram analisados os dados referentes ao tempo de atendimento, e os resultados podem ser observados na Tabela 5.25, onde nota-se que a probabilidade dos dados aderirem à curva exponencial foi de 29,9% e de 29,4% através dos referidos *softwares*. Destarte, para o processo de atendimento do terminal Termasa, também não foi necessário o uso da função de distribuição cumulativa, porque a probabilidade de aderência à curva exponencial foi maior que 5%. Portanto, os dados puderam ser representados segundo a distribuição exponencial com valor médio de 2,04 dias.

Tabela 5.25 - Resultados obtidos para o processo de atendimento, para o terminal Termasa como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-2.04}$	$e^{-2.04}$
Teste de Qui-Quadrado	2,5	2,44
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,299	0,294

Na Figura 5.14 podem ser observadas as pequenas discrepâncias que ocorreram entre os resultados, da análise do tempo de atendimento, dos referidos programas adotados.

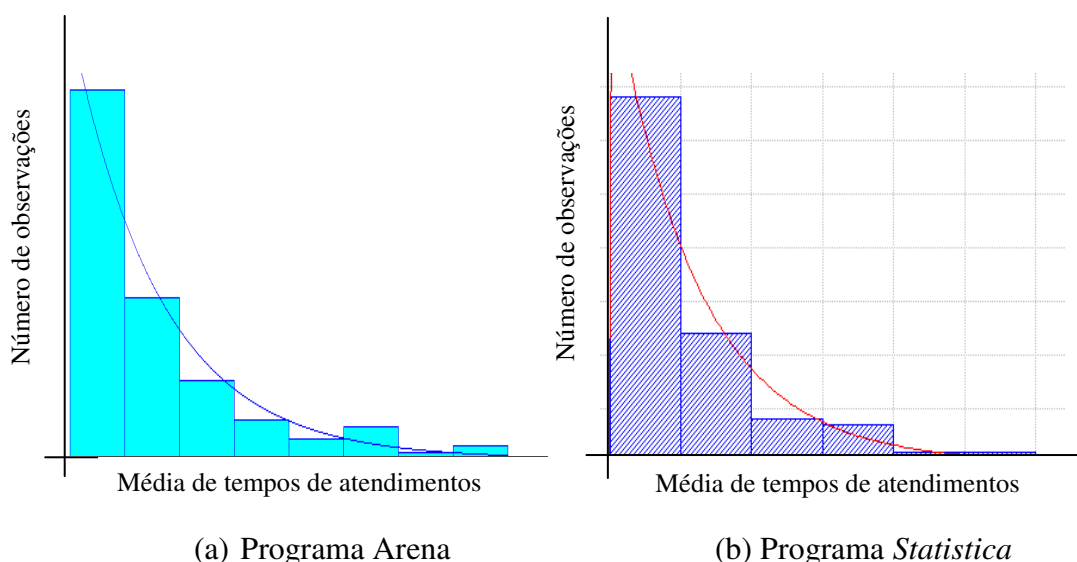


Fig. 5.16 - Processo de atendimento de navios para o terminal Termasa – 2006.

5.3.9 Terminal Trevo Operadora

O terminal Trevo Operadora, também conhecido como Yara Fertilizantes, é composto de dois berços de atracação para barcaças e dois para navios. Portanto, na análise do sistema íntegro do terminal foram considerados quatro berços de atracação.

Os resultados relativos ao processo de chegadas estão apresentados na Tabela 5.26.

Tabela 5.26 - Resultados obtidos para o processo de chegadas, para o terminal Trevo Operadora como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$-0,001 + e^{-0,766}$	$e^{-0,764}$
Teste de Qui-Quadrado	2,84	2,82
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,245	0,243

As variações que ocorreram entre os resultados dos referidos programas, para o processo de chegadas, podem ser observadas através da Figura 5.17.

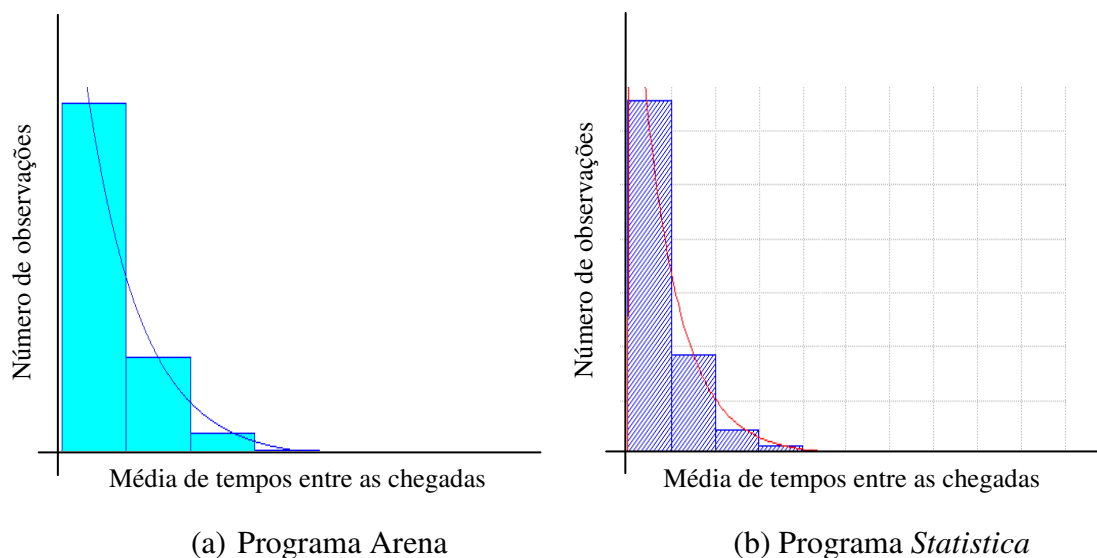


Fig. 5.17 - Processo de chegadas de navios para o terminal Trevo Operadora – 2006.

Conforme a Tabela 5.26, nota-se que a média foi de 0,766 dias segundo a distribuição exponencial, com a probabilidade de ajuste à curva de 24,5% e de 24,3%, respectivamente, de acordo com os *softwares*. Como estes valores foram maiores que 5%, este avaliação dispensou o uso da distribuição cumulativa.

De maneira similar ao processo de chegadas, foram avaliados os tempos de atendimento, e os resultados podem ser observados através da Tabela 5.27, onde se verifica que os dados seguiram a distribuição exponencial com média de 2,17 dias para o atendimento. A probabilidade de aderência à curva foi de 9,55% no programa Arena, e de 9,165% no

Statistica, sendo maior que 5% em ambos os casos, exonerando assim, o emprego da distribuição cumulativa.

Tabela 5.27 - Resultados obtidos para o atendimento, para o terminal Trevo Operadora como um todo, no ano de 2006.

	Software ARENA 7.0	Software STATISTICA 6.0
Tipo de Distribuição	Exponencial	Exponencial
Equação da Distribuição	$e^{-2,17}$	$e^{-2,17}$
Teste de Qui-Quadrado	6,39	6,45
Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p)	0,0955	0,09165

A Figura 5.18 apresenta as pequenas diferenças que ocorreram entre os resultados do processo de atendimento, dos programas de estudo.

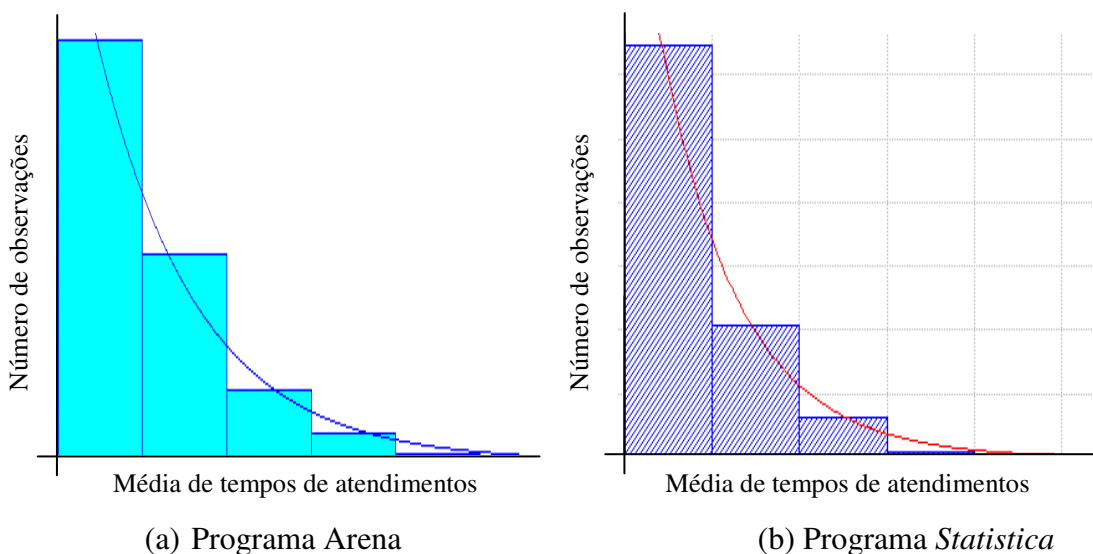


Fig. 5.18 - Processo de atendimento de navios para o terminal Trevo Operadora – 2006.

5.4 ANÁLISES MENSAIS DOS PROCESSOS DE CHEGADA E DE ATENDIMENTO NO TERMINAL TECON

De acordo com a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG, 2008) o terminal Tecon tem um projeto de ampliação do cais, que atualmente possui 600 metros de

comprimento. O projeto prevê ampliação para 250 metros, atingindo então 850 metros de comprimento. Portanto, o terminal, que atualmente está com dois berços de atracação, passará a operar com mais um berço, totalizando assim três locais para atracação. A previsão da conclusão das obras de ampliação do cais é para o ano de 2009.

Diante deste contexto, buscou-se aplicar a técnica de simulação para estimar o comportamento do terminal Tecon, em termos de congestionamento, no ano de 2009. Para atender este objetivo, foram realizadas análises mensais dos processos de chegada e de atendimento, com intuito de obter a taxa média de acréscimo ou decréscimo, para cada mês, a ser aplicada ao ano de 2009.

Estas análises foram realizadas através do programa Arena, e os resultados adquiridos para os processos de chegadas, referentes aos anos de 2004, 2005 e 2006, estão apresentados, respectivamente, nas tabelas 5.28, 5.29 e 5.30, onde se constata que em todos os meses pode ser aplicada a distribuição exponencial negativa para representar os dados, pois os valores referentes à probabilidade de aderir à curva foram maiores que 5% em todos os casos. No campo “Equação da Distribuição” são expressas as equações da distribuição exponencial negativa, com o valor da média de tempo (dias) entre chegadas de navios ao terminal Tecon.

Tabela 5.28 – Resultados obtidos para o processo de chegadas no ano de 2004.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,456}$	23,4
Fevereiro	Exponencial	$e^{-0,494}$	23,7
Março	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,383}$	60
Abril	Exponencial	$e^{-0,439}$	37
Maio	Exponencial	$e^{-0,481}$	36,5
Junho	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,447}$	72,8
Julho	Exponencial	$e^{-0,465}$	14,5
Agosto	Exponencial	$e^{-0,420}$	22,2
Setembro	Exponencial	$e^{-0,417}$	40,7
Outubro	Exponencial	$e^{-0,391}$	30,1
Novembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,381}$	39,2
Dezembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,385}$	57

Tabela 5.29 – Resultados obtidos para o processo de chegadas no ano de 2005.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,342}$	21,3
Fevereiro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,338}$	43,4
Março	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,351}$	24,2
Abril	Exponencial	$e^{-0,341}$	20,4
Mai	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,287}$	5,46
Junho	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,321}$	51,9
Julho	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,316}$	> 75
Agosto	Exponencial	$e^{-0,337}$	56,8
Setembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,355}$	30,6
Outubro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,310}$	> 75
Novembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,306}$	> 75
Dezembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,316}$	46,8

Tabela 5.30 – Resultados obtidos para o processo de chegadas no ano de 2006.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,297}$	36,4
Fevereiro	Exponencial	$e^{-0,327}$	19,4
Março	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,325}$	39,7
Abril	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,341}$	48,8
Mai	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,328}$	15,1
Junho	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,348}$	16,6
Julho	Exponencial	$e^{-0,441}$	10,9
Agosto	Exponencial	$e^{-0,425}$	37
Setembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,388}$	28
Outubro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,414}$	10,4
Novembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,425}$	19,2
Dezembro	Exponencial	$-0,001 + e^{-0,373}$	9,92

Os tempos dos atendimentos, também foram analisados mensalmente através do programa Arena. Primeiramente tentou-se verificar se os conjuntos de amostras mensais poderiam ser representados segundo a distribuição exponencial negativa, e constatou-se que esta hipótese não foi verdadeira, pois a probabilidade de aderência à curva foi menor que 5% em todas as situações. Então, através do programa Arena, verificou-se que as amostras mensais ajustavam-se à distribuição lognormal, porque a probabilidade de aderência era maior que 5% em todos os casos. Portanto, os dados referentes ao processo de atendimento foram representados segundo a distribuição lognormal.

Os resultados mensais, referentes às análises do processo de atendimento, estão apresentados nas tabelas 5.31, 5.32 e 5.33, para os anos de 2004, 2005 e 2006, respectivamente. No campo “Equação da Distribuição” estão expressas as equações fornecidas pelo programa Arena para a distribuição lognormal com os valores da média e do desvio padrão, respectivamente, para o tempo de atendimento (dias) de navios no terminal Tecon.

Tabela 5.31 – Resultados obtidos para o processo de atendimento no ano de 2004.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Lognormal	$0,15 + \text{Logn}(0,347;0,176)$	24
Fevereiro	Lognormal	$0,15 + \text{Logn}(0,347;0,176)$	73,3
Março	Lognormal	$0,03 + \text{Logn}(0,509;0,216)$	49,4
Abril	Lognormal	$0,14 + \text{Logn}(0,455;0,246)$	68,2
Maio	Lognormal	$\text{Logn}(0,705;0,366)$	13,3
Junho	Lognormal	$0,03 + \text{Logn}(0,552;0,244)$	15,8
Julho	Lognormal	$0,08 + \text{Logn}(0,511;0,251)$	23,7
Agosto	Lognormal	$0,11 + \text{Logn}(0,460;0,204)$	24,2
Setembro	Lognormal	$0,08 + \text{Logn}(0,477;0,241)$	48,4
Outubro	Lognormal	$\text{Logn}(0,502;0,219)$	23,6
Novembro	Lognormal	$0,04 + \text{Logn}(0,506;0,277)$	19,8
Dezembro	Lognormal	$0,07 + \text{Logn}(0,476;0,229)$	29,5

Tabela 5.32 – Resultados obtidos para o processo de atendimento no ano de 2005.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Lognormal	$Logn(0,747;0,199)$	29,6
Fevereiro	Lognormal	$Logn(0,475;0,232)$	10,5
Março	Lognormal	$Logn(0,484;0,263)$	9,82
Abril	Lognormal	$Logn(0,491;0,234)$	7,85
Mai	Lognormal	$0,03 + Logn(0,468;0,220)$	13,5
Junho	Lognormal	$Logn(0,499;0,236)$	42,9
Julho	Lognormal	$0,01 + Logn(0,513;0,202)$	43,1
Agosto	Lognormal	$Logn(0,601;0,333)$	22,7
Setembro	Lognormal	$Logn(0,634;0,397)$	35,7
Outubro	Lognormal	$0,01 + Logn(0,501;0,223)$	51,4
Novembro	Lognormal	$Logn(0,490;0,225)$	65
Dezembro	Lognormal	$Logn(0,488;0,229)$	15,7

Tabela 5.33 – Resultados obtidos para o processo de atendimento no ano de 2006.

Mês	Tipo da Distribuição	Equação da Distribuição	Probabilidade dos dados aderirem à distribuição (p) (%)
Janeiro	Lognormal	$0,07 + Logn(0,397;0,216)$	15,8
Fevereiro	Lognormal	$Logn(0,458;0,221)$	40,1
Março	Lognormal	$Logn(0,574;0,351)$	5,1
Abril	Lognormal	$Logn(0,478;0,234)$	13,5
Mai	Lognormal	$Logn(0,479;0,235)$	23
Junho	Lognormal	$Logn(0,647;0,381)$	54,2
Julho	Lognormal	$Logn(0,865;0,479)$	17,6
Agosto	Lognormal	$0,02 + Logn(0,627;0,295)$	35,7
Setembro	Lognormal	$Logn(0,657;0,332)$	24,2
Outubro	Lognormal	$0,02 + Logn(0,546;0,293)$	9,15
Novembro	Lognormal	$Logn(0,517;0,297)$	11,5
Dezembro	Lognormal	$Logn(0,575;0,297)$	22,1

Após realizar as análises mensais dos processos de chegada e de atendimento do terminal Tecon, foi estimada a demanda de tempos entre chegadas e de tempos de atendimentos mensal para os próximos primeiros anos. A demanda foi estimada para cada mês, através do cálculo da taxa média, de acréscimo ou decréscimo, que ocorreu nos anos de 2004 a 2006. Com o cálculo desta taxa, foi prevista a demanda mensal a ser aplicada no ano de 2009, para então simular o processo da operacionalidade do Tecon com os três berços de atracação. A Tabela 5.34 apresenta os resultados referentes a estas taxas, para o processo de chegada.

Tabela 5.34 – Taxas médias mensais para o processo de chegada.

Mês	Taxas médias (%)		
	2004/2005	2005/2006	2006/2009
Janeiro	25,0	13,2	19,08
Fevereiro	31,6	3,3	17,42
Março	8,4	7,4	7,88
Abril	22,3	0,0	11,16
Maio	40,3	-14,3	13,02
Junho	28,2	-8,4	9,89
Julho	32,0	-39,6	-3,76
Agosto	19,8	-26,1	-3,18
Setembro	14,9	-9,3	2,79
Outubro	20,7	-33,5	-6,42
Novembro	19,7	-38,9	-9,60
Dezembro	17,9	-18,0	-0,06

As tabelas 5.35 e 5.36 apresentam os resultados para as taxas médias de tempo de atendimento e do desvio padrão, respectivamente, que são necessárias para descrever a distribuição lognormal.

Tabela 5.35 – Taxas médias para os tempos de atendimento.

Mês	Taxas médias (%)		
	2004/2005	2005/2006	2006/2009
Janeiro	-36,6	16,2	-10,18
Fevereiro	-36,9	3,6	-16,65
Março	4,9	-18,6	-6,84
Abril	-7,9	2,6	-2,63
Maio	33,6	-2,4	15,63
Junho	9,6	-29,7	-10,03
Julho	-0,4	-68,6	-34,50
Agosto	-30,7	-4,3	-17,49
Setembro	-32,9	-3,6	-18,27
Outubro	0,2	-9,0	-4,39
Novembro	3,2	-5,5	-1,17
Dezembro	-2,5	-17,8	-10,17

Tabela 5.36 – Taxas médias para o desvio padrão mensal, referente ao processo de atendimento.

Mês	Taxas médias (%)		
	2004/2005	2005/2006	2006/2009
Janeiro	-13,1	-8,5	-10,81
Fevereiro	-31,8	4,7	-13,54
Março	-21,8	-33,5	-27,61
Abril	4,9	0,0	2,44
Maio	39,9	-6,8	16,54
Junho	3,3	-61,4	-29,08
Julho	19,5	-137,1	-58,80
Agosto	-63,2	11,4	-25,91
Setembro	-64,7	16,4	-24,18
Outubro	-1,8	-31,4	-16,61
Novembro	18,8	-32,0	-6,61
Dezembro	0,0	-22,3	-11,14

Com os valores das taxas médias para o processo de chegada e de atendimento, foram estimadas as demandas mensais para os referidos processos, a serem aplicadas no ano de 2009. A Tabela 5.37 apresenta as equações estimadas para os processos de chegada e de atendimento. Para o processo de chegada são apresentadas as equações da distribuição exponencial negativa, com a média de tempo entre chegadas (dias). Para o processo de atendimento, são apresentadas as equações da distribuição lognormal, com os valores da

média (dias) e do desvio padrão (dias), respectivamente. Estas equações foram aplicadas nas simulações realizadas para o terminal Tecon com a finalidade de prever a sua operacionalidade, em relação ao congestionamento. E os resultados estão apresentados no Capítulo 5.7.

Tabela 5.37 – Equações estimadas para os processos de chegada e de atendimento para o ano de 2009, no terminal Tecon.

Mês	Equação da Distribuição	
	Processo de chegada	Processo de atendimento
Janeiro	$e^{-0,240}$	$Logn(0,437;0,239)$
Fevereiro	$e^{-0,270}$	$Logn(0,534;0,251)$
Março	$e^{-0,299}$	$Logn(0,613;0,448)$
Abril	$e^{-0,303}$	$Logn(0,491;0,228)$
Maió	$e^{-0,285}$	$Logn(0,404;0,196)$
Junho	$e^{-0,314}$	$Logn(0,712;0,492)$
Julho	$e^{-0,458}$	$Logn(1,163;0,761)$
Agosto	$e^{-0,438}$	$Logn(0,737;0,371)$
Setembro	$e^{-0,377}$	$Logn(0,777;0,412)$
Outubro	$e^{-0,441}$	$Logn(0,570;0,342)$
Novembro	$e^{-0,466}$	$Logn(0,523;0,317)$
Dezembro	$e^{-0,373}$	$Logn(0,634;0,311)$

5.5 MODELO DE SIMULAÇÃO

Após a fase de análises dos processos de chegada e de atendimento, torna-se imprescindível a elaboração de um modelo de simulação, de acordo com o sistema em estudo. Visando alcançar o objetivo geral proposto nesta dissertação, tornou-se necessário realizar simulações para os terminais do Porto do Rio Grande de acordo com os processos de chegada e de atendimento, durante os anos de 2004, 2005 e 2006, para que possa ter uma idéia da operacionalidade do porto, em termos de congestionamento. Também foram realizadas simulações para prever a operacionalidade, em termos de congestionamento, do terminal Tecon no ano de 2009, que estará operando com três berços de atracação.

Esta etapa consiste em criar um fluxograma de acordo com a seqüência de fatos que ocorrem no porto, ou seja, chegada, atendimento, e saída, e também, de acordo com o número de atendentes, que no caso refere-se ao número de berços de atracação. O *software* Arena permite a construção de um fluxograma de acordo com os blocos disponíveis. Para a simulação dos terminais do Porto do Rio Grande são essenciais os blocos *create*, *process* e *dispose*, os quais são utilizados para descrever, respectivamente, processo de chegada, de atendimento e de saída, conforme descrito no Capítulo 3, na Seção 3.9.2.1

O fluxograma, criado para cada terminal do Porto do Rio Grande, está apresentado na Figura 5.19. Nos blocos *create* e *process* são informados valores conforme a expressão adequada a representar os dados de intervalos entre chegadas e atendimentos, respectivamente. O bloco *dispose* é utilizado apenas para indicar que o navio sai do porto.

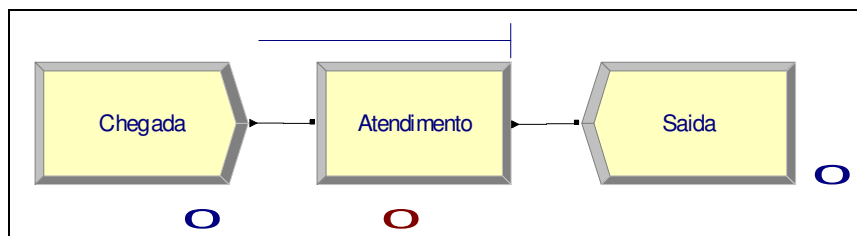


Fig. 5.19 - Fluxograma do programa Arena para os terminais do Porto do Rio Grande.

Nos blocos *create* e *process*, devem-se fornecer as expressões adequadas para representar os dados de chegada e atendimento, respectivamente. Por exemplo, para o ano de 2006, o processo de chegadas do terminal Tergrasa pôde ser representado pela expressão exponencial com média de 0,896 dias, pois a probabilidade de aderir à curva foi maior que 5%, então esta expressão foi fornecida no bloco *create*, conforme a Figura 5.20.

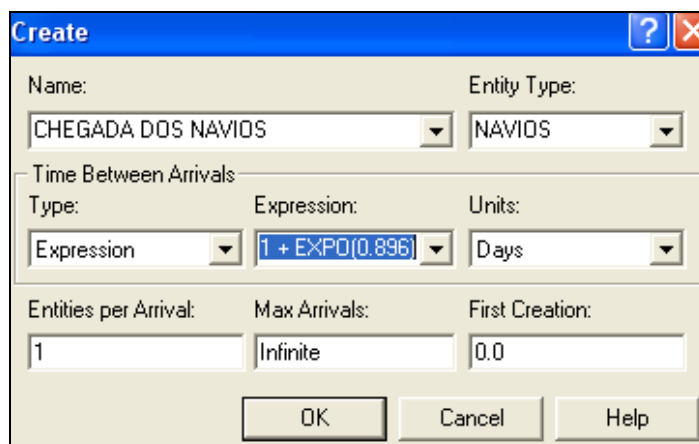


Fig. 5.20 - Processo de chegadas do terminal Tergrasa - 2006.

Já o processo de atendimento do terminal Tergrasa não pôde ser representado pela expressão exponencial, pois a probabilidade de aderir à curva foi menor que 5%. Neste caso, tornou-se necessária a informação de valores gerados pela distribuição cumulativa (como na Seção 5.3.7), então, no bloco *process* foram fornecidos os valores relativos à frequência relativa cumulativa e às durações de atendimentos, de acordo com a Figura 5.21.

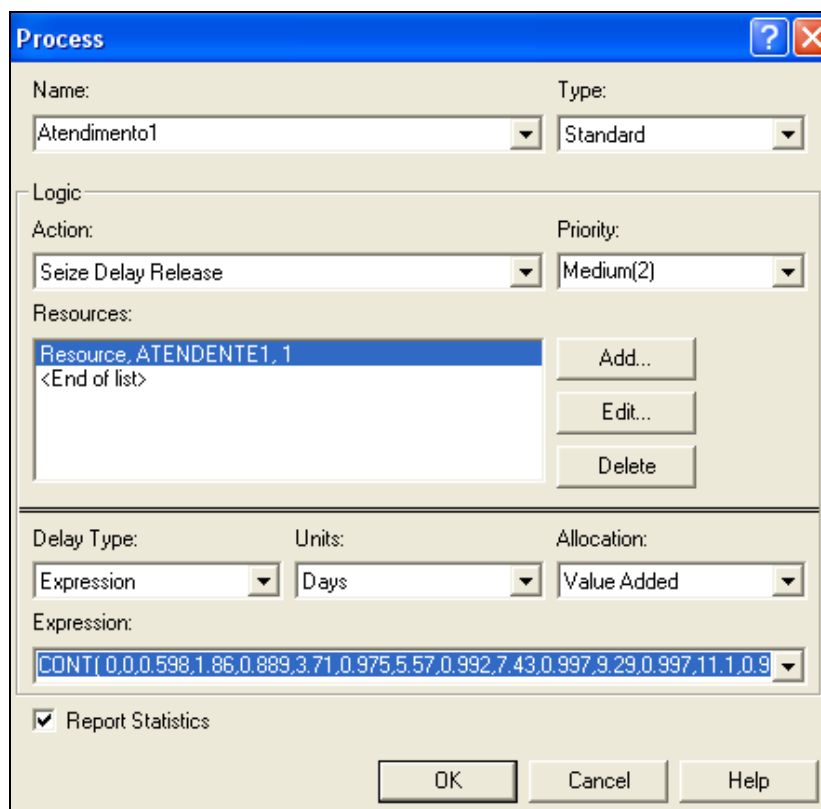


Fig. 5.21 - Processo de atendimento do terminal Tergrasa - 2006.

Ao observar a Figura 5.21, nota-se que os valores fornecidos são aos pares, de acordo com os elementos relativos à frequência cumulativa relativa, e às durações de atendimentos, respectivamente. E o primeiro par de valores refere-se ao atendimento no momento zero, ou seja, no início do funcionamento do sistema, essencial para que o fluxograma trabalhe.

Outro dado muito importante para se obter resultados consistentes, é o número de atendentes no sistema, ou seja, o número de posições de atracação. Ainda como exemplo, para a análise do sistema integral do terminal Tergrasa consideraram-se seis berços de atracação, então no *template Basic Process*, no módulo *Resource*, deve ser informado o valor do número de atendentes, no ícone *Capacity*, como na Figura 5.22.

Resource - Basic Process							
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Nam
1	ATENDENTE	Fixed Capacity	6	0.0	0.0	0.0	

Fig. 5.22 - Identificação do número de atendentes do terminal Tergrasa - 2006.

Após completar o fluxograma e antes de solicitar a execução do modelo, é necessário fornecer as opções de controle da execução, no ícone *Run*, seguido de *Setup*, de acordo com a Figura 5.23.

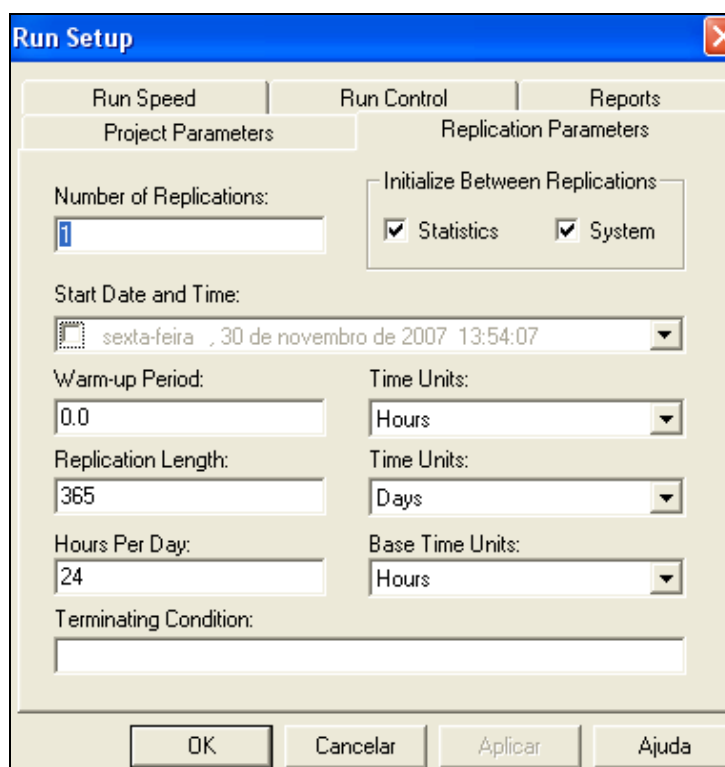


Fig. 5.23 - Opções de controle da execução para o terminal Tergrasa - 2006.

No campo *Number of Replications* é informado o número de vezes em que se deseja executar a simulação. O campo *Warm-up Period*, com o valor igual a zero, indica que não terá período de aquecimento, ou seja, o modelo será executado durante certo período de tempo sem coleta de dados estatísticos, e somente após este período é que se começa a coletar estatísticas. Em *Replication Length* deve-se fornecer a duração da simulação, que no caso é de 365 dias, considerando que o sistema em estudo funcione 24 horas por dia, informado em *Hours Per Day*.

Após todos os dados serem fornecidos, o modelo está pronto para a execução, que geralmente é efetuada em poucos segundos, dependendo da velocidade de execução escolhida

através do uso do teclado do computador. A tecla “<” é utilizada para diminuir a velocidade de execução do modelo, e a tecla “>” para aumentar.

Ao finalizar a simulação o programa Arena fornece inúmeros relatórios com dados estatísticos, como índice de congestionamento, tempo mínimo, médio, e máximo na fila e no sistema, número mínimo, médio, e máximo da fila e do sistema, entre outros, os quais serão apresentados a seguir. Este *software* não calcula às probabilidades do sistema estar ocioso ou não (P_0 , P_n). Então, calculou-se a probabilidade (P_0), com as equações 2.6 (um atendente e uma fila), e 2.19 (mais de um atendente e uma fila), as quais foram apresentadas no capítulo 2. Logo, determinou-se a probabilidade de haver um número “n” de clientes no sistema, subtraindo de 100, os valores encontrados para P_0 .

5.6 RESULTADOS REFERENTES ÀS SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA OS ANOS DE 2004, 2005 E 2006 PARA OS TERMINAIS DO PORTO DO RIO GRANDE

Após executar as simulações para os diversos terminais do Porto do Rio Grande, serão apresentados os resultados mais importantes para o objetivo do estudo, os quais estão apresentados nas Tabelas 5.38, 5.39 e 5.40. Para uma melhor compreensão da tabela, a seguir segue a nomenclatura adotada:

C: número de berços de atracação;

$E(t)_{\text{chegada}}$: média da distribuição exponencial para o intervalo entre chegadas (dias);

$E(t)_{\text{atendimento}}$: média da distribuição exponencial para o atendimento (dias);

ρ : índice de congestionamento;

NF: número médio de clientes na fila (navios);

TF: tempo médio que o cliente permanece na fila (horas);

NS: número médio de clientes no sistema (navios);

TS: tempo médio que o cliente permanece no sistema (horas).

P_0 : probabilidade de não haver clientes no sistema (%);

P_n : probabilidade de haver “n” clientes no sistema (%).

Tabela 5.38 - Resultados referentes aos processos de chegadas, de atendimento e ao índice de congestionamento.

Local	C			E(t) _{chegada}			E(t) _{atendimento}			ρ		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006
Porto Novo	6	6	5	1,01	1,03	*0,88	*1,45	1,15	*1,39	0,287	0,172	0,245
Porto Novo - Berço de Barcaças	1	1	1	*2,14	*1,90	1,76	*0,47	*0,59	1,75	0,196	0,241	0,336
Porto Novo - Berço de Carga Geral	1	1	1	4,08	3,58	*4,65	1,32	1,13	*1,78	0,368	0,357	0,593
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	1	1	1	5,91	9,04	5,58	*4,87	*3,33	*3,16	0,708	0,348	0,132
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	1	1	1	11,40	*21,90	*40,80	1,65	*2,54	*4,20	0,125	0,089	0,123
Porto Novo - Berço de Contêineres	1	1	1	*15,40	*30,40	5,27	*0,99	*0,88	*0,97	0,044	0,016	0,170
Termasa	1	2	2	3,22	3,28	3,23	1,65	1,74	2,04	0,614	0,262	0,312
Termasa - Berço de navios	-	1	1	-	11,70	8,09	-	3,43	3,38	-	0,250	0,390
Termasa - Berço de barcaças	-	1	1	-	4,37	5,05	-	*1,09	1,16	-	0,246	0,248
Tergrasa	2	6	6	-	1,09	0,90	-	*2,16	*2,04	-	0,307	0,366
Tergrasa - Berço de navios	-	2	2	-	6,93	4,37	-	2,62	*2,44	-	0,181	0,278
Tergrasa - Berço de barcaças	-	4	4	-	1,31	1,13	-	*2,07	*1,94	-	0,366	0,390
Tecon	2	2	2	0,43	0,33	*0,36	*0,57	*0,51	*0,56	0,606	0,790	0,774
Bianchini	3	3	3	1,18	1,14	0,93	1,18	1,15	1,18	0,320	0,322	0,395
Bianchini - Berço de navios	1	1	1	3,34	4,28	2,94	1,79	1,95	*1,97	0,613	0,468	0,665
Bianchini - Berço de barcaças	2	2	2	1,18	*1,53	*1,35	*0,86	*0,87	*0,83	0,233	0,177	0,287
Copesul	1	1	1	*2,40	*2,39	*1,90	*0,95	1,00	*0,85	0,413	0,311	0,438
Trevo Operadora	4	4	4	0,64	0,81	0,77	*52,70	*1,88	2,17	0,929	0,530	0,688
Trevo Operadora - Berço de navios	2	2	2	2,57	3,42	3,17	*3,73	*3,50	*3,54	0,729	0,495	0,576
Trevo Operadora - Berço de barcaças	2	2	2	0,86	1,06	1,01	*1,69	*1,36	*1,70	0,922	0,668	0,750
Bunge Alimentos	2	2	2	10,00	6,39	5,11	*2,06	*1,68	2,29	0,154	0,123	0,243
Petrobrás	3	3	3	*0,87	*0,86	*0,86	*0,82	*0,82	*0,96	0,209	0,236	0,296
Petrobrás - Berço de navios	2	2	2	3,71	3,70	3,14	*1,45	*1,56	*1,60	0,189	0,207	0,242
Petrobrás - Berço de barcaças	1	1	1	*1,13	*1,12	*1,17	*0,63	*0,60	*0,73	0,370	0,478	0,477

* Valores obtidos pela função de distribuição cumulativa através do programa Arena.

Tabela 5.39 - Resultados referentes ao número e tempo médio de navios na fila, e ao número e tempo médio de navios no sistema.

Local	NF			TF			NS			TS		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006	2004	2005	2006
Porto Novo	0,000	0,002	0,000	0,0	0,0	0,0	1,722	1,035	1,224	43,9	26,7	42,03
Porto Novo - Berço de Barcaças	0,065	0,012	0,104	3,8	0,8	6,2	0,261	0,253	0,440	15,3	16,6	26,2
Porto Novo - Berço de Carga Geral	0,274	0,255	3,982	27,9	23,5	330,7	0,641	0,612	4,574	66,0	56,5	392,9
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	1,026	0,087	0,047	183,4	21,3	7,4	1,734	0,436	0,180	310,0	108,4	28,1
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	0,019	0,000	0,000	6,7	0,0	0,0	0,145	0,089	0,123	50,6	65,1	98,3
Porto Novo - Berço de Contêineres	0,000	0,000	0,050	0,0	0,0	7,5	0,044	0,016	0,220	24,4	23,4	32,8
Termasa	1,278	0,021	0,037	100,5	2,0	3,3	1,892	0,545	0,660	149,9	49,8	59,4
Termasa - Berço de navios	-	0,070	0,102	-	25,8	22,3	-	0,311	0,492	-	113,6	107,8
Termasa - Berço de barcaças	-	0,080	0,127	-	10,1	17,3	-	0,330	0,375	-	40,1	51,3
Tergrasa	-	0,004	0,010	-	0,1	0,2	-	1,849	2,200	-	50,3	46,5
Tergrasa - Berço de navios	-	0,003	0,017	-	0,5	2,0	-	0,364	0,574	-	70,9	68,8
Tergrasa - Berço de barcaças	-	0,030	0,046	-	1,1	1,3	-	1,490	1,606	-	48,7	45,0
Tecon	0,474	2,942	1,112	4,8	21,6	9,6	1,685	4,521	2,660	17,0	33,3	23,0
Bianchini	0,015	0,014	0,070	0,4	0,4	1,7	0,974	0,981	1,250	28,2	27,5	29,4
Bianchini - Berço de navios	0,933	0,437	1,149	78,6	52,4	84,4	1,546	0,905	1,814	130,2	108,6	133,6
Bianchini - Berço de barcaças	0,016	0,000	0,009	0,8	0,0	0,3	0,483	0,353	0,583	22,2	23,2	19,9
Copesul	0,089	0,030	0,162	5,4	2,7	7,919	0,502	0,343	0,600	30,3	28,9	29,4
Trevo Operadora	7,240	0,159	0,600	114,3	3,2	11,4	10,96	2,270	3,350	173,6	46,1	63,5
Trevo Operadora - Berço de navios	1,503	0,150	0,424	98,4	13,8	33,3	2,961	1,140	1,576	195,7	105,8	125,6
Trevo Operadora - Berço de barcaças	6,126	0,998	1,460	136,5	25,6	37,0	7,970	2,330	2,958	177,7	59,8	75,2
Bunge Alimentos	0,000	0,000	0,020	0,0	0,0	2,8	0,309	0,247	0,500	55,2	44,1	69,3
Petrobrás	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0,0	0,627	0,708	0,886	19,5	18,1	22,9
Petrobrás - Berço de navios	0,010	0,014	0,014	1,0	1,4	1,2	0,389	0,428	0,498	38,3	42,1	42,6
Petrobrás - Berço de barcaças	0,014	0,046	0,108	0,6	1,4	3,9	0,384	0,525	0,585	15,8	16,0	21,1

Tabela 5.40 - Resultados referentes às probabilidades de os sistemas estarem ociosos ou não.

Local	P ₀			P _n		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006
Porto Novo	75,1	84,2	78,3	25,0	15,8	21,7
Porto Novo - Berço de Barcaças	80,4	75,9	66,4	19,6	24,1	33,6
Porto Novo - Berço de Carga Geral	63,2	64,3	40,7	36,8	35,7	59,3
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	29,2	65,2	86,8	70,8	34,8	13,2
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	87,5	91,1	87,7	12,5	8,9	12,3
Porto Novo - Berço de Contêineres	95,6	98,4	83,0	4,4	1,6	17,0
Termasa	38,6	76,8	73,0	61,4	23,2	27,0
Termasa - Berço de navios	-	75,0	61,0	-	25,0	39,0
Termasa - Berço de barcaças	-	75,4	75,2	-	24,6	24,8
Tergrasa	-	73,6	69,4	-	26,4	30,7
Tergrasa - Berço de navios	-	83,4	75,6	-	16,6	24,4
Tergrasa - Berço de barcaças	-	64,7	62,9	-	35,3	37,2
Tecon	53,5	43,4	44,2	46,5	56,6	55,8
Bianchini	72,6	72,5	67,4	27,4	27,5	32,7
Bianchini - Berço de navios	38,8	53,2	33,6	61,3	46,8	66,5
Bianchini - Berço de barcaças	79,1	83,7	74,9	20,9	16,3	25,1
Copesul	58,7	68,9	56,2	41,3	31,1	43,8
Trevo Operadora	39,5	58,9	50,3	60,6	41,1	49,8
Trevo Operadora - Berço de navios	46,6	60,3	55,3	53,4	39,7	44,7
Trevo Operadora – Berço de barcaças	36,9	49,9	45,5	63,1	50,1	54,6
Bunge Alimentos	85,7	88,4	78,3	14,3	11,6	21,7
Petrobrás	81,1	79,0	74,4	18,9	21,0	25,6
Petrobrás - Berço de navios	82,7	81,2	78,4	17,3	18,8	21,6
Petrobrás - Berço de barcaças	63,0	52,2	52,3	37,0	47,8	47,7

5.6.1 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

A Figura 5.24 apresenta os índices de congestionamento que ocorreram ano a ano nos berços de atracação do Porto Novo, e no sistema global do mesmo.

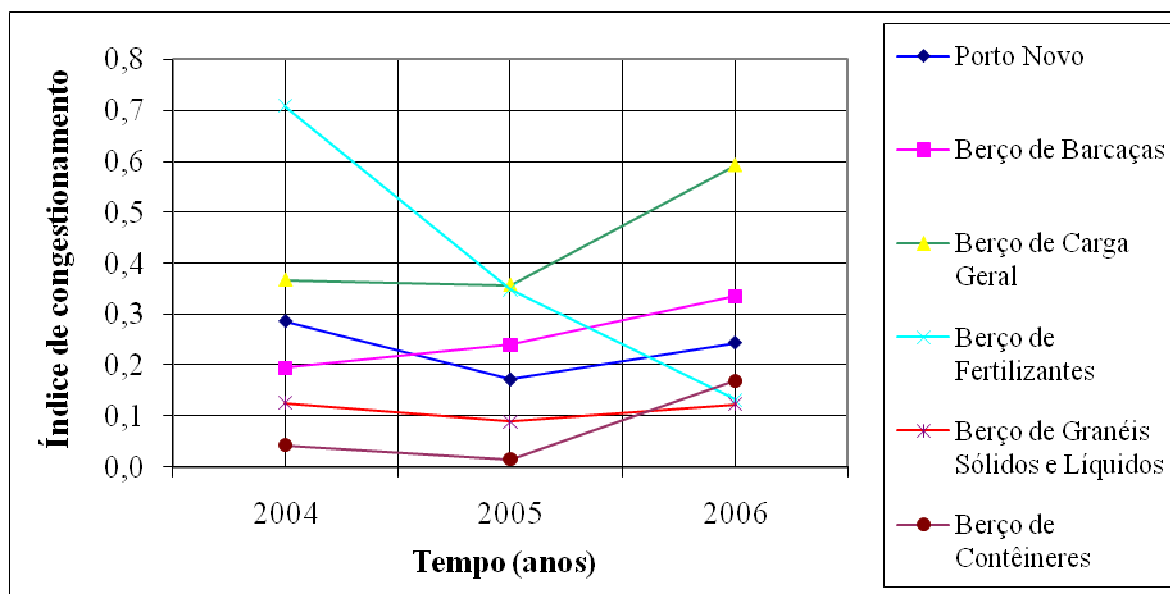


Figura 5.24 - Índices de congestionamento para o terminal Porto Novo e berços de atracação.

De acordo com a Figura 5.24, nota-se que o Berço de Contêineres obteve os menores valores para os índices de congestionamento nos anos de 2004 e 2005, em relação às demais análises, onde atingiu 0,044 e 0,016, respectivamente. Em 2006, sofreu um pequeno acréscimo, no qual passou a 0,170. O Berço de Granéis Sólidos e Líquidos descreveu um comportamento com pouca variação ao longo dos anos analisados, apresentando 0,125, 0,089 e 0,123, ordenadamente. Já o Berço de Barcaças teve uma progressão em relação à taxa de ocupação no decorrer dos anos, onde alcançou 0,196, 0,241 e 0,336, concomitantemente. Constata-se ainda, que o Berço de Carga Geral, nos primeiros anos apresentou os valores de 0,368 e 0,357, e adquiriu um significativo acréscimo no ano de 2006, quando passou para 0,593. O berço de Fertilizantes, que em 2004 assumiu o maior índice em relação aos demais berços, em torno de 0,708, obteve um decréscimo considerável nos anos seguintes, alcançando os valores de 0,348 e 0,132, simultaneamente.

No estudo do Porto Novo, como um sistema global, verifica-se que os valores dos índices de congestionamento foram de 0,287, 0,172 e 0,245, ordenadamente.

5.6.2 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais do Superporto

Através da Figura 5.25, podem-se observar os índices de congestionamento em cada terminal do Superporto, como sistemas íntegros.

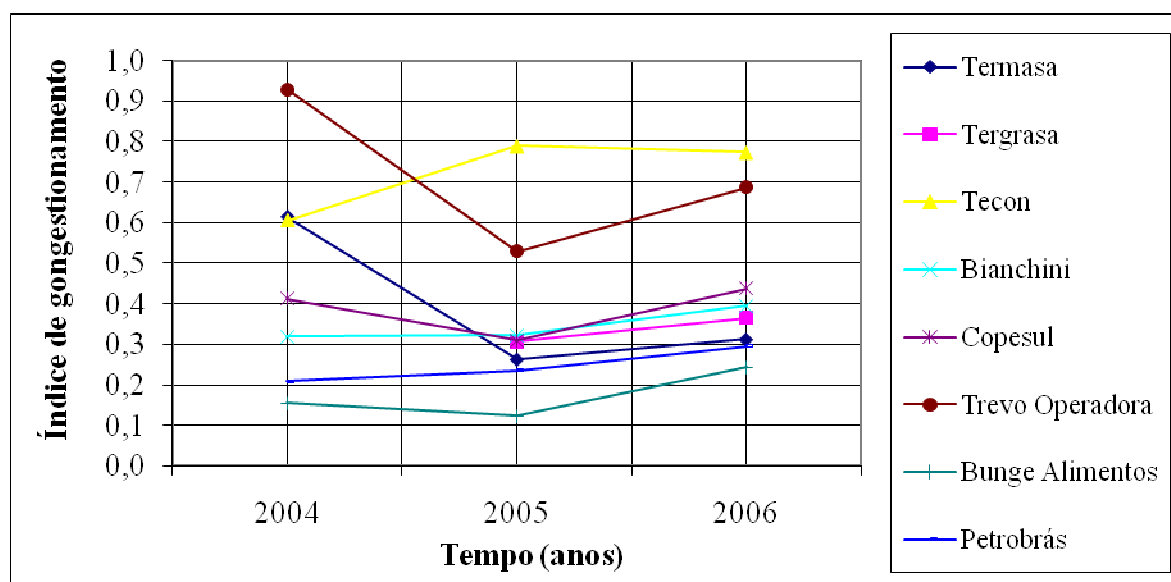


Figura 5.25 - Índices de congestionamento para os terminais do Superporto.

Conforme a Figura 5.25, observa-se que o Terminal Bunge Alimentos obteve os menores valores para o índice de congestionamento em relação aos demais terminais, os quais foram de 0,154, 0,123 e 0,243, respectivamente.

Logo, segue o terminal Petrobrás, com um comportamento progressivo ao longo dos anos analisados, com os valores 0,209, 0,236 e 0,296, concomitantemente.

O terminal Tergrasa, obteve os valores 0,307 e 0,366, em 2005 e 2006, respectivamente.

O terminal Bianchini obteve valores próximos nos primeiros anos, os quais foram de 0,320 e 0,322, simultaneamente. Já em 2006, sofreu um acréscimo, onde obteve 0,395.

O terminal Copesul obteve os valores de 0,413, 0,311 e 0,438, simultaneamente nos referidos anos da análise. Constata-se que houve um pequeno decréscimo em 2005, seguido de um acréscimo no ano posterior.

O terminal Termasa, em 2004, alcançou o valor de 0,614, e em 2005 apresentou um significativo decréscimo, onde atingiu 0,262, e em 2006 um acréscimo para 0,312.

O Tecon, que em 2004 atingiu o valor de 0,606, apresentou um significativo acréscimo em 2005, onde alcançou 0,790, e em 2006 decresceu para 0,774.

O terminal Trevo Operadora que obteve o valor de 0,929 em 2004, apresentou um significativo decréscimo em 2005, onde alcançou 0,530, e em 2006 um acréscimo para 0,688.

5.6.3 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

A Figura 5.26 mostra a relação dos índices de congestionamento entre os terminais do Superporto, e seus respectivos berços de navios e de barcaças, quando esta situação existir.

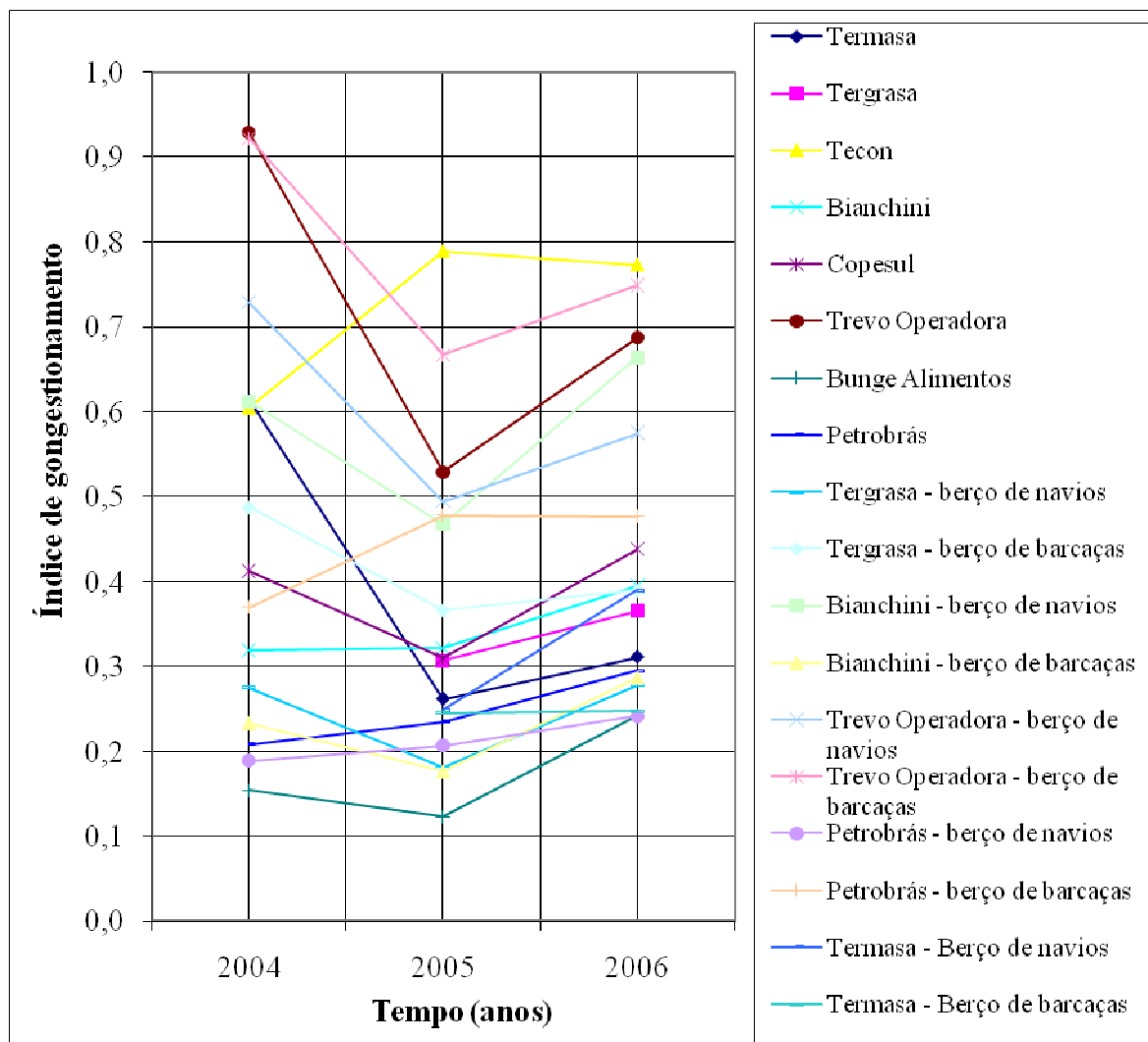


Figura 5.26 - Índices de congestionamento para os terminais e berços do Superporto.

De acordo com a Figura 5.26, verifica-se que em 2005 tanto o berço de navios quanto o de barcaças e o sistema íntegro do terminal Termasa obtiveram valores próximos. Já em 2006, o berço de navios apresentou maior índice que o sistema global, e este maior que o berço de barcaças. No ano de 2004 havia apenas um berço de atracação.

No terminal Tergrasa, constata-se que em 2005 e 2006, os berços de barcaças obtiveram maiores índices de congestionamento que o terminal na sua integridade, e este por sua vez, obteve maiores índices que os berços de navios.

Para o terminal Bianchini, observa-se que o berço de navios apresentou maiores índices de congestionamento que o terminal no sistema global, e este, maiores índices que os berços de barcaças. Tanto o berço de navios quanto os berços de barcaças, mostraram um decréscimo no índice de congestionamento no ano de 2005 em relação a 2004, e um acréscimo no ano de 2006. Já o terminal Bianchini como um único sistema, obteve um acréscimo no índice ao longo do período analisado.

No terminal Trevo Operadora, os berços de barcaças, os berços de navios, e o sistema global apresentaram significativos decréscimos na taxa de ocupação em 2005, e acréscimos em 2006. Salienta-se que os berços de barcaças obtiveram maiores índices que o sistema íntegro, e este, maiores índices que os berços de navios.

Por fim, para o terminal Petrobrás, constata-se que tanto os berços de navios quanto o sistema global, tiveram um acréscimo em relação à taxa de ocupação ao longo do período estudado. Já o berço de barcaças apresentou um acréscimo em 2005, e quase imperceptível redução em 2006. Nota-se ainda, que o berço de barcaças apresentou maiores índices que o sistema íntegro, e este, maiores que os berços de navios.

5.6.4 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para os Terminais do Porto do Rio Grande

Através da Figura 5.27, é possível avaliar as relações entre terminais privados do Superporto e o terminal Porto Novo, o qual é público. Nota-se que o terminal Bunge Alimentos obteve os menores índices de congestionamento em relação aos demais terminais privados e ao terminal Porto Novo. O terminal Petrobrás, em 2004, apresentou menor índice que o Porto Novo, ao contrário de 2005 e 2006. Os demais terminais privados (Termasa, Tergrasa, Tecon, Bianchini, Copesul e Trevo Operadora) obtiveram maiores valores para a taxa de ocupação que o terminal Porto Novo, no decorrer dos anos do referido estudo.

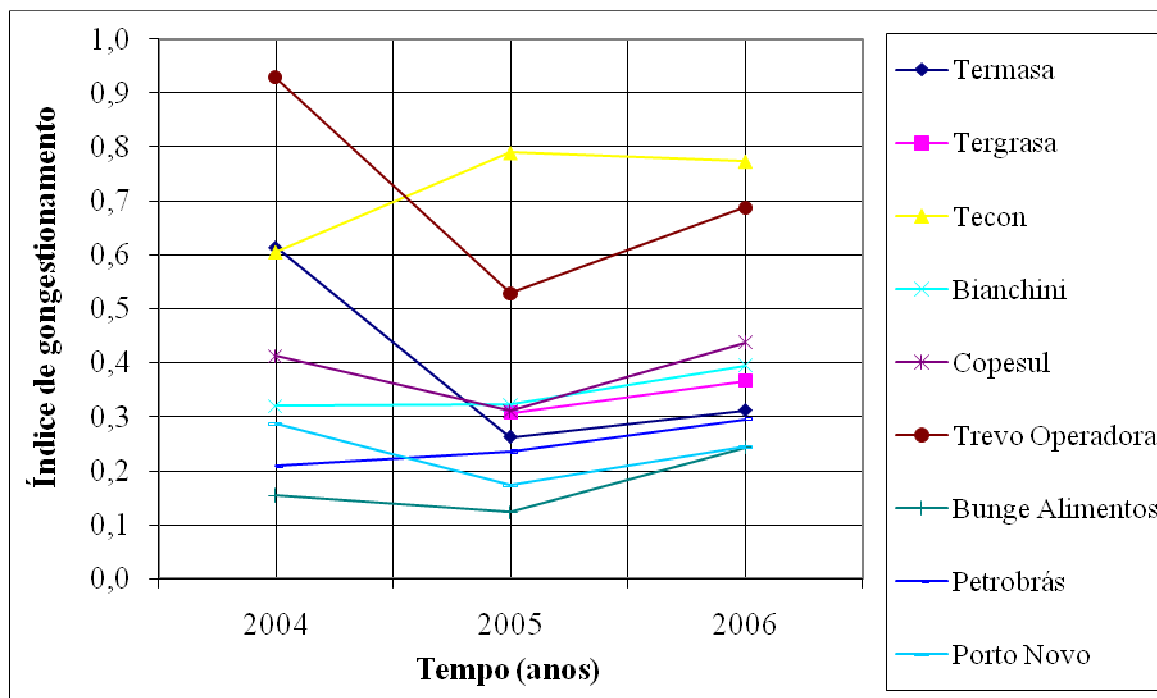


Figura 5.27 - Índices de congestionamento para os terminais do Porto do Rio Grande.

5.6.5 Resultados Referentes ao Índice de Congestionamento para todos os Berços de Atracação e Terminais do Porto do Rio Grande

A Figura 5.28 apresenta os índices de congestionamento para todos os berços de atracação e terminais do Porto do Rio Grande, ao longo do período de estudo.

Ao analisar as Figuras 5.24 a 5.28, verifica-se que não foi alcançada a taxa de ocupação com valor igual a 1,00, indicando assim a inexistência de congestionamento, sendo um ponto positivo para o Porto do Rio Grande, pois significa que o ritmo médio de atendimento foi maior que o ritmo médio de chegada.

Nota-se que o terminal Trevo Operadora e o seu berço de barcaças obtiveram um elevado índice de congestionamento no ano de 2004, sendo em torno de 0,929, valor este que teve tendência de diminuir nos anos seguintes. Já o terminal Tecon, obteve um valor alto para a taxa de ocupação nos dois últimos anos da análise, em torno de 0,78.

Constata-se também que em alguns casos, este índice teve um valor muito pequeno, o qual poderia ser maior, pois o porto tem condições de operar de maneira eficiente visando um melhor aproveitamento de toda sua área, sem causar congestionamento.

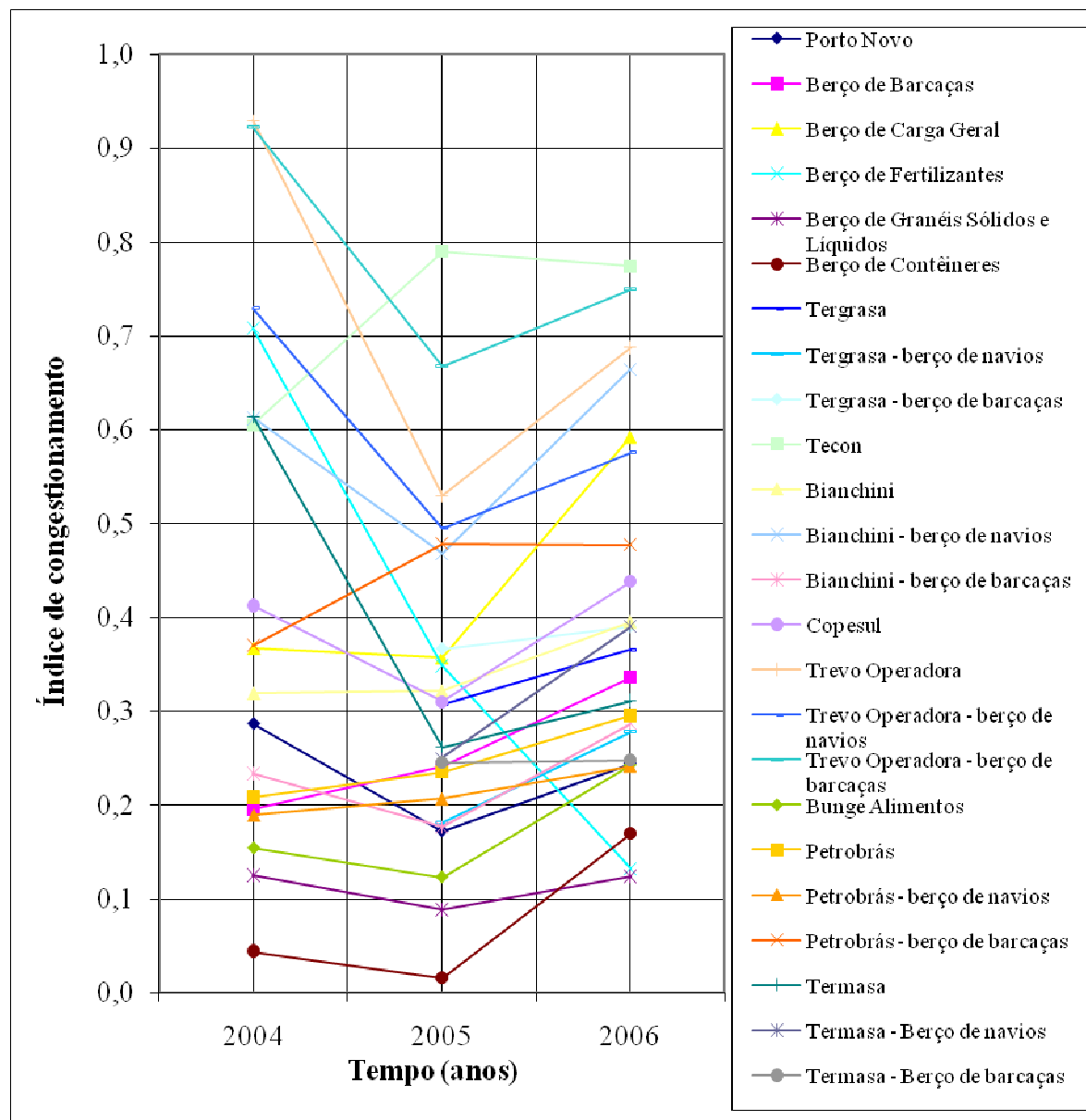


Figura 5.28 - Índices de congestionamento para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.

5.6.6 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

Através da Figura 5.29, pode-se observar o número médio de navios que permanecem na fila no decorrer dos anos no Porto Novo.

De acordo com a Figura 5.29, constata-se que os berços de Barcaças, Granéis Sólidos e Líquidos, e de Contêineres, assim como o sistema íntegro do Porto Novo, apresentaram valores aproximadamente iguais a zero para o número médio de navios na fila, no decorrer dos anos. O Berço de Carga Geral, que apresentou 0,274 e 0,255 navios, em 2004 e 2005,

respectivamente, obteve um acentuado acréscimo no ano de 2006, onde atingiu 3,98 navios na fila. Já o Berço de Fertilizantes, que em 2004 teve média de 1,026 navios na fila, sofreu um decréscimo nos anos seguintes, onde alcançou 0,087 e 0,047, ordenadamente.

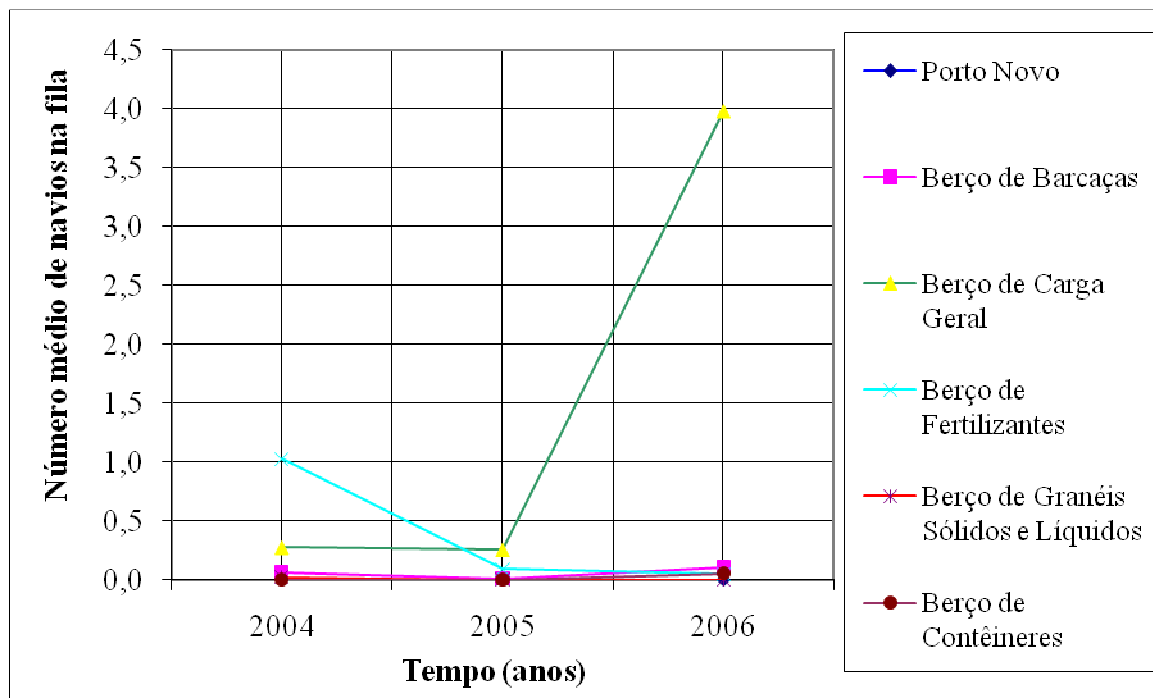


Figura 5.29 - Número médio de navios na fila para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.

5.6.7 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais do Superporto

A Figura 5.30 ilustra o número médio de navios em cada sistema integral dos terminais privados do Superporto para os referidos anos do estudo.

Conforme a Figura 5.30, observa-se que os terminais Bianchini, Copesul, Bunge Alimentos e Petrobrás, praticamente não apresentaram fila ao longo dos anos avaliados, porque o número médio de navios em espera na fila foi aproximadamente igual a zero. O terminal Tergrasa também praticamente não apresentou fila durante os anos de 2005 e 2006.

O terminal Termasa obteve em 2004 o valor médio de 1,278, o qual decresceu nos anos seguintes, passando para 0,021 e 0,037, simultaneamente.

Já o terminal Tecon, que em 2004 apresentou o valor médio de 0,474, obteve um significativo acréscimo em 2005, onde atingiu a média de 2,942 navios na fila, e em 2006 este valor diminuiu, atingindo 1,112.

No ano de 2004, o terminal Trevo Operadora atingiu o seu máximo valor, sendo em torno de 7,24 navios na fila. Este valor sofreu uma significativa redução no ano seguinte, onde atingiu 0,159; já em 2006, voltou a crescer, alcançando o número médio de 0,60 navios na fila.

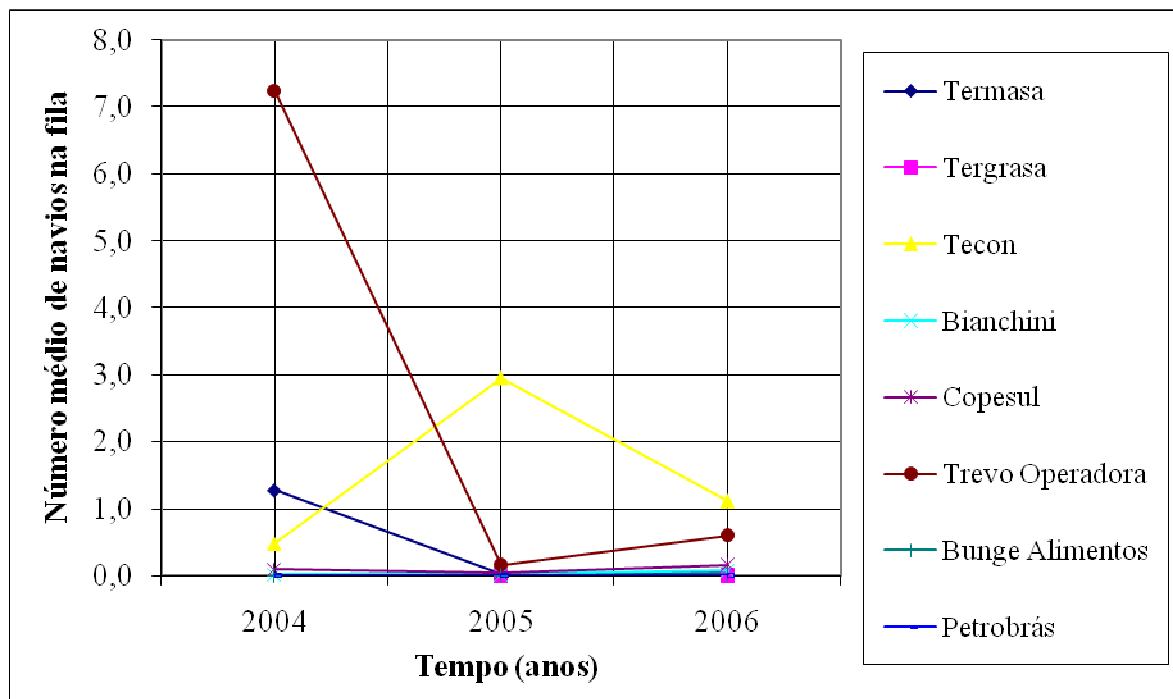


Figura 5.30 - Número médio de navios na fila para os terminais do Superporto.

5.6.8 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

Na Figura 5.31 pode ser observada, quando aplicável, a relação entre os berços de atracação dos terminais do Superporto e os terminais propriamente ditos, como sistemas íntegros, no que se refere ao número médio de navios na fila.

De acordo com a Figura 5.31, nota-se que ao analisar separadamente os berços de atracação, no terminal Trevo Operadora, o número médio de navios na fila foi maior nos berços de barcaças que nos berços de navios.

Já no terminal Bianchini, esta variável apresentou-se maior nos berços de navios que nos berços de barcaças.

No terminal Tergrasa, esta análise pôde ser realizada somente nos últimos anos, onde se verificou que os berços de barcaças apresentaram maiores valores para o número médio de navios na fila que os berços de navios. Tanto nos berços de navios e de barcaças, quanto no

sistema íntegro deste terminal, praticamente não houve formação de filas de espera durante os anos de 2005 e 2006.

Para os outros berços dos demais terminais, percebe-se que praticamente não houve formação de filas de espera.

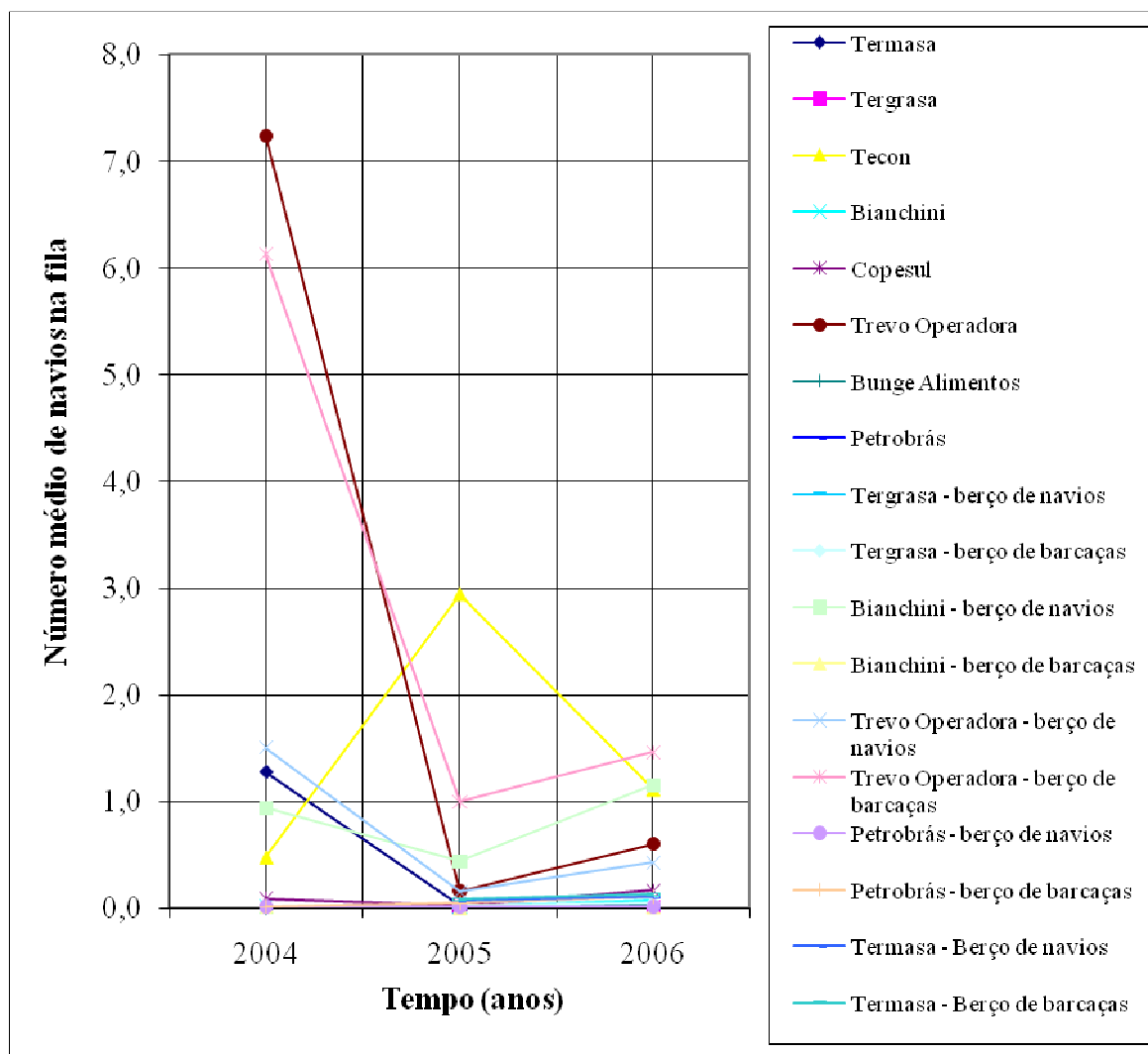


Figura 5.31 - Número médio de navios para os terminais e berços do Superporto.

5.6.9 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais do Porto do Rio Grande

A Figura 5.32 demonstra a variação do número médio de navios na fila para todos os terminais privados do Superporto e o terminal público Porto Novo.

Através da Figura 5.32, verifica-se que houve formação de filas de espera nos terminais Termasa, Tecon e Trevo Operadora.

No terminal público Porto Novo e nos terminais privados Bianchini, Copesul, Bunge Alimentos e Petrobrás, o valor médio de navios na fila foi aproximadamente igual a zero, indicando assim que praticamente não houve a formação de filas de espera. No terminal Tergrasa, o valor médio de navios na fila também foi aproximadamente igual a zero nos anos de 2005 e 2006.

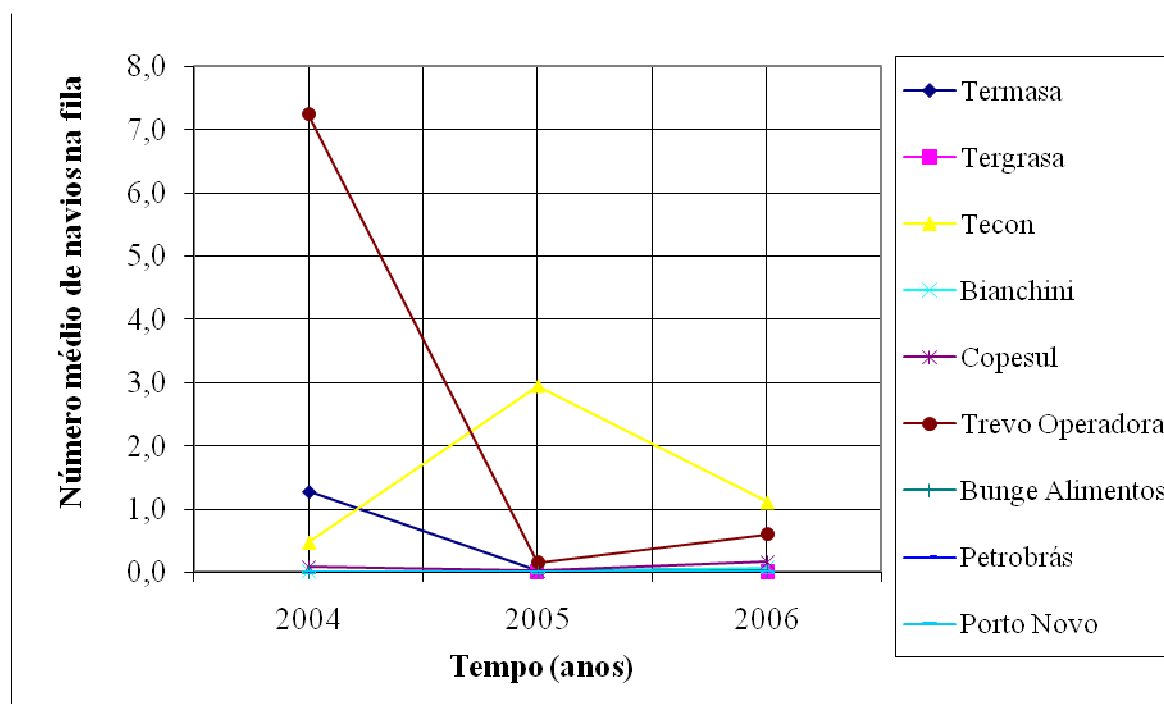


Figura 5.32 - Número médio de navios para os terminais do Porto do Rio Grande.

5.6.10 Resultados Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande

Na Figura 5.33, estão apresentados os comportamentos referentes ao número médio de navios na fila para todos os berços de atracação e terminais do Porto do Rio Grande.

De acordo com a análise das Figuras 5.29 a 5.33, salienta-se que no terminal Porto Novo, o berço de Carga Geral destacou-se em relação aos demais, no ano de 2006, com um valor aproximado de 3,982 navios na fila. Os berços de Granéis Sólidos e Líquidos e o de Contêineres, praticamente não apresentaram filas no decorrer dos anos.

No Superporto destaca-se o terminal Trevo Operadora, que em 2004, apresentou média de 7,24 navios na fila.

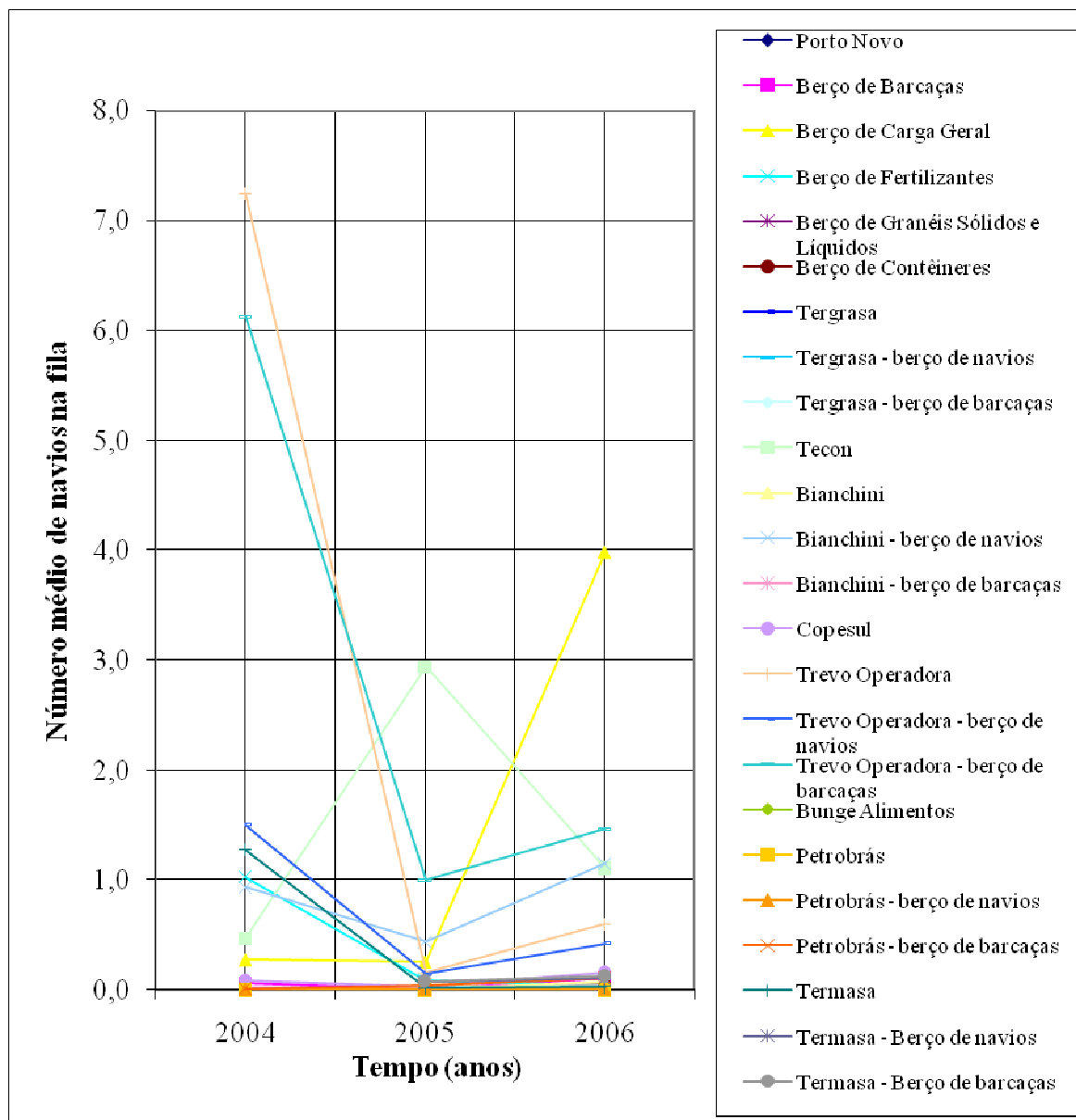


Figura 5.33 - Número médio de navios para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.

5.6.11 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

A Figura 5.34 apresenta o comportamento do tempo médio de permanência de navios na fila para os berços de atracação do Porto Novo, e deste como um sistema global.

De acordo com a Figura 5.34, constata-se que o Berço de Carga Geral apresentou em 2004 e 2005 um valor médio de permanência na fila aproximando, sendo de 27,9 e 23,5 horas, respectivamente; e em 2006 sofreu um relevante acréscimo, onde alcançou 330,7 horas, ou seja, quase 14 dias de espera. Já o Berço de Fertilizantes, que em 2004 apresentou valor

médio de 183,4 horas de permanência na fila (7,64 dias), obteve um significativo decréscimo nos anos seguintes, onde atingiu 21,3 e 7,4 horas, em 2005 e 2006, concomitantemente. O Berço de Barcaças, que em 2004 apresentou 3,8 horas para o tempo médio de permanência na fila, sofreu uma redução para 0,8 horas em 2005, e um acréscimo para 6,2 horas em 2006. No Berço de Granéis Sólidos e Líquidos houve formação de fila apenas em 2004, com o valor de 6,7 horas para o tempo de espera na fila. Já o Berço de Contêineres não apresentou fila nos dois primeiros anos da análise, no entanto, em 2006 atingiu 7,5 horas de espera.

O sistema global do Porto Novo, praticamente não obteve filas de espera nos referidos anos de estudo, logo, não apresentou tempo de espera para os navios.

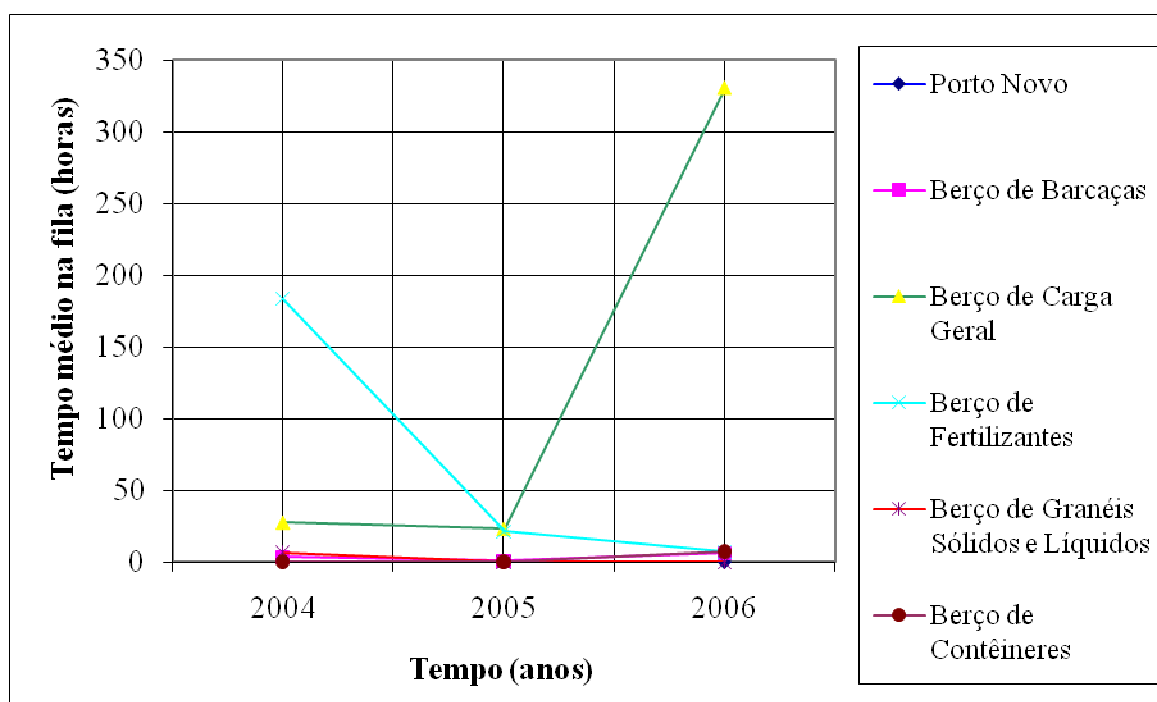


Figura 5.34 - Tempo médio na fila para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.

5.6.12 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais do Superporto

Através da Figura 5.35, podem-se observar os valores médios de tempo de permanência de navios na fila para cada terminal do Superporto, como sistemas íntegros.

De acordo com a Figura 5.35, verifica-se que em 2004, os terminais Trevo Operadora e Termasa obtiveram valores relativamente altos para o tempo médio de permanência na fila, em torno de 114,3 e 100,5 horas, respectivamente. Já no ano de 2005, houve uma considerável redução nestes valores, onde atingiram 3,2 e 2,0 horas, concomitantemente. Em

2006 os valores voltaram a crescer, mas com pouca variação. Ressalta-se que o terminal Termasa possuía apenas um berço de atracação em 2004. Somente a partir de 2005, que estavam funcionando os dois berços, um para barcaças e um para navios.

No ano de 2004 o terminal Tecon obteve 4,8 horas para o tempo médio de navios na fila, valor este que teve um acréscimo relevante no ano seguinte, onde atingiu o tempo médio de 21,6 horas. No entanto, em 2006 este terminal apresentou um pequeno decréscimo para 9,6 horas.

O terminal Copesul obteve em 2004, 5,4 horas para o tempo de espera na fila, em 2005 este valor sofreu uma pequena redução, onde atingiu 2,7 horas. Este terminal apresentou o maior tempo de espera em 2006, o qual foi de 7,92 horas.

O terminal Bianchini, em 2006 atingiu o maior tempo de espera na fila, sendo de 1,7 horas; nos anos anteriores apresentou valor constante de 0,4 horas.

O terminal Bunge Alimentos, que em 2004 e 2005 não apresentou fila, conseqüentemente não obteve tempo de espera, mas em 2006 atingiu o valor de 2,8 horas.

No terminal Tergrasa, ocorreram baixos valores, os quais foram de 0,1 e 0,2 horas, ordenadamente, nos anos de 2005 e 2006.

No terminal Petrobrás não houve filas de espera, em nenhum dos anos estudados, por conseguinte, o mesmo não apresentou tempo de espera na fila.

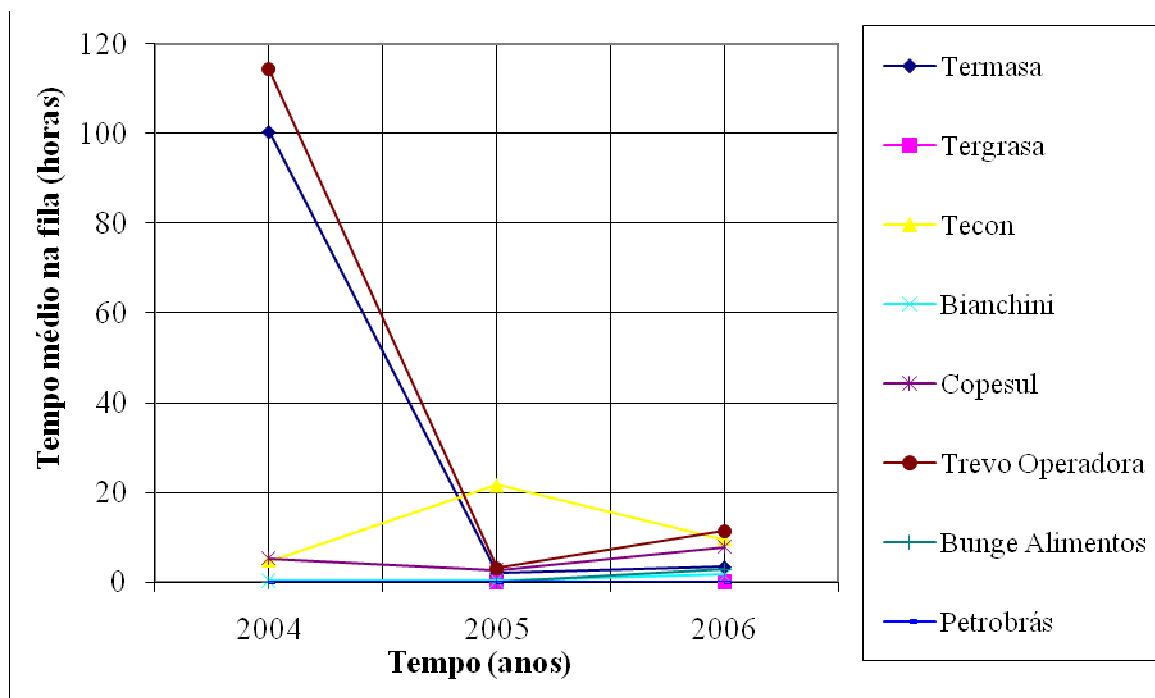


Figura 5.35 - Tempo médio na fila para os terminais do Superporto.

5.6.13 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

A Figura 5.36 apresenta a relação dos valores médios do tempo de espera na fila entre os terminais do Superporto, como sistemas íntegros, e seus respectivos berços de navios e de barcaças, quando aplicável esta situação.

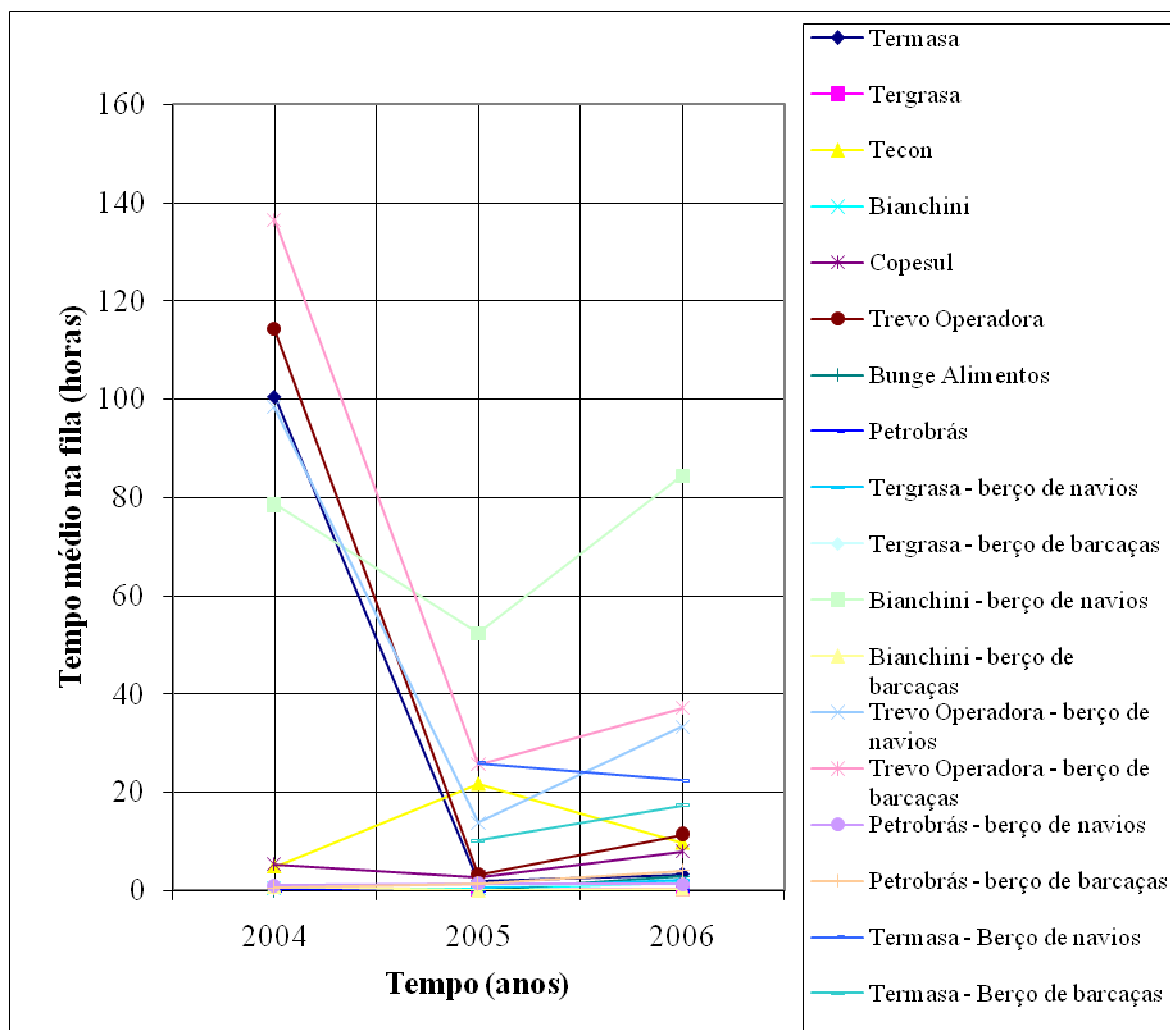


Figura 5.36 - Tempo médio na fila para os terminais e berços do Superporto.

Conforme a Figura 5.36, averigua-se que no terminal Termasa, o berço de navios apresentou maiores valores para o tempo médio de espera na fila que o berço de barcaças, e este, por sua vez, maior que o sistema global. Esta comparação pode ser feita somente nos anos de 2005 e 2006, porque em 2004 havia apenas um berço de atracação.

No terminal Tergrasa, os berços de barcaças obtiveram maiores tempos de espera nas filas que os berços de navios, e estes maiores que o sistema íntegro, no ano de 2005. Já no ano

de 2006, os berços de navios mostraram os maiores valores que os berços de barcaças, e estes maiores que o sistema global.

Nota-se que no terminal Trevo Operadora, o tempo médio de navios na fila tornou-se maior nos berços de barcaças que nos berços de navios, ao longo do período estudado. No primeiro ano da análise, constata-se que o sistema global do terminal Trevo Operadora, obteve maior valor de tempo de espera que os berços de navios, e menor que os berços de barcaças. Já nos anos seguintes, verifica-se que em ambos os berços, o tempo de espera foi maior que no sistema integral.

Por fim, no terminal Petrobrás, o sistema integral não apresentou tempo de espera na fila ao longo dos anos do estudo. Entretanto, nas análises feitas separadamente para cada berço, verifica-se que em 2004 os berços de navios obtiveram maiores valores que o berço de barcaças, em 2005 ambos com valores iguais, e em 2006 o berço de barcaças mostrou maior valor que os berços de navios.

5.6.14 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais do Porto do Rio Grande

Na Figura 5.37, estão apresentados os valores médios para o tempo de espera na fila em todos os terminais do Superporto e no terminal Porto Novo.

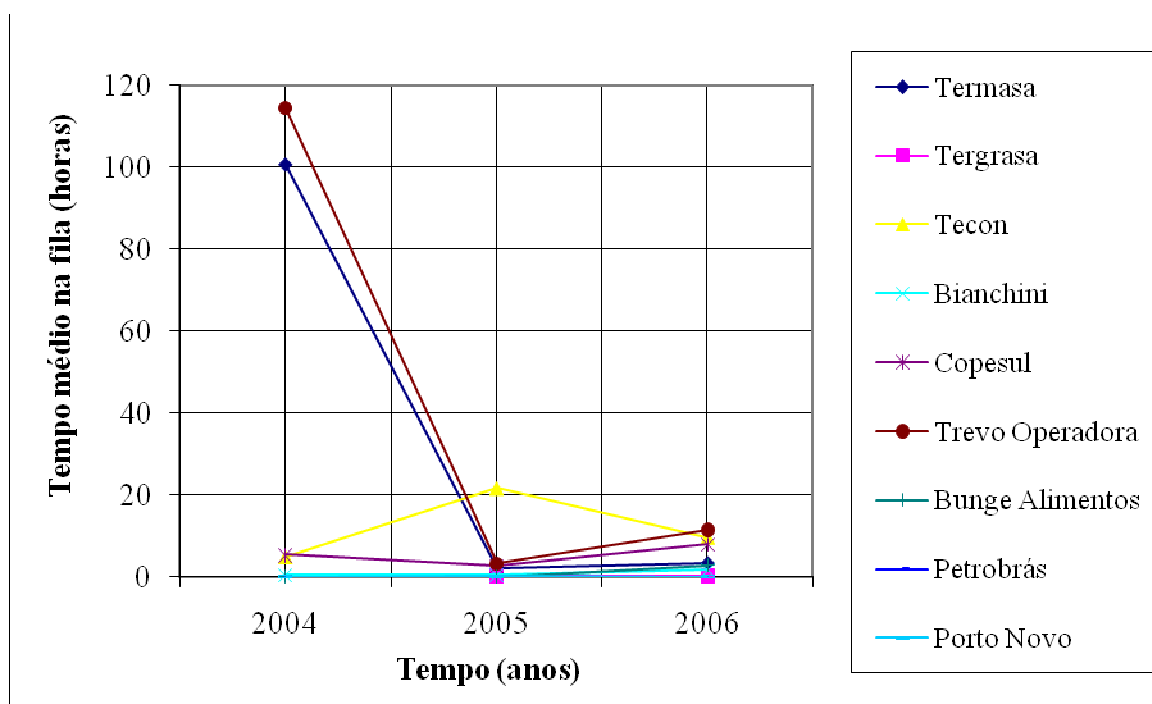


Figura 5.37 - Tempo médio na fila para os terminais do Porto do Rio Grande.

Ao observar a Figura 5.37, nota-se que o terminal público Porto Novo, assim como o privado Petrobrás não apresentaram tempo de espera nas filas. Os terminais Bianchini, Bunge Alimentos, assim como o Tergrasa, obtiveram pequenos valores para esta variável. Já os terminais Termasa, Tecon, Trevo Operadora e Copesul mostraram valores mais significativos para o tempo de espera, dos quais destacaram-se Termasa e Trevo Operadora.

5.6.15 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência na Fila para os Terminais e Berços de Atracação do Porto do Rio Grande

A Figura 5.38 apresenta os valores médios de tempo de espera de navios na fila para os terminais e berços de atracação do Porto do Rio Grande.

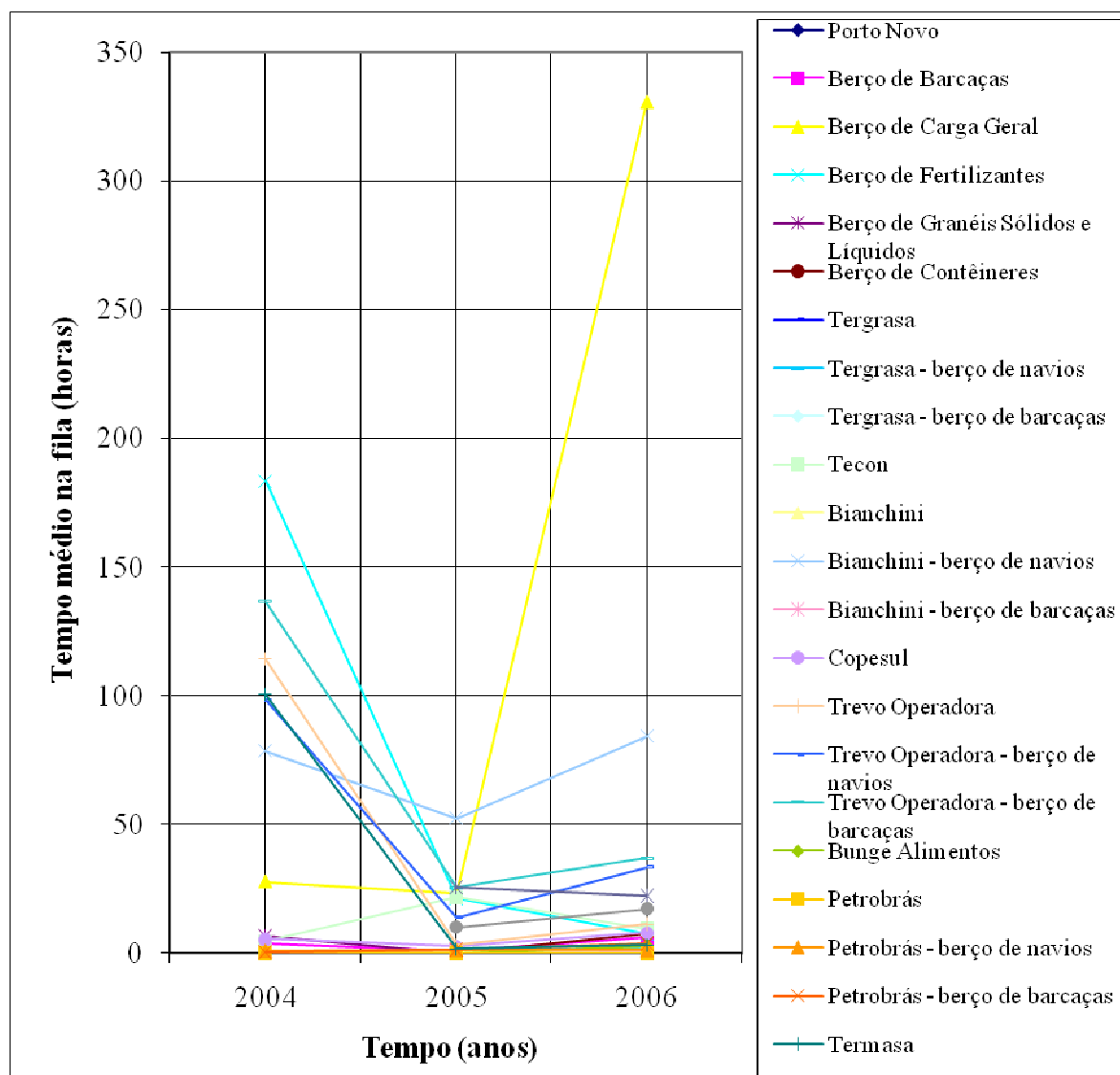


Figura 5.38 - Tempo médio na fila para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.

Ao analisar as Figuras 5.34 a 5.38, salienta-se que no ano de 2006, o berço de Carga Geral do terminal público Porto Novo apresentou o maior valor para o tempo de espera na fila, em torno de 330,7 horas. Através destas análises percebe-se também uma semelhança com os resultados de número médio de navios na fila, o que já se esperava, devido às equações expressas no capítulo 2.

5.6.16 Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

A Figura 5.39 mostra o número médio de navios no sistema para os berços de atracação do Porto Novo, e deste como sistema integral. Esta variável indica o número médio de navios desde o processo de chegada até o processo de saída em um terminal ou berço de atracação.

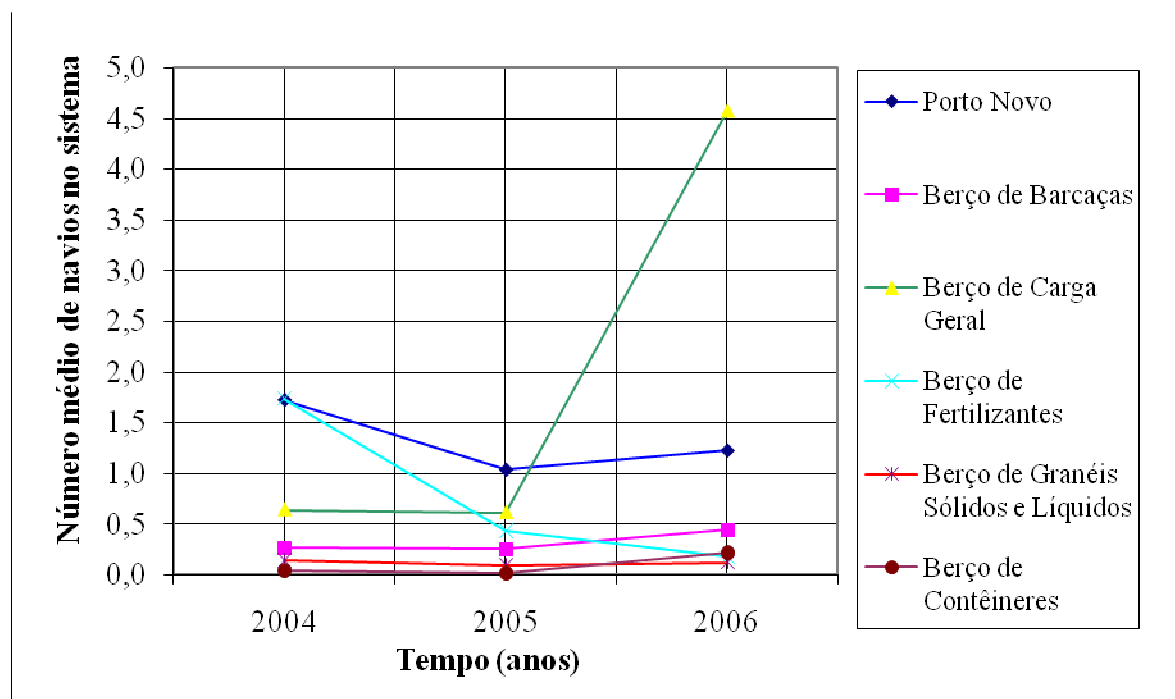


Figura 5.39 - Número médio de navios no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.

Conforme a Figura 5.39, percebe-se que o Berço de Barcaças apresentou valores próximos para o número médio de navios no sistema nos primeiros anos da análise, os quais foram de 0,261 e 0,253, ordenadamente. Já no último ano do estudo, houve um acréscimo, onde alcançou 0,440 navios no sistema. No Berço de Carga Geral, nos primeiros anos da

análise, também apresentou valores próximos para esta variável, os quais foram de 0,641 e 0,612, metodicamente. No entanto, em 2006, obteve o valor médio de 4,574 navios no sistema, que representa um significativo aumento. O Berço de Fertilizantes que em 2004 apresentou o número médio de 1,734 navios no sistema, sofreu um decréscimo nos anos seguintes, onde atingiu 0,436 e 0,180, ordenadamente. O Berço de Granéis Sólidos e Líquidos obteve 0,145, 0,089 e 0,123 para o número médio de navios no sistema, em 2004, 2005 e 2006, respectivamente. E o Berço de Contêineres apresentou 0,044, 0,016 e 0,220 para a referida variável, ordenadamente, nos anos analisados.

O Porto Novo, como sistema global, obteve 1,722 para o número médio de navios no primeiro ano da análise. Em seguida apresentou um pequeno decréscimo, onde atingiu 1,035 navios. E no último ano alcançou 1,224 navios, voltando assim a aumentar.

5.6.17 Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais do Superporto

A Figura 5.40 mostra o número médio de navios no sistema para cada terminal privado do Superporto.

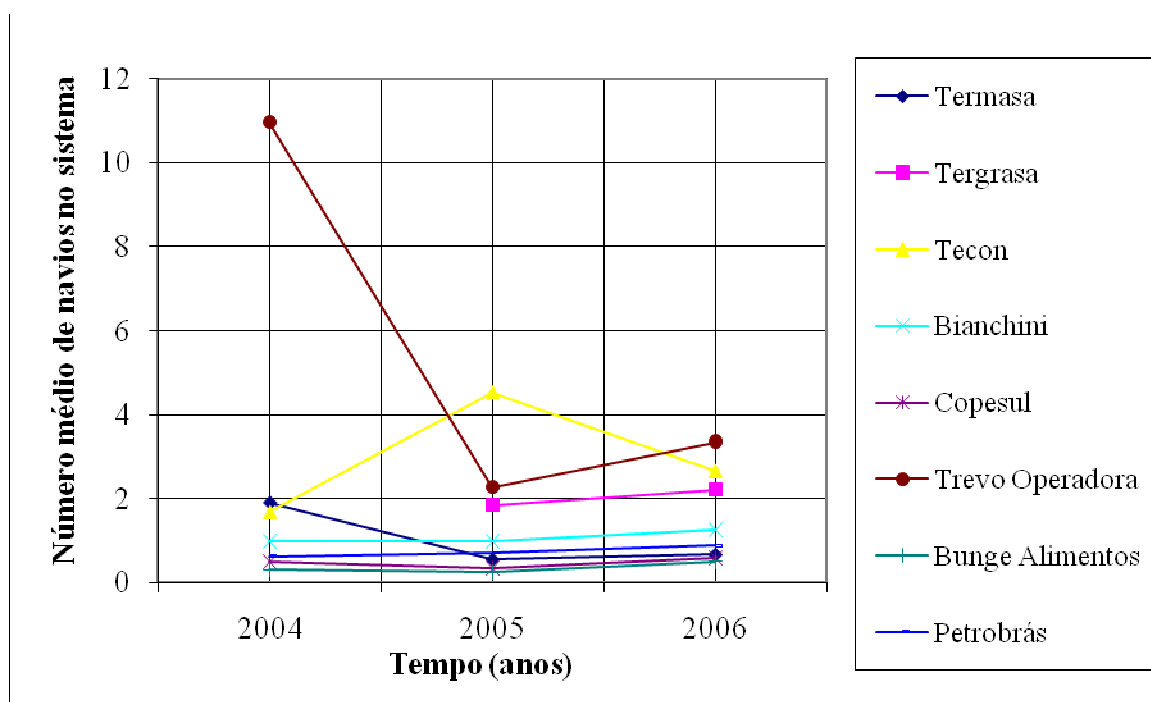


Figura 5.40 - Número médio de navios no sistema para os terminais do Superporto.

De acordo com a Figura 5.40, nota-se que o terminal Bunge Alimentos apresentou os menores valores para o número médio de navios no sistema em relação aos demais; sendo de 0,309, 0,247 e 0,500 navios nos referidos anos do estudo, ordenadamente.

Logo, segue o terminal Copesul, com os valores médios de 0,502, 0,343 e 0,600 navios no sistema, metodicamente.

O terminal Petrobrás apresentou um acréscimo em relação ao número médio de navios ao longo dos anos, onde atingiu os valores de 0,627, 0,708 e 0,886 respectivamente.

O terminal Bianchini assumiu um comportamento ascendente em relação ao número médio de navios no sistema no decorrer dos anos analisados, onde obteve 0,974, 0,981 e 1,250 navios, ordenadamente.

O terminal Tergrasa apresentou cerca de 1,849 e 2,200 navios no sistema, durante os anos de 2005 e 2006, respectivamente.

No terminal Termasa, foram obtidos os valores médios de 1,892, 0,545 e 0,660 navios no sistema nos respectivos anos do estudo.

O terminal Tecon, que em 2004 obteve 1,685 navios no sistema, sofreu um relativo acréscimo em 2005, onde atingiu o valor de 4,521 navios, e no ano seguinte, voltou a diminuir, passando para 2,660.

O terminal Trevo Operadora, obteve em 2004, a média de 10,96 navios no sistema. Em 2005, passou por uma relevante redução, atingindo o valor de 2,270 navios. Já em 2006 este valor aumentou para 3,350 navios.

5.6.18 Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

A Figura 5.41 mostra a relação entre os terminais do Superporto como sistemas íntegros e seus respectivos berços de barcaças e de navios, quando aplicável esta situação, para o número médio de navios no sistema.

De acordo com a Figura 5.41, observa-se que no terminal Termasa, o sistema global apresentou maiores valores para o número médio de navios que os seus berços de atracação, nos anos de 2005 e 2006. Consta-se ainda, que em 2005, o berço de navios apresentou menor número médio de navios que o berço de barcaças, porém, em 2006, maior. Esta análise foi feita apenas em 2005 e 2006, porque em 2004 havia somente um berço de atracação.

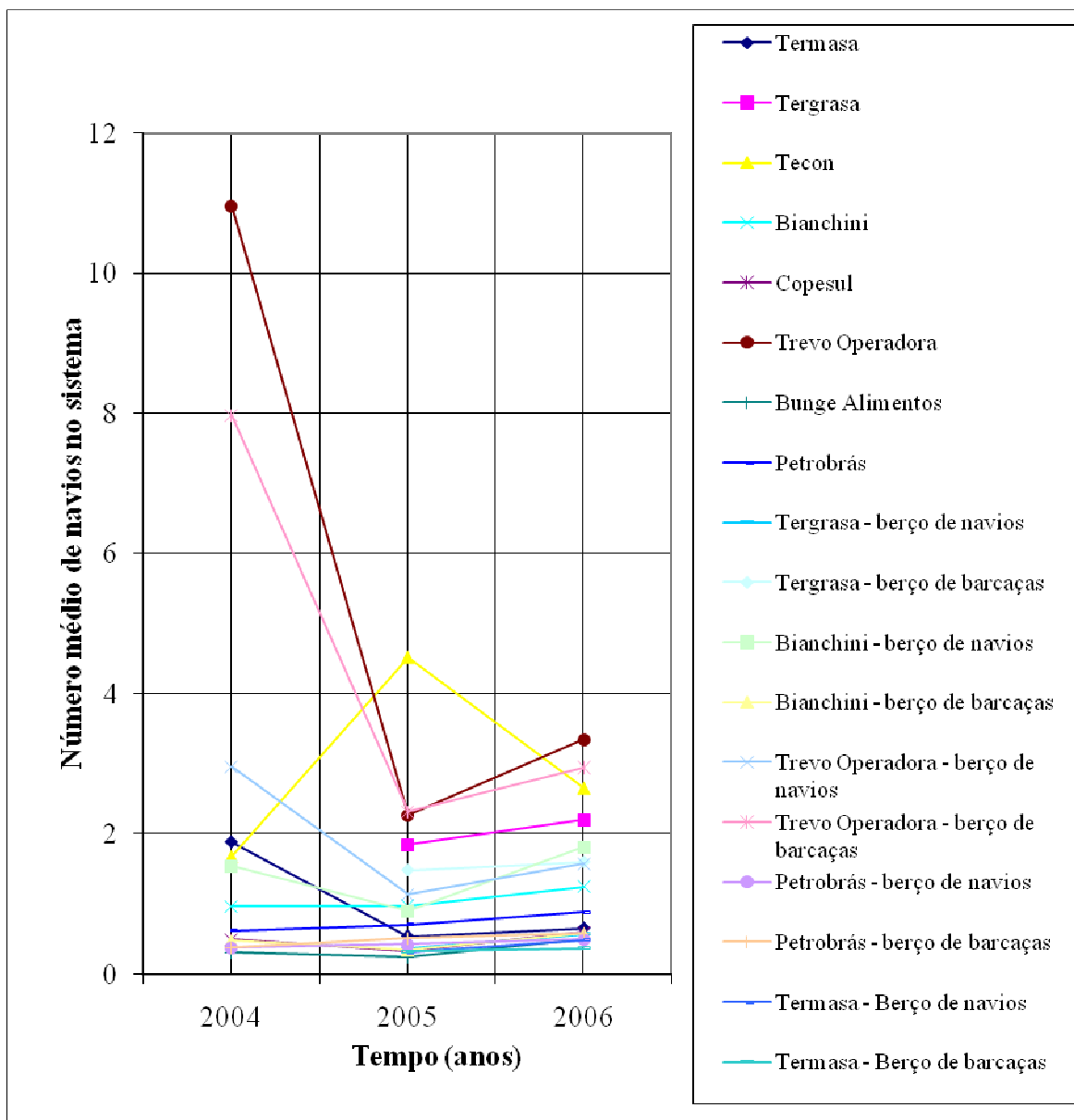


Figura 5.41 - Número médio de navios no sistema para os terminais e berços do Superporto.

No terminal Tergrasa, durante os anos de 2005 e 2006, o sistema global obteve maior número médio de navios no sistema que os berços de barcaças, e estes apresentaram maior número que os berços de navios, nos dois últimos anos da análise.

Constata-se que no terminal Bianchini o berço navios obteve maior número médio de clientes no sistema que o berço de barcaças, no decorrer dos anos. Nos anos de 2004 e 2006 o berço de navios apresentou maior número médio de navios no sistema que o sistema global do terminal, e este, por sua vez, maior que os berços de barcaças. No entanto, em 2005, o sistema íntegro obteve maior valor que o berço de navios, e este maior que os berços de barcaças.

Nota-se que no terminal Trevo Operadora, o número médio de navios no sistema tornou-se maior nos berços de barcaças que nos berços de navios, ao longo do período estudado. Em 2004 e 2006, averigua-se que o sistema global do terminal Trevo Operadora, obteve maior número médio de navios no sistema que os berços de barcaças. Já em 2005, verifica-se que o sistema integral deste terminal apresentou menor número médio de navios que os berços de barcaças, mas maior que os berços de navios.

O terminal Petrobrás apresentou número médio de navios no sistema maior que os berços de navios e o de barcaças, ao longo dos anos do estudo. Verifica-se ainda, que em 2004, os berços de navios obtiveram maiores valores que o berço de barcaças; em 2005 e 2006 o berço de barcaças mostrou maior valor que os berços de navios.

5.6.19 Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande

A Figura 5.42 apresenta a relação entre terminais privados do Superporto e o terminal público Porto Novo.

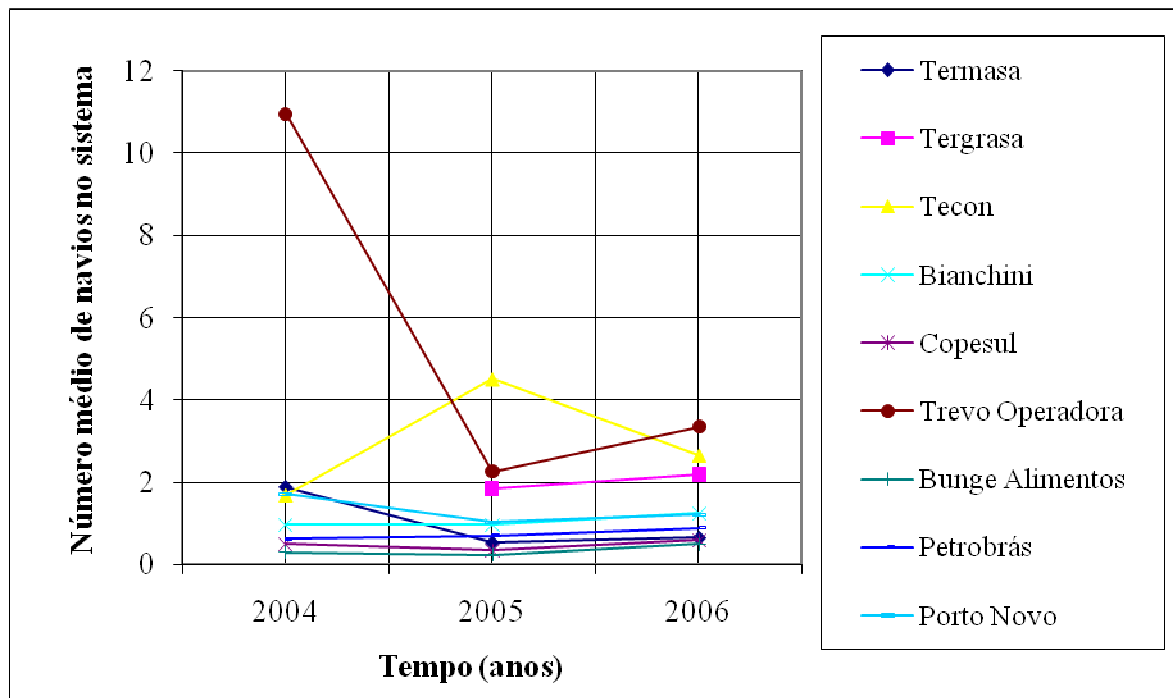


Figura 5.42 - Número médio de navios no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.

Conforme a Figura 5.42, percebe-se que ao longo do período analisado, o Porto Novo apresentou maiores valores para o número médio de navios no sistema que os terminais

Bunge Alimentos, Copesul e Petrobrás. Constatase ainda que em 2005 e 2006 o Porto Novo assumiu maiores valores que o terminal Termasa. Em 2004 e 2005 obteve maiores valores que o terminal Bianchini. E em 2004 mostrou maior valor para a referida variável que o terminal Tecon. Os terminais Tergrasa e Trevo Operadora apresentaram números médios de navios nos sistemas maiores que o Porto Novo.

5.6.20 Resultados Relativos ao Número Médio de Navios no Sistema para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande

Na Figura 5.43, estão apresentados os valores médios de número de navios no sistema, para todos os terminais e berços de atracação do Porto do Rio grande.

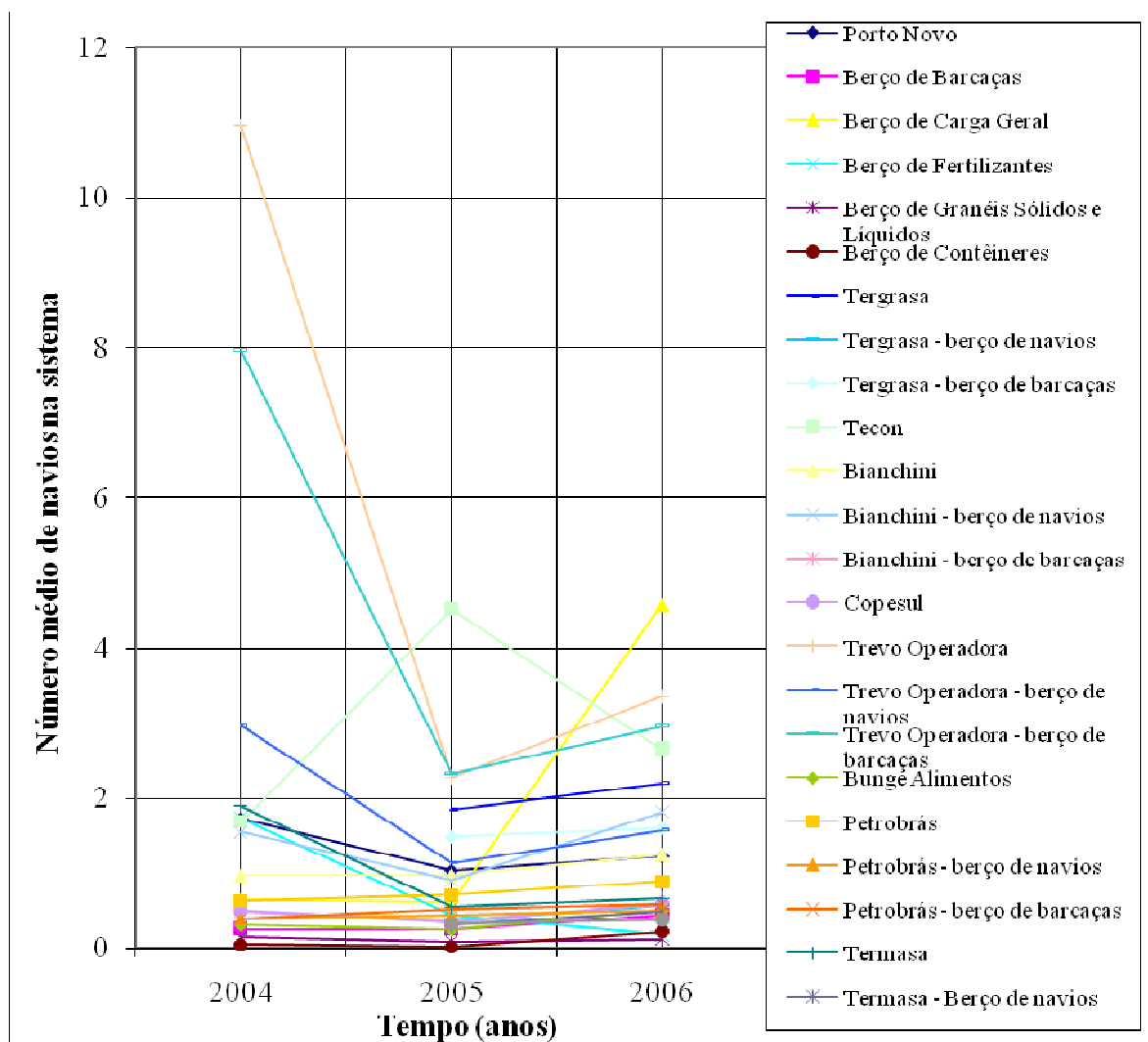


Figura 5.43 - Número médio de navios no sistema para terminais e berços de atracação do Porto do Rio Grande.

O número médio de navios no sistema corresponde ao número de navios no local considerado desde o processo de chegada até o processo de saída, portanto, sempre será maior que o número médio de navios na fila. Então, de maneira similar aos resultados obtidos para o número de navios na fila, verifica-se que no Porto Novo, no ano de 2006, destacou-se o berço de Carga Geral, com média de 4,57 navios no sistema. O berço de Contêineres apresentou o menor número médio de navios no sistema, praticamente insignificante, se comparado aos demais berços. Para o Superporto, também ocorreu similaridade com o número de navios na fila.

5.6.21 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

A Figura 5.44 mostra os valores médios para o tempo de espera de navios nos sistemas do Porto Novo e de seus berços de atracação:

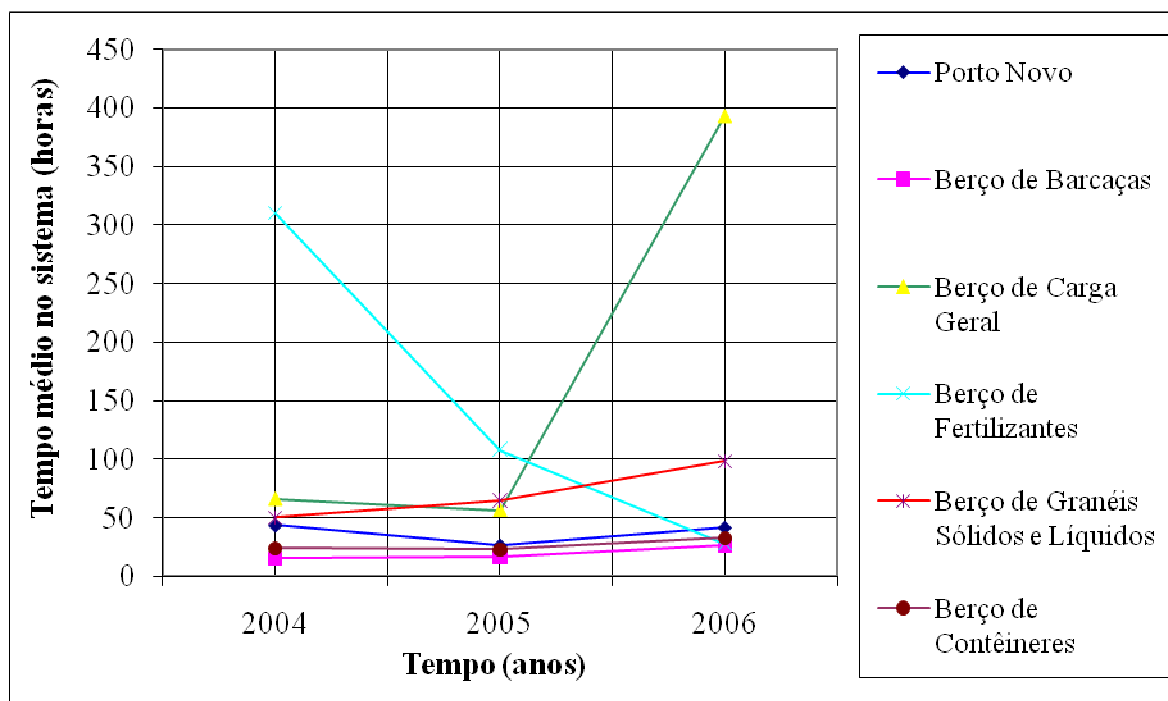


Figura 5.44 - Tempo médio no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.

Conforme a Figura 5.44, averigua-se que o Berço de Barcaças apresentou um comportamento crescente ao longo dos anos, onde atingiu os valores médios de 15,3, 16,6 e 26,2 horas, ordenadamente. O Berço de Carga Geral, que em 2004 obteve 66,0 horas de permanência no sistema, passou por uma redução, onde atingiu 56,5 horas, em 2005; já em

2006, mostrou um acentuado acréscimo, alcançando 393,9 horas de permanência no sistema. O Berço de Fertilizantes assumiu um comportamento decrescente ao longo do período analisado, no qual obteve, metodicamente, 310, 108,4 e 28,1 horas. No Berço de Granéis Sólidos e Líquidos houve um acréscimo ao longo dos anos, no qual foram alcançados 50,6, 65,1 e 98,3 horas, respectivamente. O Berço de Contêineres apresentou valores próximos nos dois primeiros anos, os quais foram de 24,4 e 23,4 horas ordenadamente. No entanto, em 2006, atingiu 32,8 horas, mostrando assim um significativo aumento nesta variável.

Ao realizar a análise do Porto Novo como um sistema global, nota-se que em 2004 e 2006 apresentou valores próximos, sendo de 43,9 e 42,03 horas, respectivamente. Já em 2005, percebe-se uma considerável redução, onde este terminal alcançou 26,7 horas.

5.6.22 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais do Superporto

A Figura 5.45 mostra os valores médios para o tempo de permanência nos sistemas dos terminais do Superporto, ao longo dos anos.

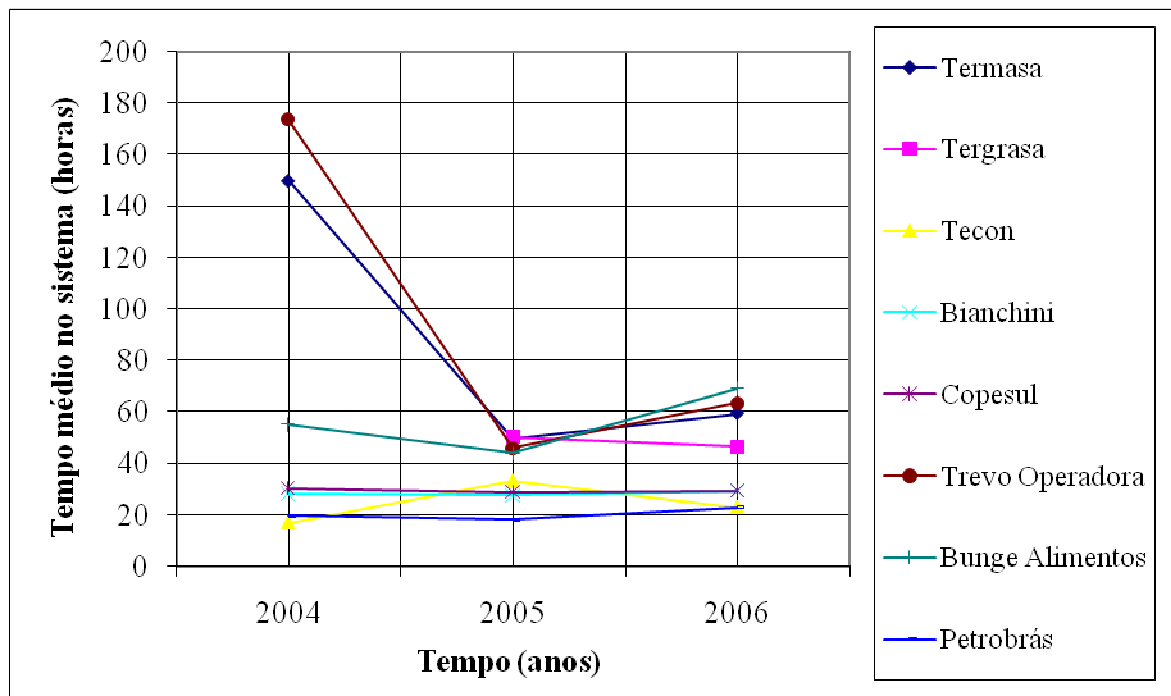


Figura 5.45 - Tempo médio no sistema para os terminais do Superporto.

De acordo com a Figura 5.45, constata-se que o terminal Tecon apresentou 17, 33,3 e 23 horas de permanência no sistema, ordenadamente. Nota-se que houve um acréscimo no

ano de 2005 em relação a 2004, seguido de um decréscimo em 2006. Este comportamento o diferenciou dos demais terminais do Superporto, os quais mostraram um decréscimo no ano de 2005 em relação a 2004, seguido de um aumento em 2006.

O terminal Termasa, que em 2004 obteve 149,9 horas, sofreu um relevante decréscimo no ano seguinte, onde alcançou 49,8 horas. Já no último ano, obteve 59,4 horas.

O terminal Tergrasa onde obteve 50,3 e 46,5 horas de permanência, ordenadamente, nos anos de 2005 e 2006.

No terminal Bianchini, no decorrer dos anos, observou-se uma aproximação nos valores médios, os quais foram de 28,2, 27,5 e 29,4 horas, respectivamente.

De maneira semelhante ao Bianchini, apresentou-se o Copesul ao longo dos anos, com valores médios de 30,3, 28,9 e 29,4, metodicamente.

O terminal Bunge Alimentos obteve os valores médios de 55,2, 44,1 e 69,3 horas conforme os anos do estudo.

O terminal Trevo Operadora, que em 2004 obteve 173,6 horas, mostrou uma considerável redução no ano de 2005, onde atingiu 46,1 horas. Em 2006, este valor voltou a crescer, alcançando a média de 63,5 horas.

Finalmente, o terminal Petrobrás apresentou 19,5, 18,1 e 22,9 horas para o tempo médio de permanência no sistema.

5.6.23 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

Na Figura 5.46 estão expressos os valores médios para o tempo de permanência nos sistemas dos terminais do Superporto e de seus respectivos berços de barcaças e de navios, quando estes existirem.

De acordo com a Figura 5.46, observa-se que no terminal Termasa os valores médios de tempo de permanência no sistema, foram maiores no berço de navios que no sistema íntegro, e neste, foram maiores que no berço de barcaças.

No terminal Tergrasa, em 2005 e 2006, os berços de navios apresentaram maior valor médio que o sistema íntegro, e este, maior que os berços de barcaças.

Constata-se também, que no terminal Bianchini, o berço de navios apresentou valores médios para os tempos de permanência maiores que o sistema global, e este, maiores que os berços de barcaças, no decorrer dos anos estudados. Ressalta-se ainda, que no berço de

navios, os valores obtidos foram muito altos, sendo de 130,2, 108,6 e 133,6 horas, ordenadamente, ao longo dos anos.

No terminal Trevo Operadora, os berços de navios apresentaram maiores valores médios para o tempo de permanência que os berços de barcaças, e estes, maiores que o sistema global.

Enfim, no terminal Petrobrás, os berços de navios mostraram maiores valores médios de tempo de permanência que o sistema íntegro, e este, maiores que o berço de barcaças.

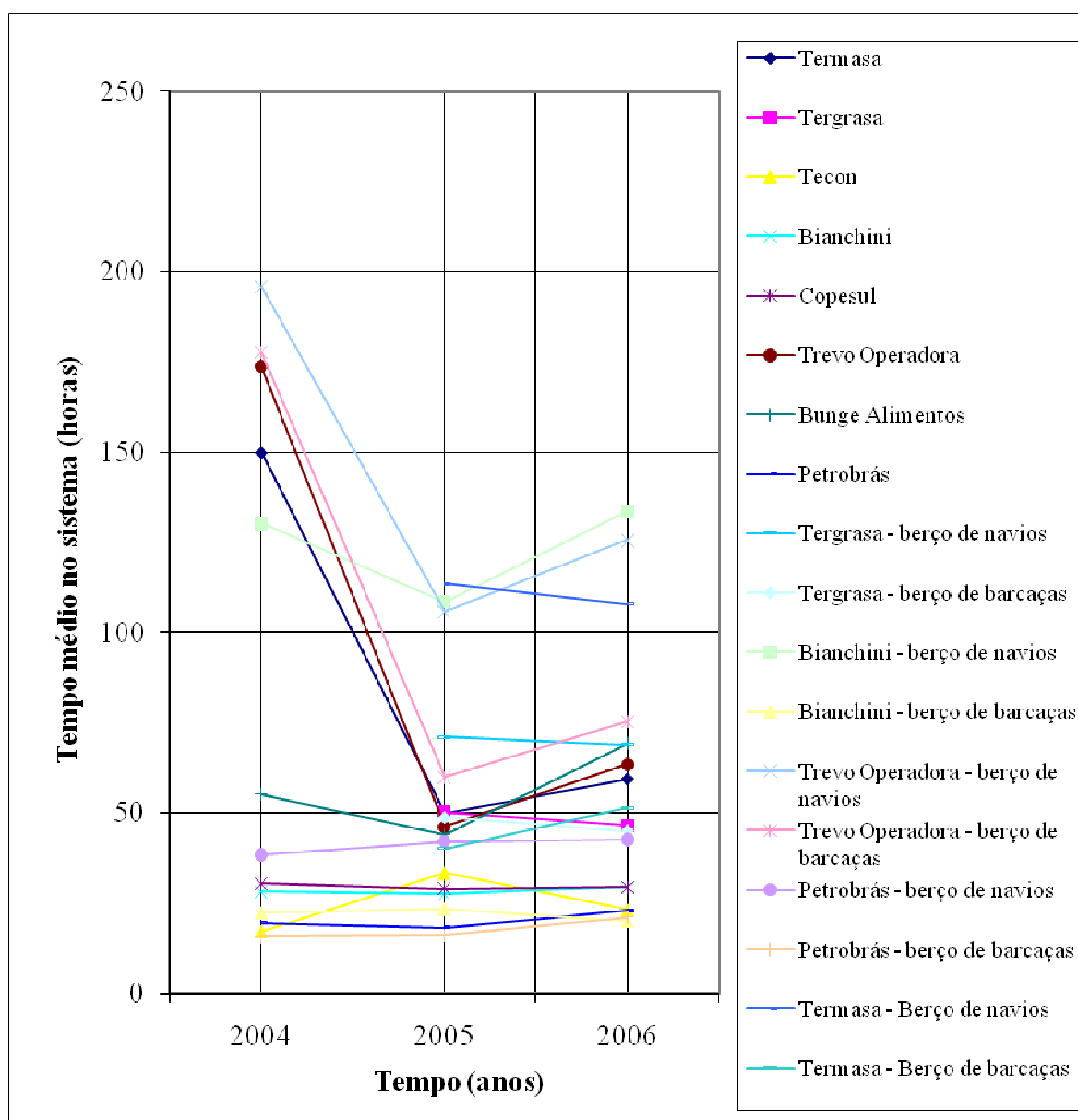


Figura 5.46 - Tempo médio no sistema para os terminais e berços do Superporto.

5.6.24 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande

Na Figura 5.47 estão apresentados os valores médios de tempo de permanência nos sistemas dos terminais do Superporto e do terminal Porto Novo.

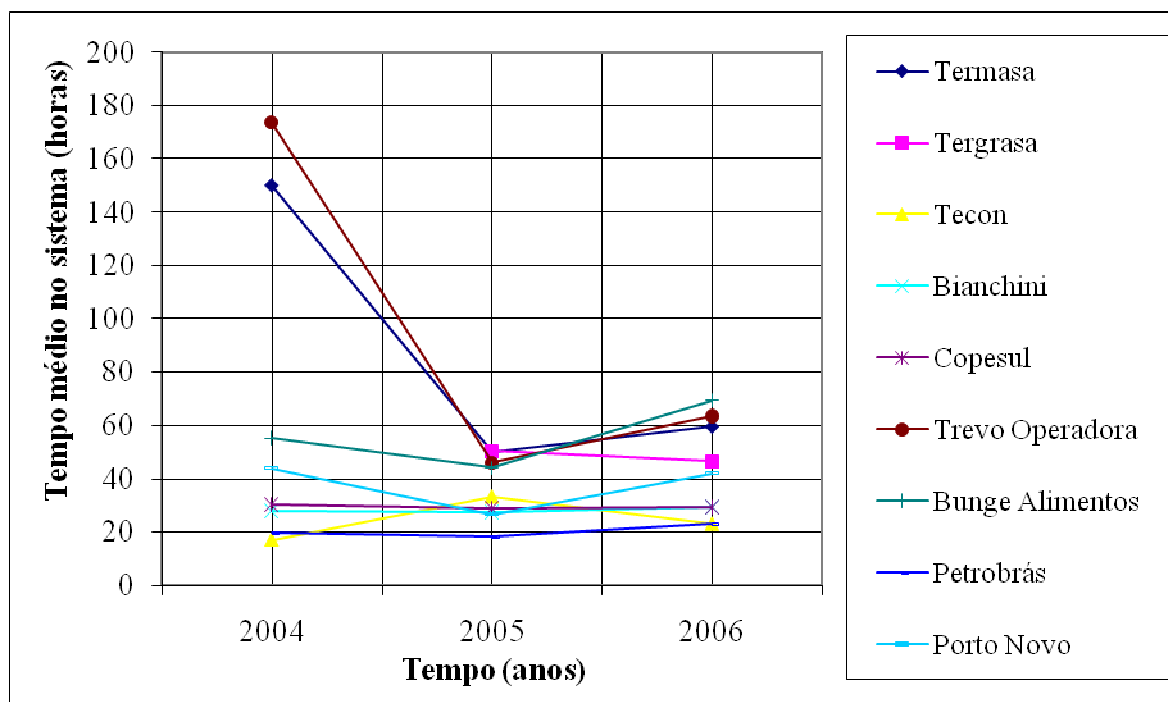


Figura 5.47 - Tempo médio no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.

Conforme a Figura 5.47, constata-se que o terminal público Porto Novo apresentou maiores valores médios de tempo de permanência no sistema que os terminais privados Tecon, Bianchini, Copesul e Petrobrás, nos anos de 2004 e 2006, porém valores menores que os terminais Termasa, Tergrasa, Trevo Operadora e Bunge Alimentos. Em 2005 o Porto Novo obteve valor médio maior que o terminal Petrobrás, no entanto, menor que os demais terminais.

5.6.25 Resultados Relativos ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para os Terminais e Berços do Porto do Rio Grande

A Figura 5.48 apresenta os tempos médios de permanência em cada sistema para os terminais e berços de atracação do Porto do Rio Grande.

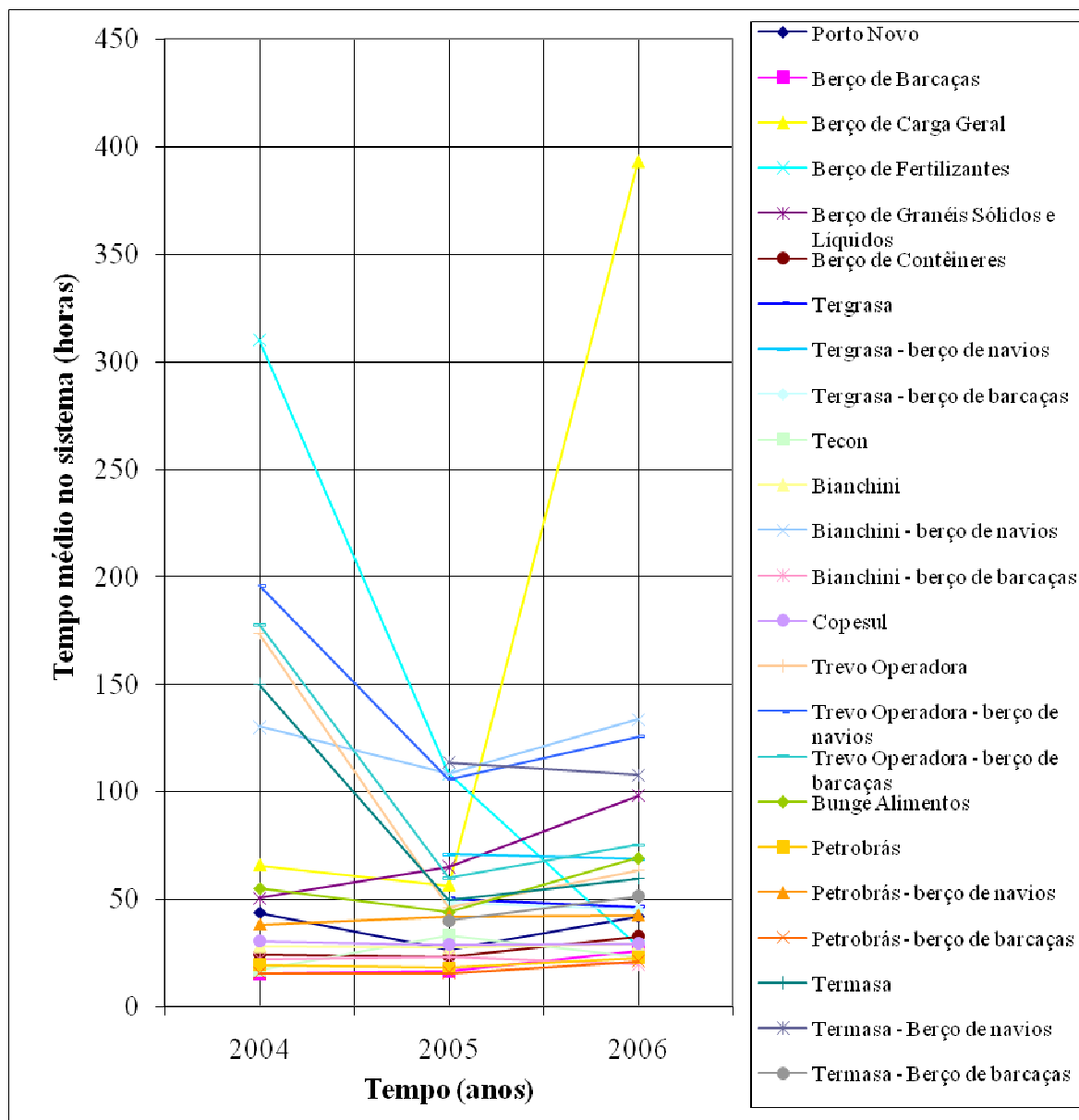


Figura 5.48 - Tempo médio no sistema para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.

O tempo médio no sistema corresponde ao tempo de permanência dos navios desde o processo de chegada até o processo de saída do porto, portanto, sempre será maior que o tempo médio na fila. De maneira semelhante aos resultados obtidos para o tempo de navios na fila, verifica-se que no Porto Novo, no ano de 2006, destacou-se o berço de Carga Geral, com aproximadamente 393 horas de espera no sistema, pois este valor é muito superior aos resultados verificados para os demais berços do referido terminal. No Superporto, o terminal Trevo Operadora e seus berços de barcaças e de navios, assim como o terminal Termasa e berço de Barcaças do terminal Bianchini apresentaram altos valores de tempo de espera no

sistema para o ano de 2004, sofrendo uma variação brusca decrescente em 2005, e um pequeno aumento em 2006.

5.6.26 Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para o Porto Novo e seus Berços de Atracação

Através da Figura 5.49, podem-se visualizar as probabilidades de não haver clientes no sistema do Porto Novo, bem como nos seus berços.

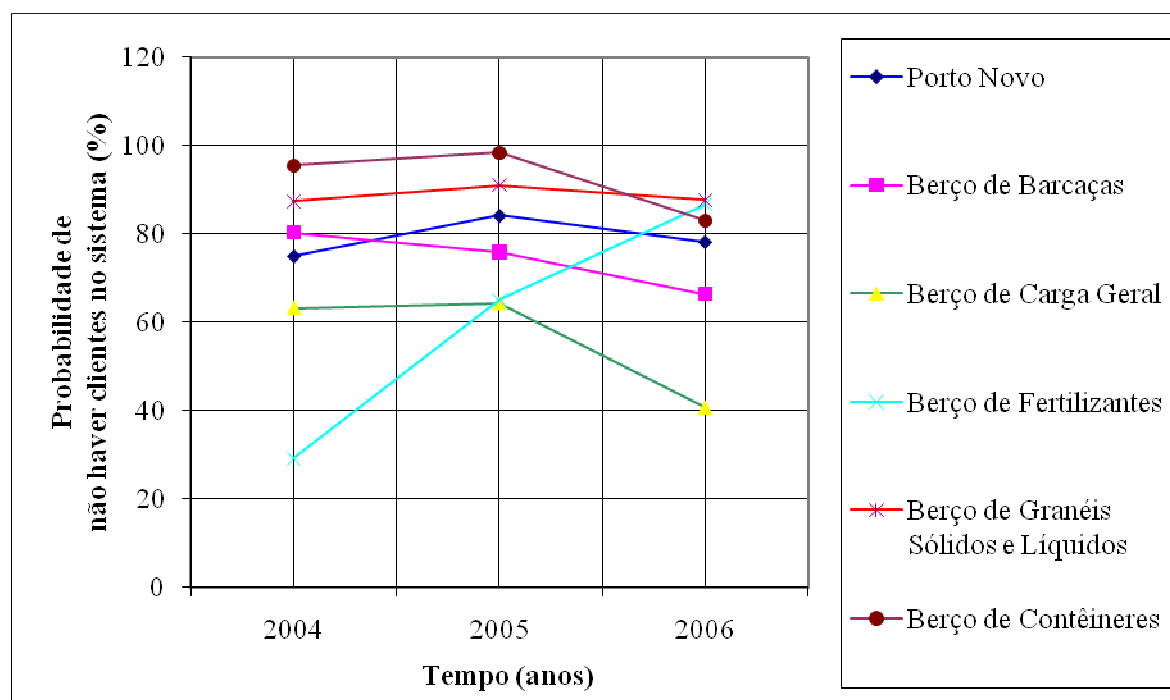


Figura 5.49 - Probabilidade de não haver navios no sistema para o terminal Porto Novo e seus berços de atracação.

De acordo com a Figura 5.49, constata-se que nas análises realizadas separadamente para cada local de atracação, o Berço de Contêineres obteve os maiores valores para a probabilidade de não haver navios no sistema, em 2004 e 2005, em relação aos demais berços, indicando assim, que o sistema fica ocioso 95,6% e 98,4%, respectivamente nos referidos anos. Em 2006, este valor passou por uma redução, onde atingiu 83%. Logo, seguem os Berços de Granéis Sólidos e Líquidos, com 87,5%, 91,1% e 87,7%, ordenadamente, conforme o período estudado. O Berço de Carga Geral apresentou os valores de 63,2%, 64,3% e 40,7%, respectivamente, no decorrer dos anos. O Berço de Barcaças obteve 80,4% em 2004, valor este que decresceu nos anos seguintes, alcançando 75,9% e 66,4%, ordenadamente. Por fim, o

Berço de Fertilizantes adquiriu os valores de 29,2%, 65,2% e 86,8%, sistematicamente, nos referidos anos do estudo.

Na análise do sistema global do Porto Novo, verifica-se que em 2004 o terminal obteve 75,1%, e em 2005 sofreu um acréscimo, onde alcançou 84,2%, e no último ano da análise apresentou 78,3% de probabilidade de não haver clientes no sistema.

5.6.27 Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais do Superporto

A figura 5.50 mostra as probabilidades de os sistemas estarem ociosos para os terminais do Superporto.

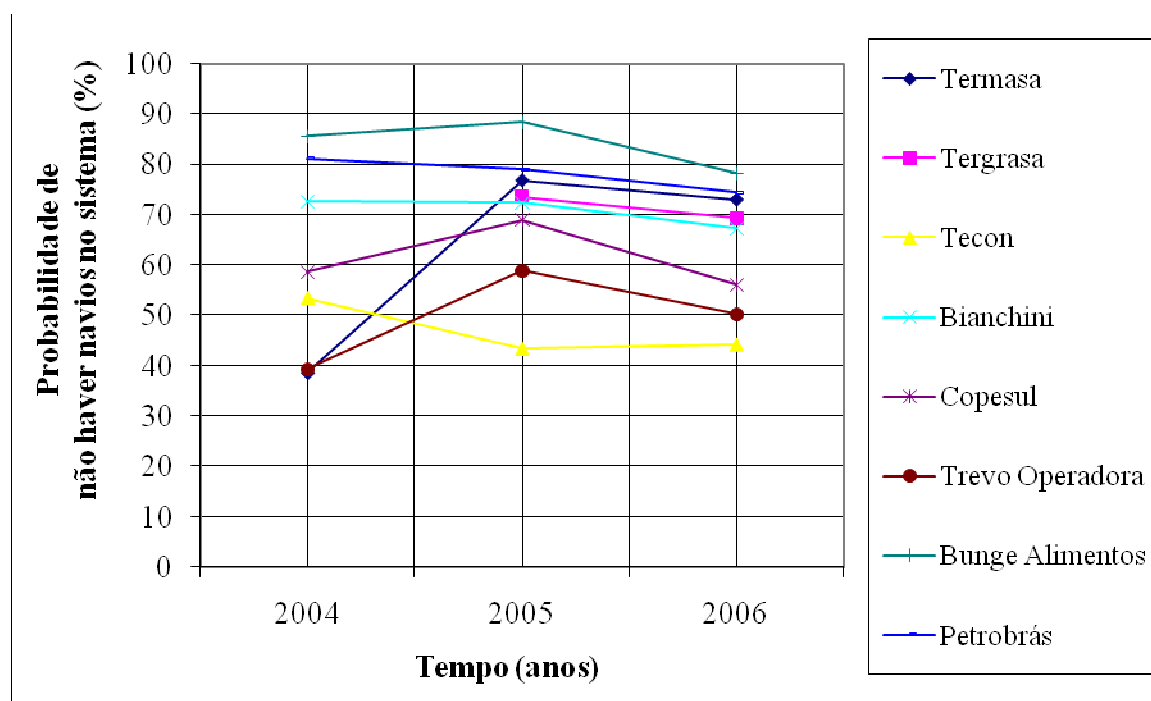


Figura 5.50 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais do Superporto.

Conforme a figura 5.50, nota-se que o terminal Bunge Alimentos apresentou os maiores valores de probabilidade de não haver navios no sistema, em relação aos demais terminais do Superporto. Este terminal obteve 85,7%, 88,4% e 78,3% para a variável analisada, nos referidos anos do estudo.

O terminal Termasa, adquiriu 38,6%, 76,8% e 73%, respectivamente, em 2004, 2005 e 2006. Nota-se que houve um significativo acréscimo em 2005.

No terminal Tergrasa, foram obtidos os valores de 73,6% e 69,4%, ordenadamente, nos anos de 2005 e 2006.

O terminal Tecon, que apresentou 53,5% em 2004, sofreu um pequeno decréscimo em 2005, onde atingiu 43,4%, valor próximo ao do ano de 2006, que foi de 44,2%.

No terminal Bianchini, observaram-se valores próximos nos primeiros anos da análise, os quais foram de 72,6% e 72,5%, ordenadamente. Em 2006, apresentou um pequeno decréscimo, onde alcançou 67,4%.

No terminal Copesul, observam-se os valores de 58,7%, 68,9% e 56,2%, sistematicamente, nos referidos anos do estudo.

O terminal Trevo Operadora obteve em 2004, 39,5% de probabilidade de não haver navios no sistema. E em 2005 apresentou um considerável aumento, onde atingiu 58,9%. Já em 2006, sofreu um pequeno decréscimo, alcançando 50,3%.

Finalmente, no terminal Petrobrás, nota-se uma constante redução nos valores ao longo dos anos, os quais foram de 81,1%, 79,0% e 74,4%, ordenadamente.

5.6.28 Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Superporto

Através da Figura 5.51, podem-se observar os valores referentes à probabilidade de não haver clientes no sistema de cada terminal e berço de atracação do Superporto, bem como a relação entre estes (quando aplicável).

No terminal Termasa, constata-se que em 2005 o sistema íntegro apresentou maior probabilidade de estar ocioso que o berço de barcaças, e este, maior que o berço de navios. Entretanto, em 2006, o berço de barcaças obteve maior valor que o sistema global do terminal, e este, maior que o berço de navios.

Em relação ao terminal Tergrasa, nota-se que os berços de navios obtiveram maior probabilidade de estarem ociosos que o sistema íntegro, e este, maior que os berços de barcaças, durante os anos de 2005 e 2006.

No terminal Bianchini, no decorrer dos anos, os berços de barcaças apresentaram maior probabilidade de estarem ociosos que o sistema íntegro do terminal, e este, maior probabilidade que o berço de navios.

Já no terminal Trevo Operadora, observa-se que ao longo dos anos, os berços de navios obtiveram maior probabilidade de estarem ociosos que o sistema global do terminal, e este, maior que os berços de barcaças.

Por fim, no terminal Petrobrás, constata-se que os berços de navios adquiriram maior probabilidade de estarem ociosos que o sistema íntegro do terminal, e este, por sua vez, maior que o berço de barcaças.

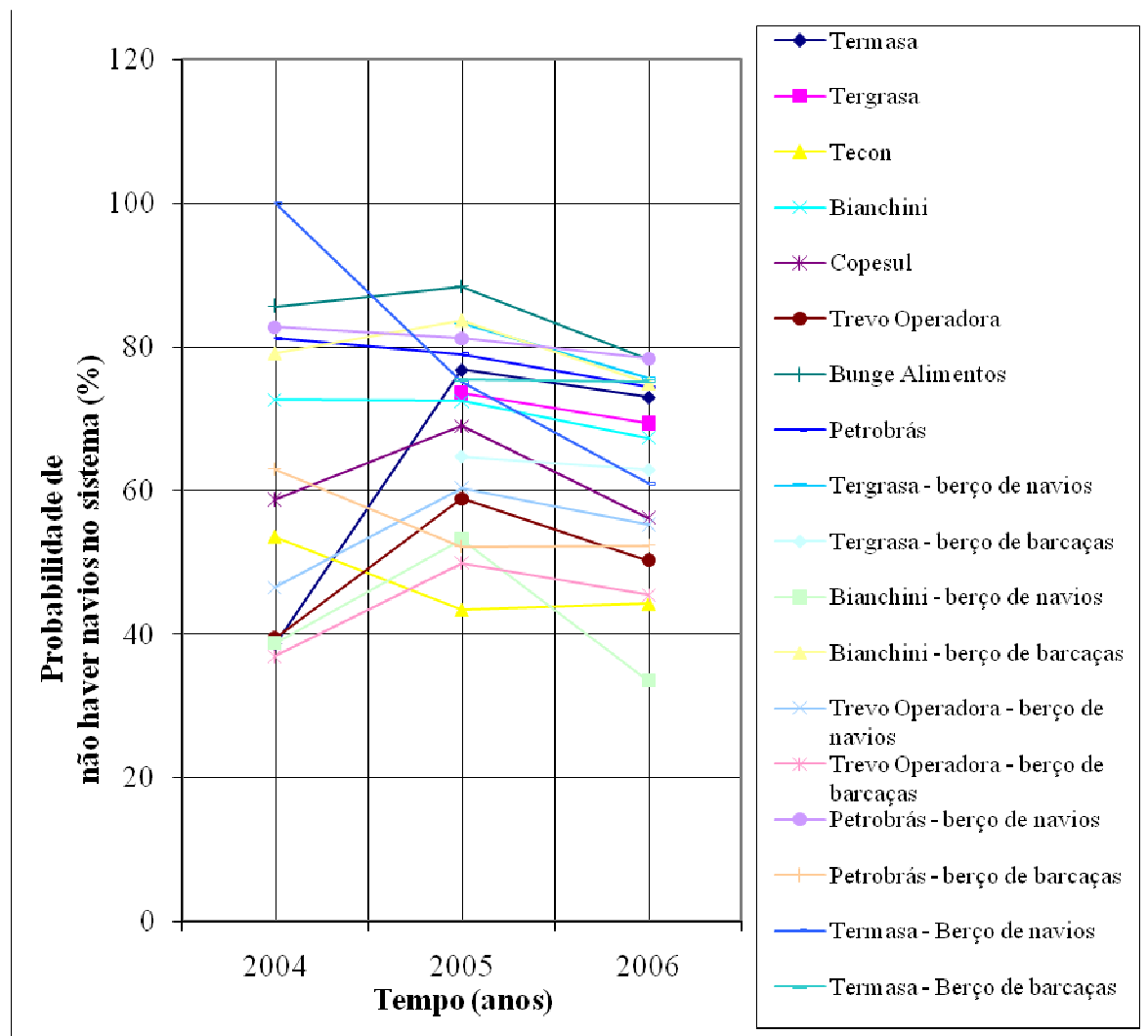


Figura 5.51 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais e berços do Superporto.

5.6.29 Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais do Porto do Rio Grande

De acordo com a Figura 5.52, nota-se a relação entre os terminais privados do Superporto e o terminal público Porto Novo. No entanto, é muito difícil estabelecer esta relação, pois são muitos os terminais do Superporto. O que se pode aferir é que no primeiro ano da análise, o Porto Novo apresentou maior probabilidade de estar ocioso que os terminais

Termasa, Tecon, Bianchini, Copesul e Trevo Operadora. Em 2005, o terminal público obteve menor probabilidade de não haver clientes no sistema que o terminal Bunge Alimentos, e maior probabilidade que todos os demais terminais do Superporto. Já no último ano do estudo, constata-se que o Porto Novo apresentou o mesmo valor de probabilidade de estar ocioso que o terminal Bunge Alimentos, e maior valor que os demais terminais.

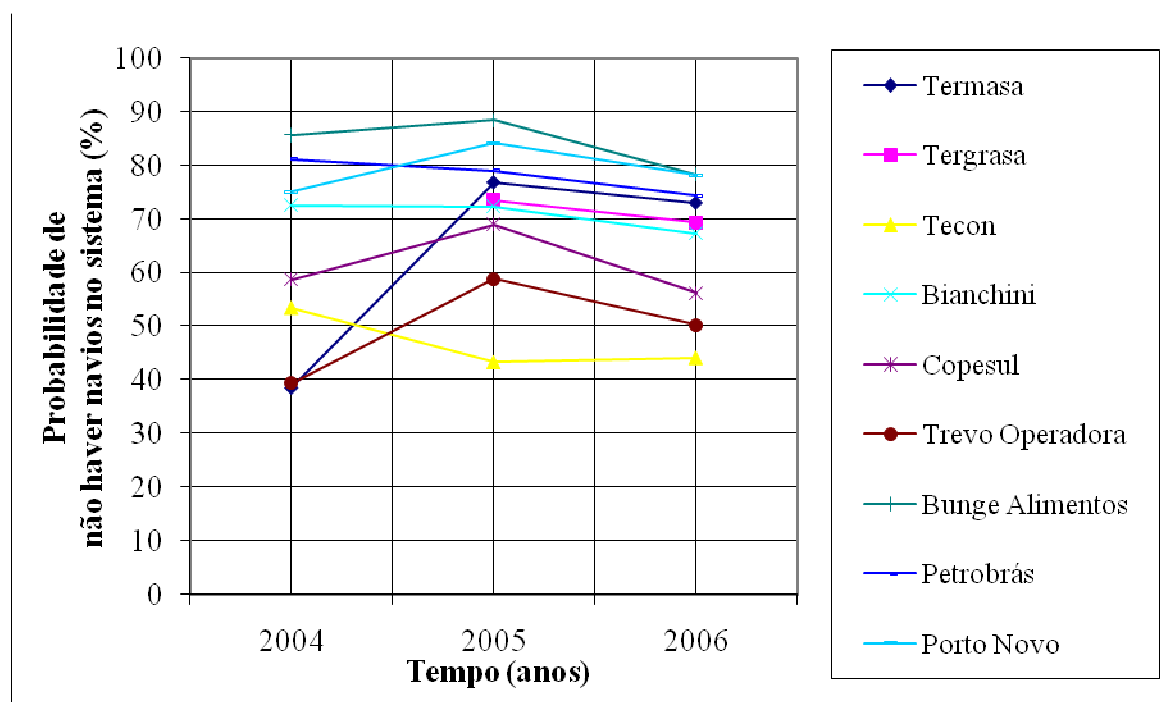


Figura 5.52 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais do Porto do Rio Grande.

5.6.30 Resultados Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para os Terminais e Berços de Atracação do Porto do Rio Grande

A Figura 5.53, mostra as probabilidades de não haver clientes nos sistemas dos terminais e berços de atracação do Porto do Rio Grande.

Ao analisar as Figuras 5.49 a 5.53, conclui-se que em muitos dos terminais e berços de atracação, tanto para o sistema público quanto para o privativo, há valores altos de probabilidade de estarem ociosos; indicando assim que na maior parte do tempo, praticamente não há movimentação de navios. Cabe ressaltar o valor adquirido pelo Berço de Contêineres do Porto Novo, que em 2005 atingiu 98,4% de probabilidade de estar ocioso, ou seja, praticamente não há clientes (navios) no sistema.

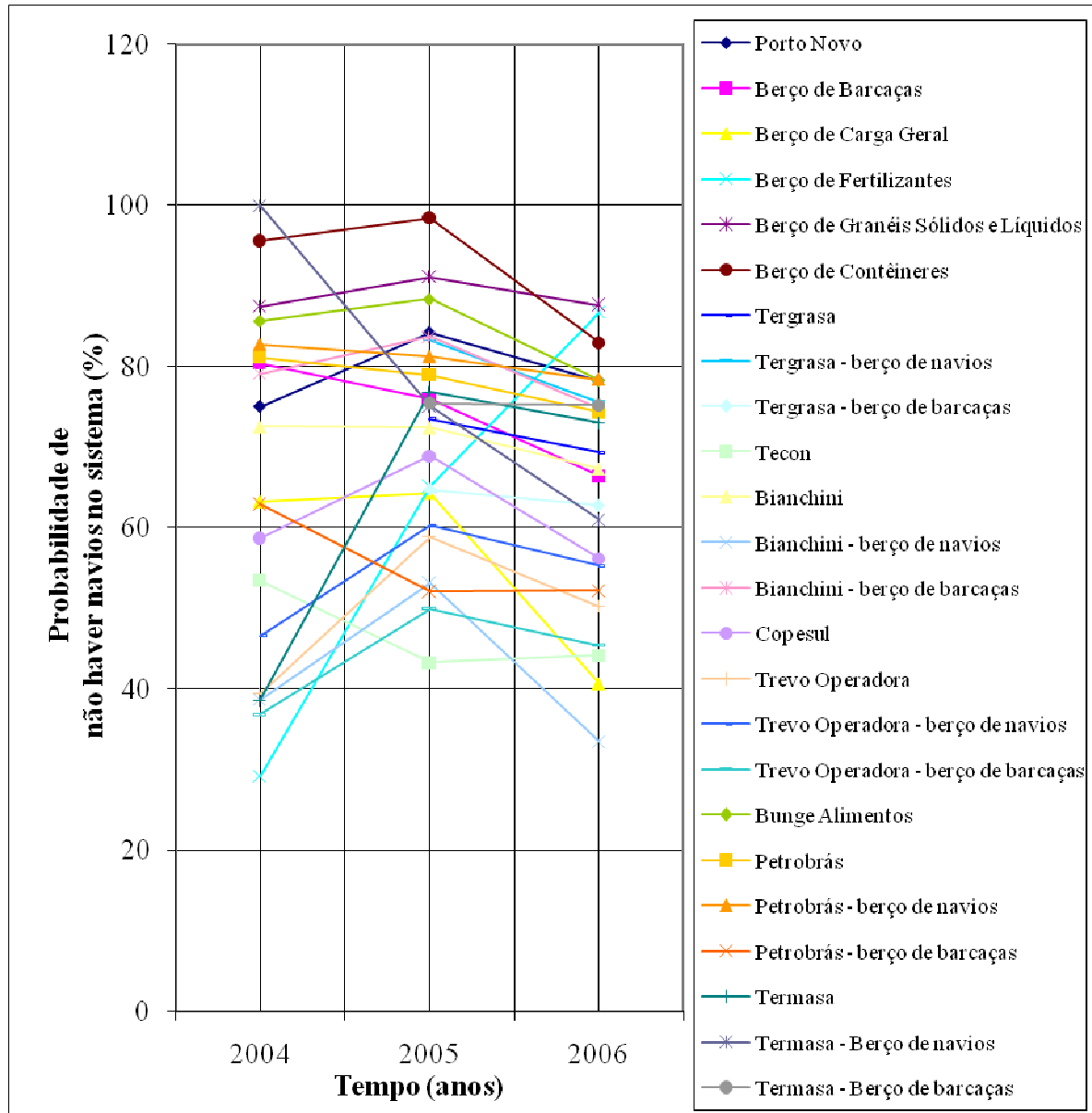


Figura 5.53 - Probabilidade de não haver navios no sistema para os terminais e berços do Porto do Rio Grande.

5.7 RESULTADOS REFERENTES ÀS SIMULAÇÕES REALIZADAS MENSALMENTE PARA O TERMINAL TECON

Nas Tabelas 5.41 e 5.42 estão apresentados os resultados referentes às simulações realizadas mensalmente para prever o comportamento do terminal Tecon, em termos de congestionamento, para os anos de 2004 a 2006, considerando os dois berços de atracação existentes. Também estão expressos os resultados estimados para o ano de 2009, onde haverá três berços de atracação. Para uma melhor compreensão das tabelas, a seguir segue a nomenclatura adotada:

ρ : índice de congestionamento;

NF: número médio de clientes na fila (navios);

TF: tempo médio que o cliente permanece na fila (horas);

NS: número médio de clientes no sistema (navios);

TS: tempo médio que o cliente permanece no sistema (horas).

P_0 : probabilidade de não haver clientes no sistema (%);

P_n : probabilidade de haver “n” clientes no sistema (%).

Tabela 5.41 - Resultados referentes ao índice de congestionamento, número médio de navios na fila, tempo médio de permanência na fila, e ao número médio de navios no sistema.

Meses	ρ				NF (navios)				TF (horas)				NS (navios)			
	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009
Janeiro	0,53	0,72	0,73	0,61	0,25	1,23	1,22	0,39	2,91	10,22	9,91	2,25	1,31	2,67	2,69	2,21
Fevereiro	0,45	0,69	0,68	0,61	0,15	1,08	0,97	0,39	2,14	9,64	8,43	2,67	1,05	2,47	2,34	1,24
Março	0,70	0,65	0,85	0,67	1,24	0,57	2,64	0,53	12,18	5,57	19,23	3,99	2,64	1,86	4,33	2,54
Abril	0,58	0,68	0,68	0,53	0,53	0,75	1,01	0,13	5,89	6,92	9,12	1,08	1,69	2,14	2,38	1,73
Mai	0,66	0,76	0,69	0,44	0,51	1,05	0,82	0,07	6,07	8,57	7,19	0,53	1,83	2,57	2,21	0,38
Junho	0,60	0,79	0,86	0,73	0,47	1,33	1,64	0,62	5,69	10,77	16,14	5,11	1,66	2,92	3,36	2,81
Julho	0,53	0,81	1,00	0,81	0,32	1,39	7,60	2,35	3,29	11,35	87,00	28,65	1,38	3,01	9,60	4,79
Agosto	0,60	0,92	0,75	0,52	0,54	1,89	1,51	0,15	6,43	15,99	15,17	1,81	1,73	3,74	3,01	1,70
Setembro	0,61	0,95	0,82	0,59	0,48	3,19	2,11	0,43	5,59	28,75	20,62	4,67	1,70	5,09	3,76	2,21
Outubro	0,62	0,81	0,62	0,39	0,45	1,10	0,63	0,05	4,66	8,93	7,29	0,66	1,70	2,73	1,87	1,23
Novembro	0,69	0,75	0,61	0,32	0,86	1,16	0,45	0,03	8,81	9,49	5,14	0,30	2,25	2,67	1,66	0,98
Dezembro	0,68	0,76	0,79	0,54	1,06	1,20	1,31	0,15	10,90	9,94	12,81	1,52	2,42	2,73	2,89	1,75

Tabela 5.42 - Resultados referentes ao tempo médio de permanência no sistema, à probabilidade de não haver navios no sistema, e à probabilidade de haver navios no sistema.

Meses	TS (horas)				Po (%)				Pn (%)			
	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009	2004	2005	2006	2009
Janeiro	15,43	22,60	22,18	13,29	57,97	46,94	46,35	47,87	42,03	53,06	53,65	52,13
Fevereiro	14,86	22,55	20,69	15,89	63,42	48,49	49,11	54,02	36,58	51,51	50,89	45,98
Março	26,33	18,38	33,05	19,49	48,01	51,05	40,59	51,02	51,99	48,95	59,41	48,98
Abril	20,23	19,80	21,92	13,81	54,97	49,32	49,14	58,78	45,03	50,68	50,86	41,22
Maiο	23,94	21,21	19,59	10,84	50,48	44,95	48,46	64,50	49,52	55,05	51,54	35,50
Junho	19,84	23,95	33,54	23,90	54,06	43,14	39,78	47,99	45,94	56,86	60,22	52,01
Julho	17,93	24,78	112,03	57,70	58,07	42,24	33,45	44,06	41,93	57,76	66,55	55,94
Agosto	20,77	31,89	31,46	20,98	53,99	36,80	45,34	59,65	46,01	63,20	54,66	40,35
Setembro	19,76	46,94	37,07	24,60	53,24	35,68	41,67	55,19	46,76	64,32	58,33	44,81
Outubro	17,92	22,09	21,66	15,35	52,48	42,15	52,74	67,41	47,52	57,85	47,26	32,59
Novembro	23,35	21,95	18,98	13,75	48,47	45,31	53,53	72,65	51,53	54,69	46,47	27,35
Dezembro	25,44	22,73	28,47	18,07	49,17	44,69	43,40	58,46	50,83	55,31	56,60	41,54

5.7.1 Resultados Mensais Referentes ao Índice de Congestionamento para o Terminal Tecon

A Figura 5.54 apresenta os índices de congestionamento mensais que ocorreram durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

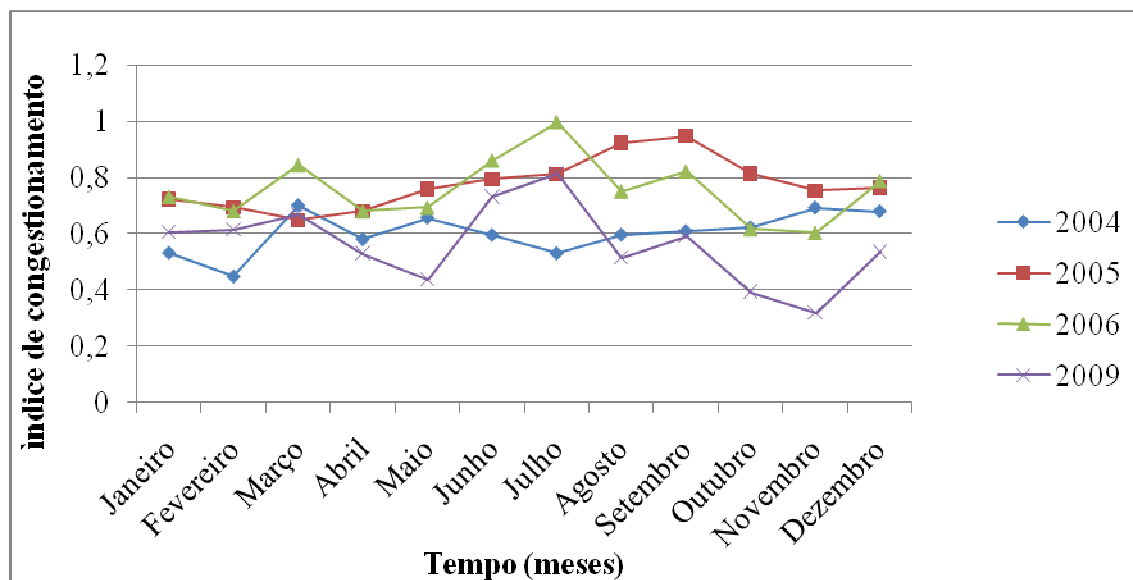


Figura 5.54 – Índice de congestionamento para o terminal Tecon.

De acordo com a Figura 5.54, observa-se que nos meses de janeiro, abril, junho, julho e dezembro, o terminal Tecon apresentou um comportamento crescente, em relação à taxa de ocupação, de 2004 a 2006. Já nos meses de fevereiro, abril, agosto, setembro, outubro e novembro, o índice de congestionamento mostrou-se crescente de 2004 a 2005, a decrescente no ano posterior. Somente no mês de março, observou-se um decréscimo de 2004 a 2005, seguido de um acréscimo em 2006.

Ressalta-se que nos meses de agosto e setembro de 2005, o terminal Tecon apresentou valores altos para a taxa de ocupação, sendo de 0,92 e 0,95, respectivamente. Salienta-se ainda, que em julho de 2006, foi atingido o valor igual a 1,00 para esta taxa; fato que significa a ocorrência de congestionamento neste mês.

Para o ano de 2009, foram estimadas consideráveis reduções nos índices de congestionamento, podendo atingir o valor de 0,32 no mês de novembro. No entanto, salienta-se que mesmo com estas reduções, o mês de julho ainda poderá apresentar um valor alto para este índice, sendo estimado em torno de 0,81.

5.7.2 Resultados Mensais Referentes ao Número Médio de Navios na Fila para o Terminal Tecon

A Figura 5.55 mostra os valores obtidos, mensalmente, para o número médio de navios na fila, durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

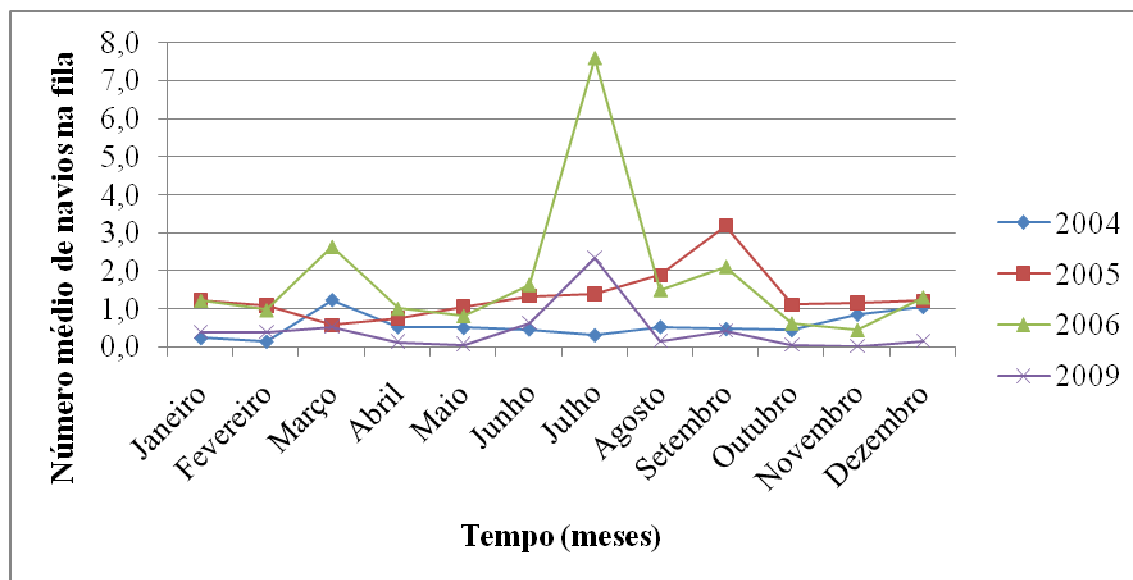


Figura 5.55 – Número médio de navios na fila para o terminal Tecon.

Conforme a Figura 5.55, observa-se que nos meses de abril, junho, julho e dezembro, o terminal Tecon mostrou um comportamento crescente de 2004 a 2006, para o número médio de navios na fila. No entanto, nos meses de janeiro, fevereiro, maio, agosto, setembro, outubro e novembro, este terminal apresentou, um comportamento crescente de 2004 a 2005, e decrescente no ano seguinte. Apenas no mês de março, obteve um decréscimo de 2004 a 2005, e um acréscimo no ano posterior.

De acordo com a previsão para o ano de 2009, a variável analisada, apresentará expressivas reduções. Cabe destacar que o terminal Tecon apresentou o maior valor para o número médio de navios na fila, em julho de 2006 (quando ocorreu o congestionamento), o qual foi em torno de 7,60 navios. Já em 2009, a estimativa é que este terminal apresente neste mês, em torno de 2,35 navios em espera na fila, representando assim, um significativo decréscimo. Pode-se estimar ainda, que o menor valor para a variável analisada, poderá ocorrer no mês de novembro, com o valor aproximado de 0,03 navios em espera na fila.

5.7.3 Resultados Mensais Referentes ao Tempo Médio de Permanência na Fila para o Terminal Tecon

A Figura 5.56 mostra os valores obtidos, mensalmente, para o tempo médio de permanência na fila, durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

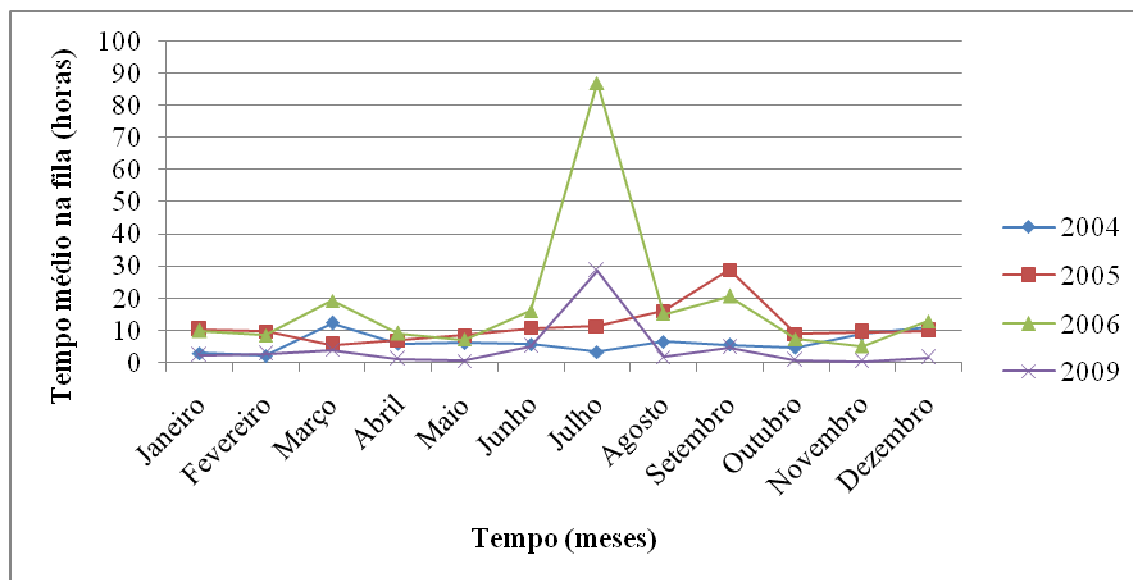


Figura 5.56 – Tempo médio de espera em fila para o terminal Tecon.

Segundo a Figura 5.56, constata-se que nos meses de abril, junho e julho, o terminal Tecon apresentou um comportamento crescente de 2004 a 2006, para o tempo médio de espera em fila. Já nos meses de janeiro, fevereiro, maio, agosto, setembro, outubro e novembro, este terminal apresentou, um comportamento crescente de 2004 a 2005, e decrescente em 2006. E nos meses de março e dezembro, obteve um decréscimo de 2004 a 2005, seguido de um acréscimo no ano seguinte.

Com as estimativas para 2009, pode-se aferir que o terminal Tecon poderá apresentar consideráveis reduções quanto à referida variável estudada. Ressalta-se que o maior valor de tempo de espera em fila, ocorreu em julho de 2006 (quando houve o congestionamento), atingindo cerca de 87,00 horas; este valor tenderá a diminuir em julho de 2009, podendo atingir aproximadamente 28,65 horas de espera em fila. Ressalta-se ainda, que em novembro de 2009, o terminal Tecon poderá obter o menor tempo de espera, sendo estimado em torno de 0,30 horas.

5.7.4 Resultados Mensais Referentes ao Número Médio de Navios no Sistema para o Terminal Tecon

A Figura 5.57 mostra os valores obtidos, mensalmente, para o número médio de navios no sistema, durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

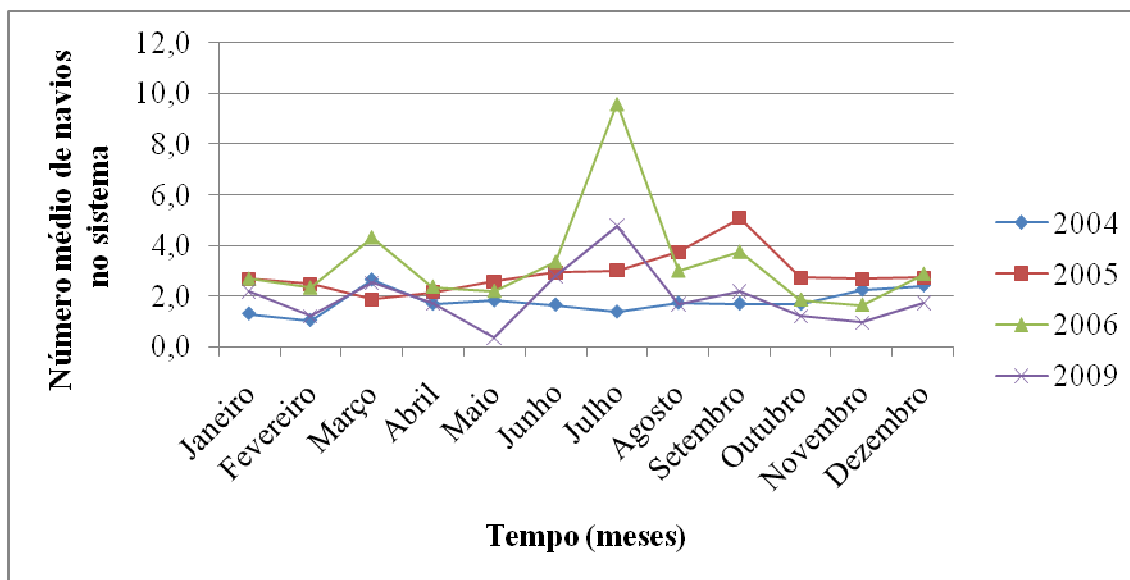


Figura 5.57 – Número médio de navios no sistema para o terminal Tecon.

De acordo com a Figura 5.57, constata-se que durante os meses de janeiro, abril, junho, julho e dezembro, o terminal Tecon apresentou um comportamento crescente de 2004 a 2006, em relação ao número médio de navios no sistema. Observa-se ainda, que durante os meses de fevereiro, maio, agosto, setembro, outubro e novembro, este terminal mostrou um acréscimo de 2004 a 2005, seguido de um decréscimo no ano seguinte. Por fim, no mês de março, verifica-se que houve um decréscimo de 2004 a 2005, e um acréscimo em 2006.

Conforme as estimações feitas para 2009, constata-se que o terminal Tecon poderá apresentar consideráveis reduções para o valor médio do número de navios no sistema. Salienta-se que em julho de 2006 (quando houve o congestionamento), ocorreu o maior valor para esta variável, o qual foi em torno de 9,60 navios. A estimativa para julho de 2009 é de 4,79 navios no sistema, mostrando assim uma melhoria no sistema. O menor valor para a variável analisada está previsto para ocorrer em maio de 2009, onde poderá atingir 0,38 navios.

5.7.5 Resultados Mensais Referentes ao Tempo Médio de Permanência no Sistema para o Terminal Tecon

A Figura 5.58 mostra os valores obtidos, mensalmente, para o tempo médio de permanência no sistema, durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

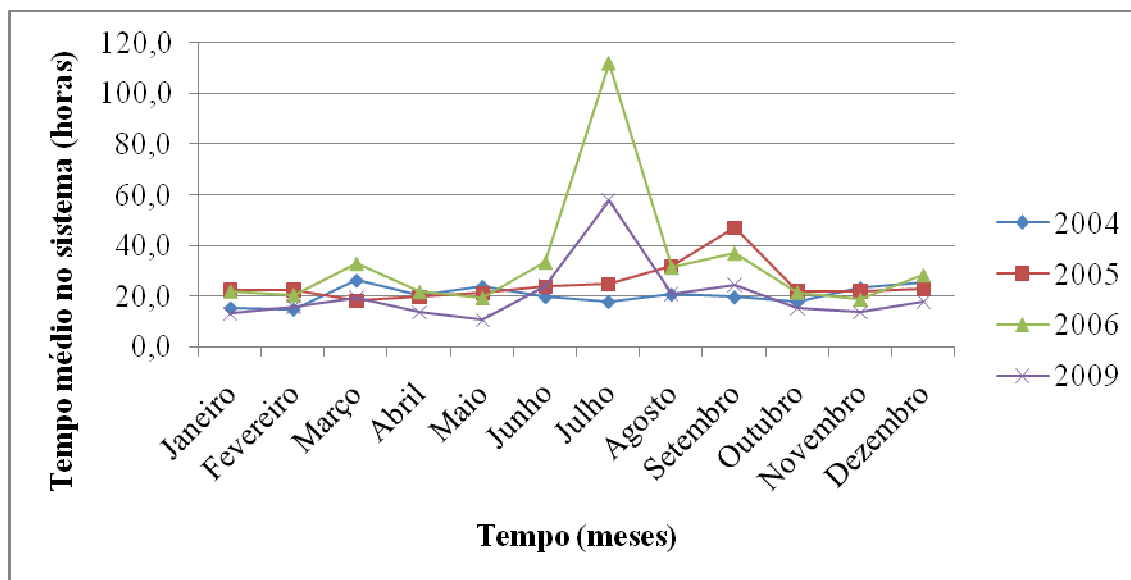


Figura 5.58 – Tempo médio de permanência no sistema para o terminal Tecon.

Conforme a Figura 5.58, observa-se que durante os meses de janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro e novembro, o terminal Tecon apresentou um acréscimo de 2004 a 2005, seguido de um decréscimo em 2006. Já nos meses de março, abril e dezembro, houve um decréscimo de 2004 a 2005, com um posterior acréscimo em 2006. Somente nos meses de maio e novembro, o terminal Tecon apresentou um comportamento decrescente de 2004 a 2006. E, por fim, nos meses de junho e julho, este terminal mostrou um comportamento crescente de 2004 a 2006.

Com as estimativas realizadas para o ano de 2009, verifica-se que poderão ocorrer significativas reduções quanto ao tempo de permanência no sistema. Destaca-se que em julho de 2006 (quando ocorreu congestionamento), o tempo de permanência no sistema era de aproximadamente 112 horas; este valor poderá sofrer uma considerável redução em julho de 2009, atingindo em torno de 57,7 horas. Salienta-se ainda, que o menor valor para esta variável, está previsto para ocorrer em maio de 2009, onde poderá atingir em torno de 10,84 horas de permanência no sistema.

5.7.6 Resultados Mensais Referentes à Probabilidade de Não Haver Navios no Sistema para o Terminal Tecon

A Figura 5.59 mostra os valores obtidos, mensalmente, para a probabilidade de não haver navios no sistema, durante os anos de 2004 a 2006, e a previsão para 2009.

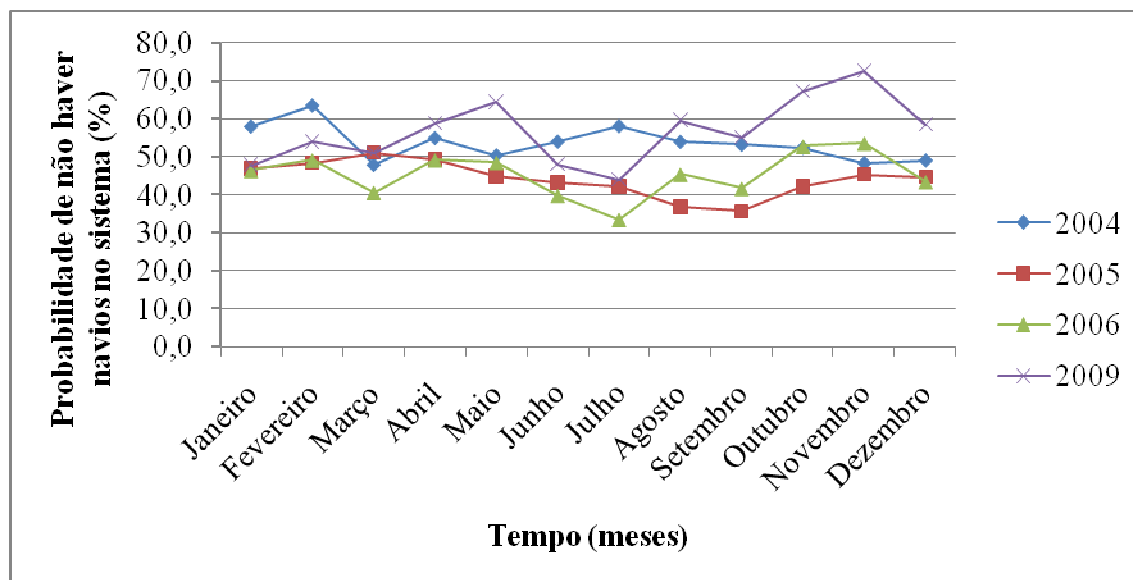


Figura 5.59 – Probabilidade de não haver navios no sistema para o terminal Tecon.

De acordo com a Figura 5.59, verifica-se que nos meses de janeiro, abril, junho e julho, o terminal Tecon apresentou um comportamento decrescente de 2004 a 2006, para a probabilidade de não haver navios no sistema. Constata-se também que nos meses de fevereiro, maio, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, houve um decréscimo de 2004 a 2005, seguido de um acréscimo em 2006. Somente no mês de maio, ocorreu um acréscimo de 2004 a 2005, com um posterior decréscimo em 2006.

De acordo com as simulações realizadas para prever o comportamento deste terminal em 2009, constata-se que poderão ocorrer significativas diferenças para a variável analisada em relação aos anos anteriores. Destaca-se que em julho de 2006 (quando ocorreu o congestionamento) o terminal Tecon apresentou o menor valor, o qual foi de 33,45% de probabilidade de não haver navios no sistema; este valor poderá atingir a 44,06% em julho de 2009, apresentando assim um considerável aumento, contribuindo para a melhoria das operações portuárias. Ressalta-se ainda, que o maior valor para esta variável, está previsto para ocorrer em novembro de 2009, onde poderá alcançar a 72,65% de probabilidade de não haver navios no sistema.

6. RELAÇÕES ENTRE AS TÉCNICAS DE TEORIA DE FILAS E DE SIMULAÇÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Este trabalho iniciou-se a partir da tese de dissertação de Duarte (2007), sob orientação de Lima (2007), que teve como contexto a análise da operacionalidade do Porto do Rio Grande através da técnica de Teoria de Filas. Conforme apresentado no Capítulo 2, a Teoria de Filas abrange diversas equações matemáticas para determinar variáveis, tais como: índice de congestionamento, número médio de clientes na fila, número médio de clientes no sistema, tempo médio de navios na fila, tempo médio de permanência na fila, tempo médio de permanência no sistema, probabilidade de o sistema estar ocioso ou não, etc.

Um dos objetivos desta dissertação é comparar os resultados obtidos pelo método da Teoria de Filas com os adquiridos pelo método de Simulação. Para tal, utilizaram-se os dados de Duarte (2007), os quais são referentes aos terminais Termasa, Tergrasa e Tecon (como sistemas íntegros), e ao terminal Porto Novo (como sistema global, e separadamente para cada berço de atracação), no ano de 2004. Portanto, foram comparados apenas os resultados referentes a estes locais e ano, exceto para o terminal Tergrasa, pois conforme explicado na Seção 5.3.7, nesta dissertação não foi efetuada a análise deste terminal no ano de 2004 devido ao fato de operar apenas com dois berços de atracação, evidenciando assim o congestionamento. Ressalta-se ainda, que no estudo dos dados de chegadas, Duarte (2007) avaliou o número de chegadas diárias, gerando a necessidade de adotar a distribuição de Poisson para representá-los. No caso da presente dissertação foi feita a opção de avaliar os intervalos entre as chegadas, adotando a distribuição exponencial. Para melhor comparar estes valores, adotou-se o critério de converter os resultados da distribuição de Poisson pela distribuição exponencial, que consiste em apenas calcular o inverso do valor de Poisson.

A seguir estão apresentados os resultados adquiridos pelas referidas técnicas.

6.2 RESULTADOS OBTIDOS PELAS TÉCNICAS DE TEORIA DE FILAS E DE SIMULAÇÃO

As Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam os resultados relativos às técnicas de Teoria de Filas e de Simulação.

Para uma melhor compreensão das tabelas, a seguir segue a nomenclatura adotada:

C: número de berços de atracação;

$E(t)_{\text{chegada}}$: média da distribuição exponencial para o intervalo entre chegadas (dias);

$E(t)_{\text{atendimento}}$: média da distribuição exponencial para o atendimento (dias);

ρ : índice de congestionamento;

NF: número médio de clientes na fila (navios);

TF: tempo médio que o cliente permanece na fila (horas);

NS: número médio de clientes no sistema (navios);

TS: tempo médio que o cliente permanece no sistema (horas).

P_0 : probabilidade de não haver clientes no sistema (%);

P_n : probabilidade de haver “n” clientes no sistema (%).

Tabela 6.1 - Resultados referentes aos processos de chegada, de atendimento, e ao índice de congestionamento.

Local	C	E(t) _{chegadas}		E(t) _{atendimento}		ρ	
		Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação
Porto Novo	6	1,05	1,01	1,97	*1,45	0,31	0,29
Porto Novo - Berço de Barcaças	1	2,32	*2,14	0,62	*0,47	0,26	0,20
Porto Novo - Berço de Carga Geral	1	4,35	4,08	1,89	1,32	0,43	0,37
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	1	6,67	5,91	5,71	*4,87	0,85	0,71
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	1	14,28	11,4	2,6	1,65	0,09	0,13
Porto Novo - Berço de Contêineres	1	25	*15,40	1,2	*0,99	0,03	0,04
Termasa	1	3,22	3,22	2,17	1,65	0,67	0,62
Tecon	2	0,43	0,43	0,82	*0,57	0,96	0,61

* Valores obtidos pela distribuição de função cumulativa através do programa Arena.

Tabela 6.2 - Resultados referentes ao número médio de navios na fila, ao tempo médio de permanência na fila, e ao número médio de navios no sistema.

Local	NF		TF		NS	
	Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação
Porto Novo	0,000	0,000	0,000	0,00	1,870	1,722
Porto Novo - Berço de Barcaças	0,090	0,065	5,280	3,80	0,360	0,261
Porto Novo - Berço de Carga Geral	0,330	0,274	34,800	27,90	0,770	0,641
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	**	1,026	**	183,40	**	1,734
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	**	0,019	**	6,70	**	0,145
Porto Novo - Berço de Contêineres	**	0,000	**	0,00	**	0,044
Termasa	1,390	1,278	107,76	100,5	2,060	1,892
Tecon	**	0,474	**	4,8	**	1,685

** Não foi possível representar os dados segundo a distribuição adotada pela Teoria de Filas.

Tabela 6.3 - Resultados referentes ao tempo médio de permanência no sistema, à probabilidade de não haver navios no sistema, e à probabilidade de haver navios no sistema.

Local	TS		P ₀		P _n	
	Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação	Teoria de Filas	Simulação
Porto Novo	47,040	43,9	58,80	55,90	41,20	44,10
Porto Novo - Berço de Barcaças	12,480	15,3	73,30	78,1	26,70	21,9
Porto Novo - Berço de Carga Geral	144,696	66,0	56,60	67,60	43,40	32,40
Porto Novo - Berço de Fertilizantes	**	310,0	**	17,60	**	82,40
Porto Novo - Berço de Granéis Sólidos e Líquidos	**	50,6	**	85,50	**	14,50
Porto Novo - Berço de Contêineres	**	24,4	**	93,60	**	6,40
Termasa	347,760	149,9	32,60	48,80	67,40	51,20
Tecon	**	17,0	**	53,5	**	46,5

** Não foi possível representar os dados segundo a distribuição adotada pela Teoria de Filas.

6.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Em relação ao processo de chegadas, conclui-se que houve uma considerável diferença nos resultados obtidos pelas técnicas de Teoria de Filas e Simulação no caso dos berços de Granéis e de Contêineres, no Porto Novo. No Berço de Contêineres a diferença chegou a 9,6 dias. Tal diferença obtida possivelmente ocorreu pelo fato do conjunto de dados considerado ser relativamente pequeno, e também pelo fato de que, para a análise do processo de chegadas, na técnica de Teoria de Filas, foi adotado o número de chegadas diárias, enquanto na técnica de Simulação, foram utilizados os intervalos entre as chegadas. Nos demais terminais e berços, onde o conjunto de dados era maior, foram obtidos valores próximos entre as duas técnicas utilizadas.

Ao analisar os resultados de processos de atendimento, observa-se que no Berço de Granéis Sólidos e Líquidos, houve a maior diferença de valores entre as técnicas, a qual foi de 0,95 dias. Os demais berços e terminais apresentaram valores próximos para as técnicas adotadas.

Sobre o índice de congestionamento, ressalta-se o que o terminal Tecon apresentou valor maior com a técnica de Teoria de Filas do que com a de Simulação. Este fato pode ter ocorrido devido à diferença de probabilidades de adaptação à curva exponencial negativa. Para as análises de atendimento deste terminal, com a Teoria de Filas, foi possível aplicar os dados segundo a distribuição exponencial negativa. No entanto, com a Simulação, não foi possível representar os dados desta maneira, e sim com a função cumulativa. Os demais terminais e berços não apresentaram significativas diferenças para a taxa de ocupação, entre as referidas técnicas de modelagem de sistemas.

Em relação ao número médio de navios na fila, constata-se que em todos os casos comparados, os valores são próximos, entre as referidas técnicas.

Ao analisar o tempo médio de permanência de navios na fila, constatam-se diferenças de aproximadamente 7 horas entre as técnicas, no Berço de Carga Geral e no terminal Termasa. No Berço de Barcaças, a diferença é em torno de 1,5 horas. Já no terminal Porto Novo, não houve tempo médio de espera na fila, em ambas as técnicas.

Ao comparar os resultados obtidos entre as técnicas referidas, em relação ao número médio de navios no sistema, verifica-se que são próximos, pois o máximo valor para a diferença entre os métodos foi de 0,17 navios.

Em relação ao tempo médio de permanência no sistema, averiguou-se que houve diferenças significativas entre as técnicas, em todos os casos comparados. Cabe ressaltar o Berço de Carga Geral, com diferença de 78,7 horas, ou seja, 3,28 dias. Destaca-se ainda, o terminal Termasa, com diferença de 197,86 horas, ou seja, 8,25 dias.

A respeito da probabilidade de não haver navios no sistema, nota-se uma relevante diferença nos valores adquiridos no Berço de Carga Geral, que chega a 11%. E no terminal Termasa, a diferença é maior ainda, de 16,2%.

Como conclusões finais deste capítulo se constatam que os resultados comparados entre as técnicas referidas, no Porto Novo (como um sistema íntegro), foram próximos; e que nos demais locais avaliados, houve diferenças de valores. No entanto, é difícil justificar a causa de tal discrepância, mas se pode aferir que o próprio fato de analisar os dados de chegadas de maneiras diferentes (Processo de Poisson e exponencial), gera resultados desiguais. E assim, acumulam-se erros. Outro fator muito importante é o tamanho do conjunto de dados, pois nas situações em que havia poucos dados, ocorreram as maiores diferenças entre as técnicas de Teoria de Filas e de Simulação. Já nos casos analisados com muitos dados, foram obtidos valores próximos entre as técnicas.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES FUTURAS

7.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a técnica de simulação, a qual é muito utilizada para projetos e análises de sistemas, e pode ser interpretada como um conjunto de processos em estudo, envolvendo a interação entre entidades e recursos. Quanto mais detalhados estes processos, melhor o entendimento do problema e também a solução final. Porém, existem muitos casos onde o detalhamento demanda um custo muito alto, ou mesmo sua inviabilidade pela inexistência de dados disponíveis. Neste ponto aparece a simulação como uma ferramenta que possibilita o estudo de sistemas através de um modelo lógico-matemático do mesmo, que gera dados suficientes para atender aos requerimentos do projeto.

Com a aplicação da técnica de simulação ao Porto do Rio Grande, foram obtidos vários resultados, tais como: os índices de congestionamento, os números médios de navios nas filas, os tempos médios de navios nas filas, os números médios de navios nos sistemas, os tempos médios de navios nos sistemas, as probabilidades de os sistemas estarem ociosos, e as probabilidades de haver “n” navios nos sistemas.

Como principais conclusões das análises realizadas anualmente, cita-se que em todos os terminais e berços analisados, nos referidos anos do estudo, não ocorreram índices de congestionamento com valores iguais ou maiores que 1, indicando assim que não houve congestionamento. Ou seja, o ritmo médio de chegadas é menor que o ritmo médio de atendimentos. Ressalta-se que o maior índice de congestionamento do Superporto, ocorreu no terminal Trevo Operadora, em sua análise global, no ano de 2004, quando atingiu 0,929, valor próximo a 1. Já no terminal público, Porto Novo, o maior índice de congestionamento surgiu na análise realizada separadamente ao Berço de Fertilizantes, onde obteve 0,708, também no ano de 2004.

Em relação às análises realizadas mensalmente para o terminal Tecon, conclui-se que na maioria dos meses dos referidos anos do estudo, não foi alcançado o índice de congestionamento igual ou maior que 1, indicando assim que não houve congestionamento. No entanto, em julho de 2006, foi obtida a taxa de ocupação com valor igual a 1, fato que significa a ocorrência de congestionamento. De acordo com as simulações realizadas para o

ano de 2009 (período previsto para o Tecon operar com três berços de atracação), conclui-se que em todos os meses poderão ocorrer significativas reduções em termos de congestionamento. Salienta-se que em julho de 2009, o Tecon poderá obter taxa de ocupação aproximadamente igual a 0,82, apresentando assim, uma considerável redução no congestionamento, contribuindo para a melhoria do porto.

Tornou-se praticamente impossível descrever os comportamentos das variáveis estudadas ao longo dos anos, para cada terminal e berços de atracação, e as relações entre estes, porque as simulações foram realizadas com dados de três anos apenas. Para obter estas conclusões, seria necessário coletar e interpretar dados de mais alguns anos, oferecendo assim, uma amostra de tamanho maior.

Em relação às técnicas de Simulação e de Teoria de Filas, notaram-se diferenças significativas em alguns casos; no entanto muitos outros valores obtidos foram próximos. Ressalta-se ainda a praticidade da Simulação através do *software* Arena, pois foram analisados dados de todos os terminais e berços do Porto do Rio Grande, referentes aos anos de 2004, 2005 e 2006. O estudo realizado através deste programa foi muito eficiente.

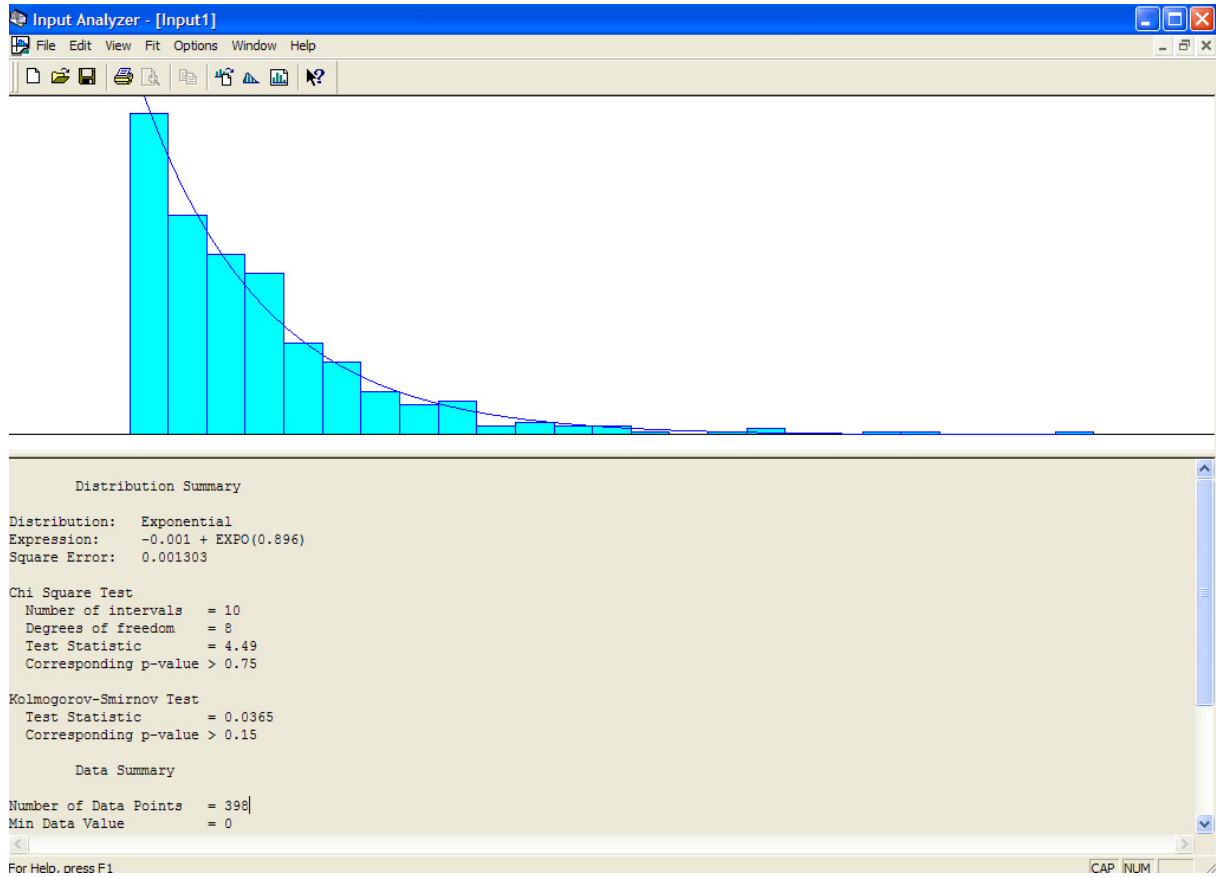
7.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Visando colaborar com a operacionalidade do Porto do Rio Grande, recomenda-se que este trabalho tenha continuidade, utilizando-se de uma amostra maior de dados (talvez 10 anos), e realizando análises mensais ou até mesmo semanais, para esclarecer o comportamento real dos terminais e berços de atracação ao longo do tempo.

Deste modo, poderão ser realizadas simulações de fatos que já ocorreram, para então descrever a operacionalidade existente do porto, em termos de congestionamento; e assim, estimar futuras demandas, visando realizar simulações para prever as operações portuárias em um futuro próximo. Também poderão ser realizadas modificações nos sistemas portuários, como por exemplo, alterar o número de berços de atracação; e assim verificar os efeitos na eficiência portuária.

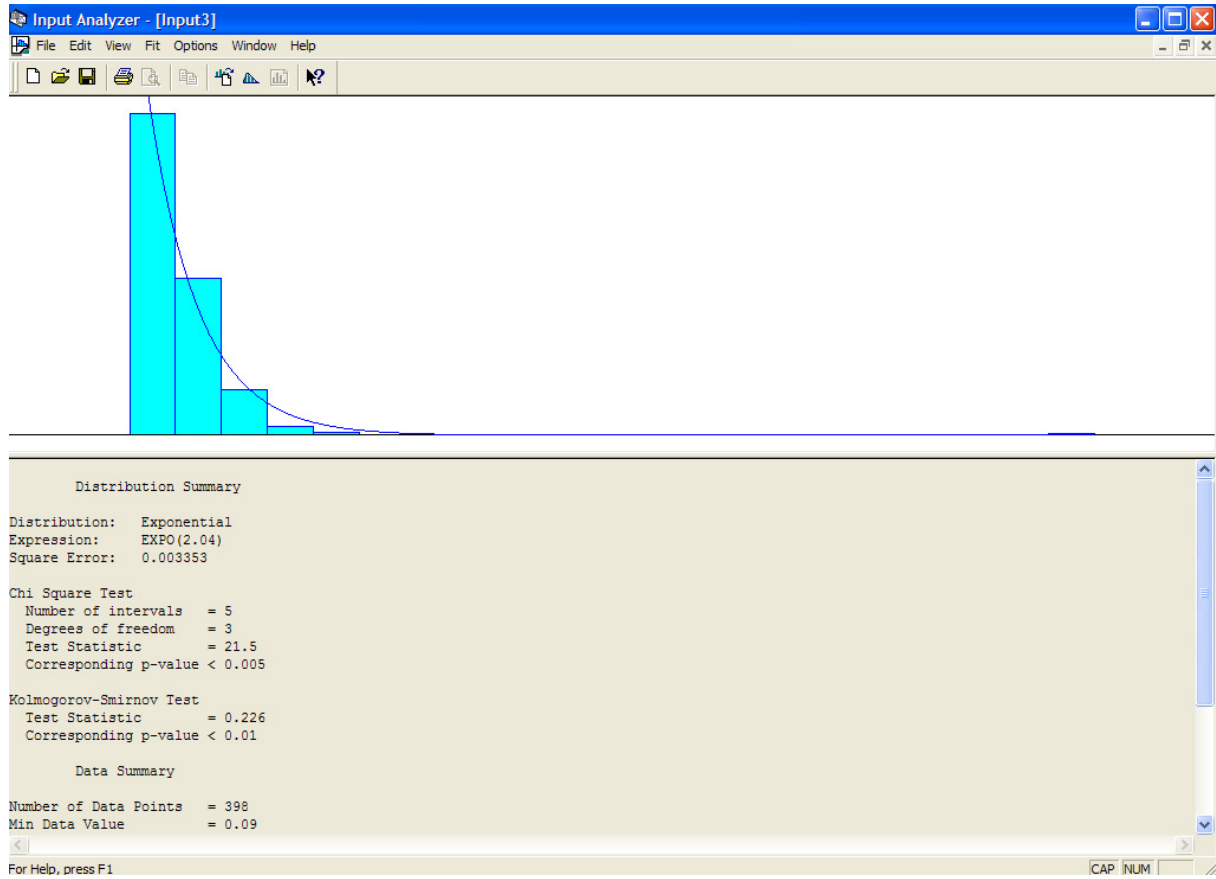
ANEXO A

TELA DA ANÁLISE DE CHEGADAS DO PROGRAMA ARENA



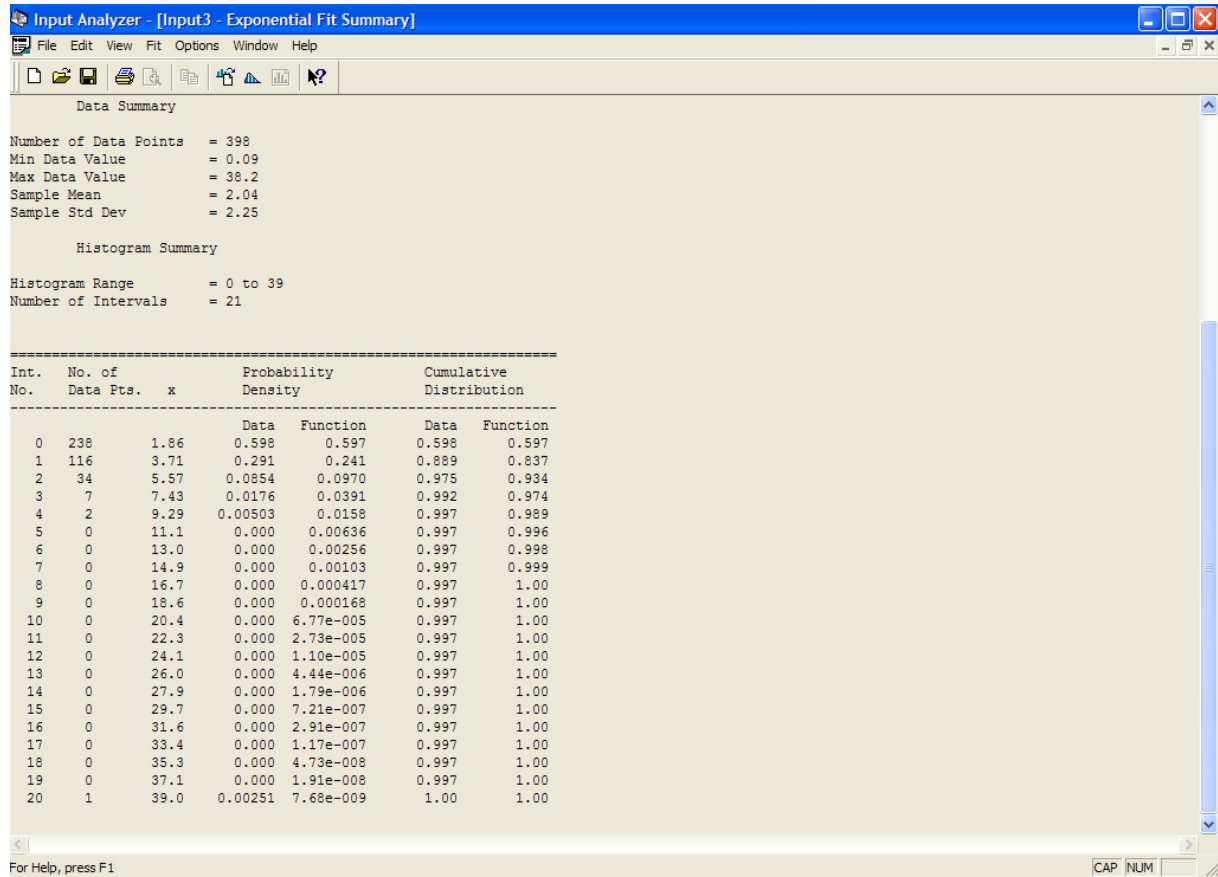
ANEXO B

TELA DA ANÁLISE DO ATENDIMENTO DO PROGRAMA ARENA



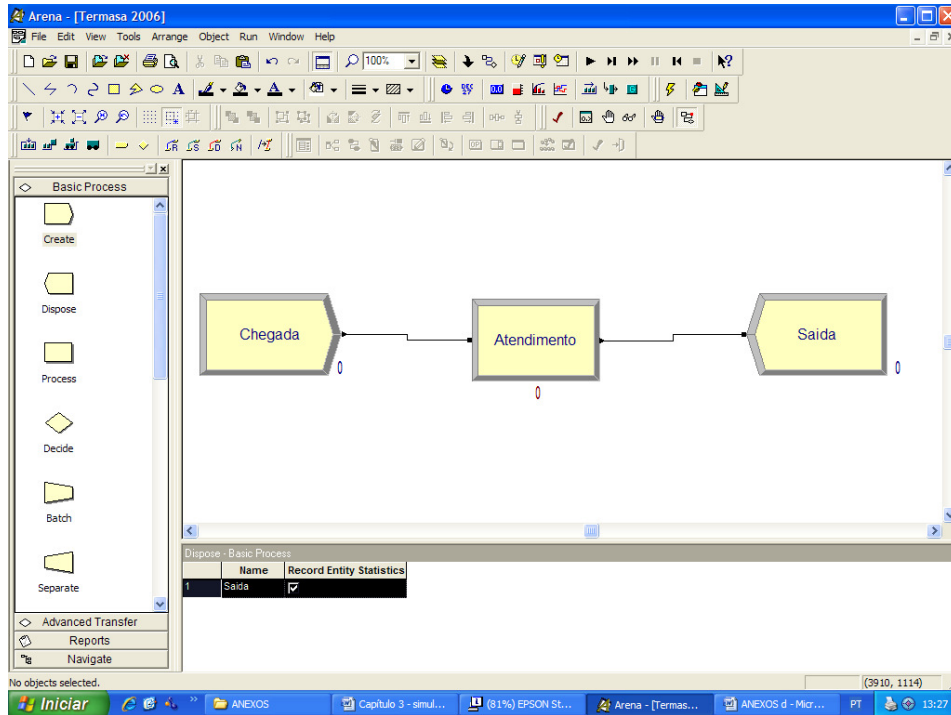
ANEXO C

TELA DA FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO CUMULATIVA DO PROGRAMA ARENA



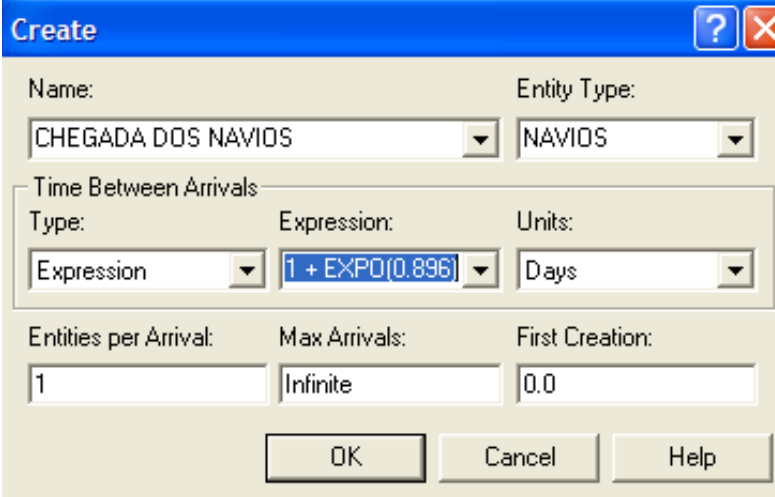
ANEXO D

TELA DO FLUXOGRAMA DO PROGRAMA ARENA



ANEXO E

TELA DO MÓDULO *CREATE* DO PROGRAMA ARENA



The screenshot shows the 'Create' dialog box in the Arena software. The dialog has a blue title bar with a question mark icon and a close button. The main area is light beige and contains the following fields:

- Name:** A dropdown menu with the text 'CHEGADA DOS NAVIOS'.
- Entity Type:** A dropdown menu with the text 'NAVIOS'.
- Time Between Arrivals:** A section with three sub-fields:
 - Type:** A dropdown menu with the text 'Expression'.
 - Expression:** A dropdown menu with the text '1 + EXP0(0.896)'. The text is highlighted in blue.
 - Units:** A dropdown menu with the text 'Days'.
- Entities per Arrival:** A text input field with the value '1'.
- Max Arrivals:** A text input field with the text 'Infinite'.
- First Creation:** A text input field with the value '0.0'.

At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

ANEXO F

TELA DO MÓDULO PROCESS DO PROGRAMA ARENA

Process [?] [X]

Name: Type:

Logic

Action: Priority:

Resources:

Resource, ATENDENTE, 1	<input type="button" value="Add..."/>
<End of list>	<input type="button" value="Edit..."/>
	<input type="button" value="Delete"/>

Delay Type: Units: Allocation:

Expression:

Report Statistics

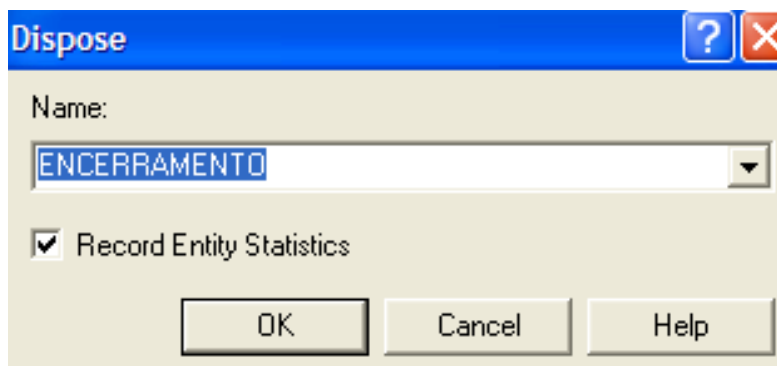
ANEXO G

TELA DO TEMPLATE RESOURCE DO PROGRAMA ARENA

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	ATENDENTE	Fixed Capacity	6	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

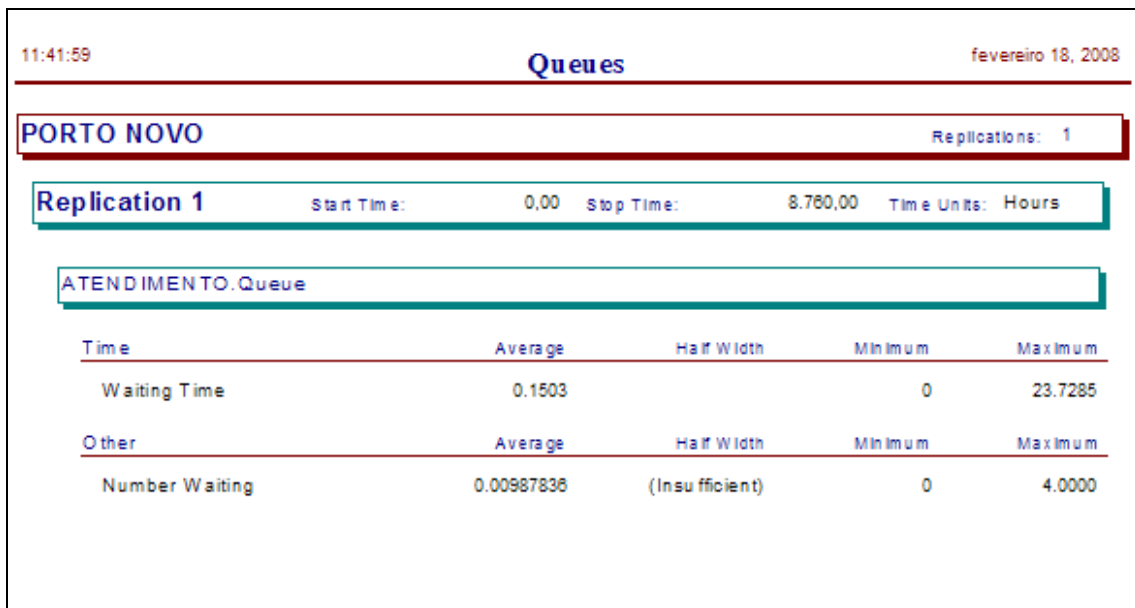
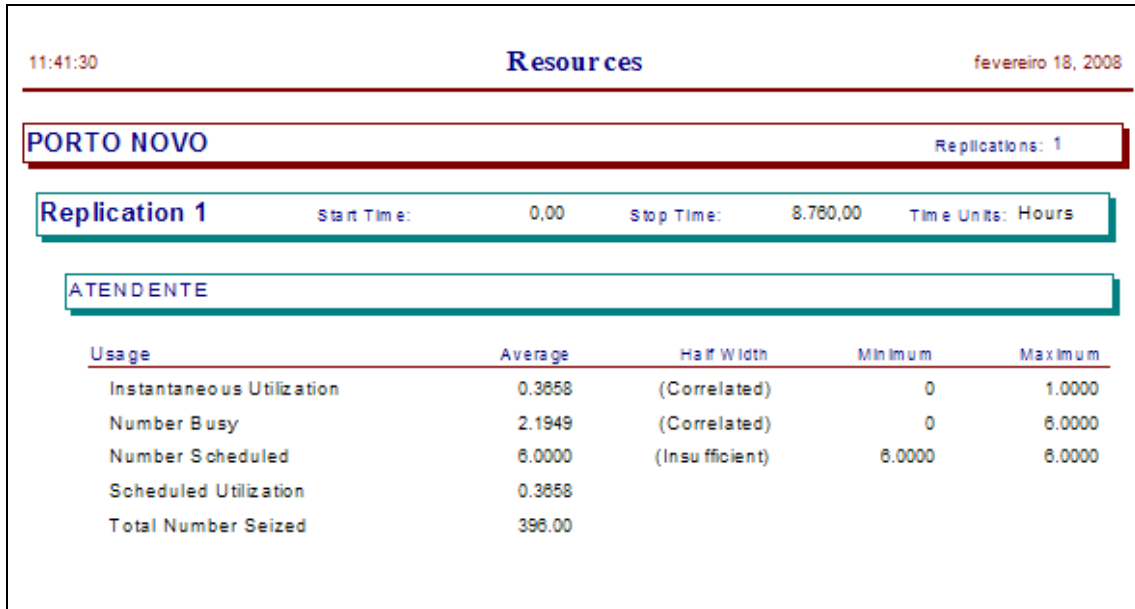
ANEXO H

TELA DO MÓDULO *DISPOSE* DO PROGRAMA ARENA



ANEXO I

TELAS DOS RELATÓRIOS DO PROGRAMA ARENA



11:42:28 **Entities** fevereiro 18, 2008

PORTO NOVO Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 8.760,00 Time Units: Hours

NAVIOS

Time	Average	Half Width	Minimum	Maximum
NVA Time	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Other Time	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Total Time	46.4973	3,79576	0.2068	220.07
Transfer Time	0.00	0,000000000	0.00	0.00
VA Time	46.3447	3,70417	0.2068	220.07
Wait Time	0.1526		0.00	23.7285

Other	Value			
Number In	400			
Number Out	390			
WIP	2.2048	(Correlated)	0.00	10.0000

11:42:43 **Processes** fevereiro 18, 2008

PORTO NOVO Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 8.760,00 Time Units: Hours

ATENDIMENTO

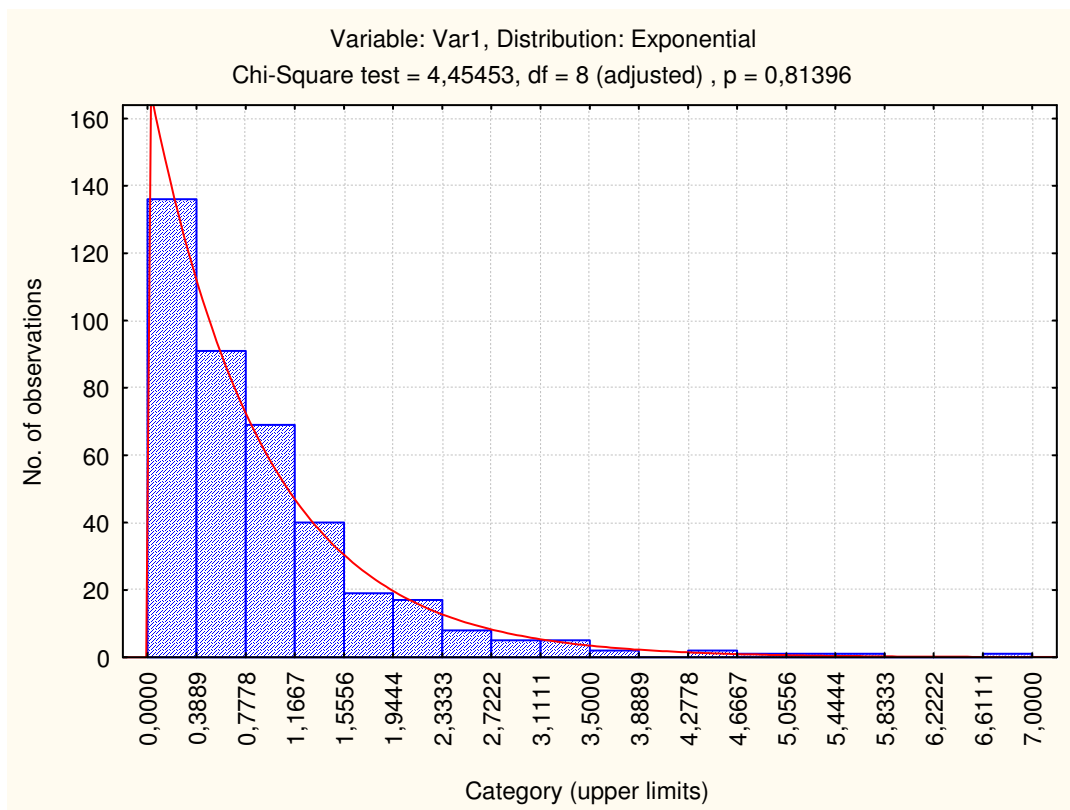
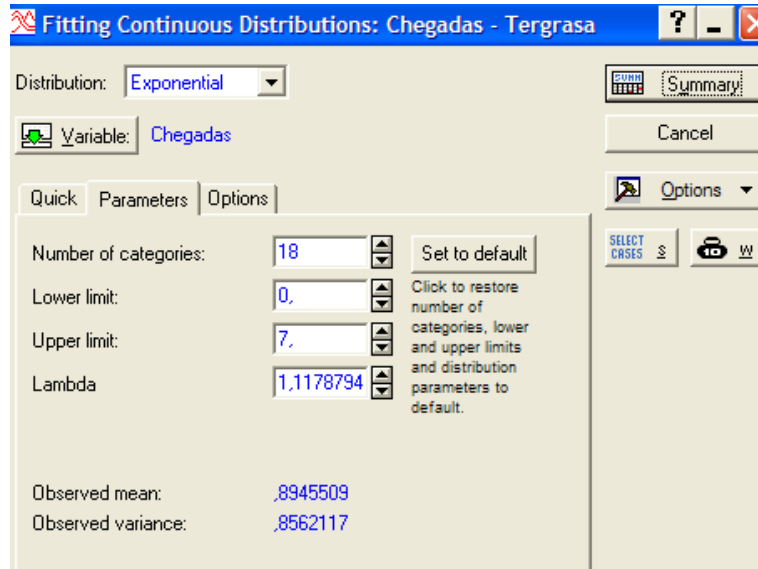
Time per Entity	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Total Time Per Entity	46.4973	3,79576	0.2068	220.07
VA Time Per Entity	46.3447	3,70417	0.2068	220.07
Wait Time Per Entity	0.1526		0	23.7285

Accumulated Time	Value
Accum VA Time	18,074.43
Accum Wait Time	59.5297

Other	Value
Number In	400
Number Out	390

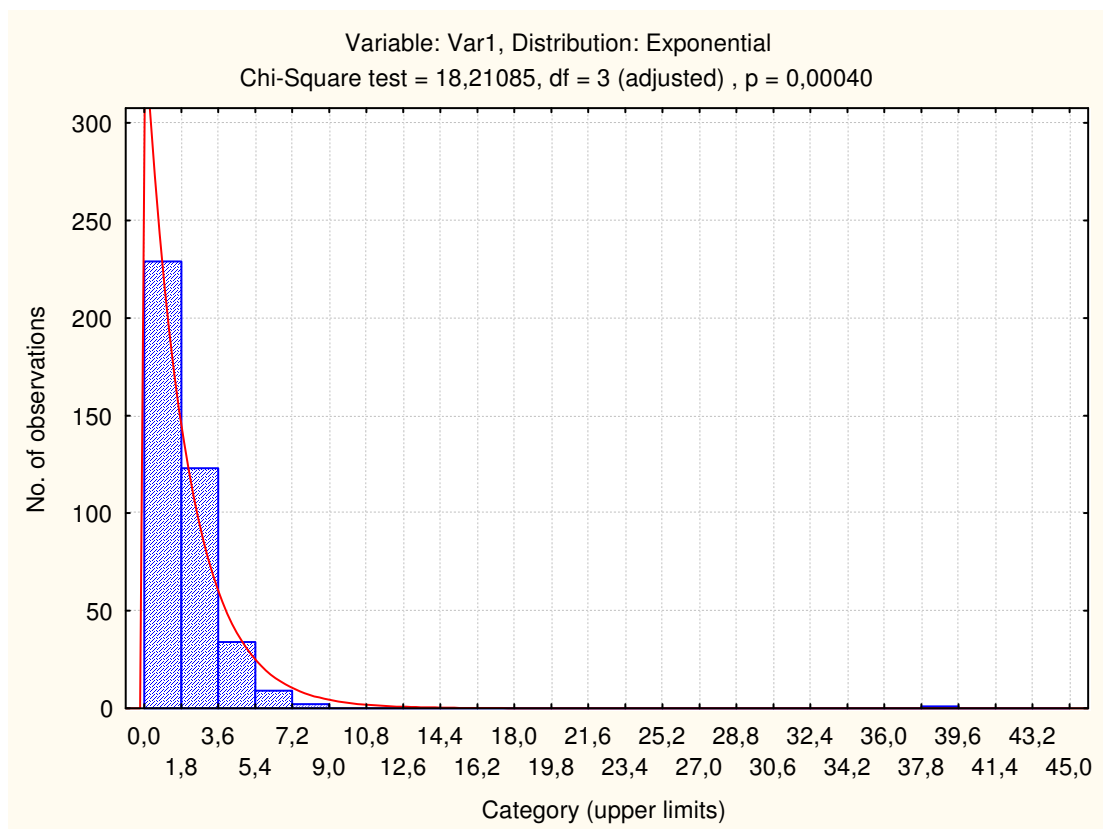
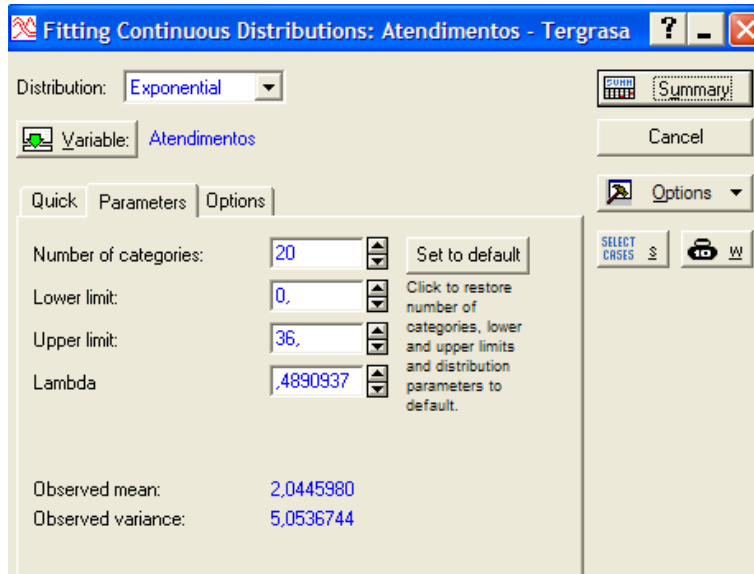
ANEXO J

TELAS DA ANÁLISE DE CHEGADAS DO PROGRAMA *STATISTICA*



ANEXO L

TELAS DA ANÁLISE DE ATENDIMENTOS DO PROGRAMA STATISTICA



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e técnicas para análise de decisão. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e científicos Ed.1989.
2. BATISTA, B. C. D. Análise das Operações com Embarcações de Apoio Offshore na Bacia de Campos – RJ, 2005. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica) UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
3. BRAGA, G. S. Portos e Logística. Transportes em Revista, v. 5, n. 43, Setembro, 2006.
4. CARVALHO, L. S. Modelagem e Simulação: poderosa ferramenta para a otimização de operações logísticas. Bahia Análise e Dados – Salvador. Setembro, 2003, v. 13, n. 2, p. 267-274.
5. CONSELHO. Revista CONSELHO. O Porto de todo o Rio Grande. Fevereiro, 2006. Ano III, n. 18, p. 32.
6. CONSELHO. Revista CONSELHO. Molhes da Barra do Rio Grande. Agosto, 2007. Ano III, n. 36, p. 19.
7. DEVORE, J. L. Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências. (Tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva). São Paulo: Pioneira Thomson. Learning 2006.
8. DÁVALOS, R. V. O ensino de simulação de sistemas nos cursos de engenharia e informática. In: XIV Encuentro Nacional de Docentes em Investigación Operativa y XII Escuela de Perfeccionamiento em Investigación Operativa, Córdoba, 2001.
9. DUARTE, K. P. Análise Operacional do Complexo Portuário de Rio Grande usando Teoria De Filas. Rio Grande, 2007. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica) FURG – fundação Universidade Federal do Rio Grande.

10. FRICKER, Jon D., WHITFORD Robert K. Fundamentals of Transportation Engineering: A Multimodal Systems Approach. Pearson Prentice Hall, 2004.
11. MONTGOMERY, D. C. e RUNGER, G. C. Estatística Aplicada Para Engenheiros. 2º ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. 2003.
12. NEWSCOMEX. Página eletrônica de Comércio Exterior e Logística; Disponível em: www.newscomex.com.br/adm/fotos/destaques_671.jpg. Acessado em: 22/01/2008.
13. NOVAES, Antônio Galvão. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos. São Paulo: Editora Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, 1975.
14. PARAGON. Página eletrônica. Disponível em: www.workforce.com.br. Acessado em 20/10/2007.
15. PRADO, Darci Santos do. Teoria das Filas e da Simulação. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2º volume série Pesquisa Operacional, 1999.
16. PRADO, Darci Santos do. Usando o Arena em Simulação. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 3º volume série Pesquisa Operacional, 2004.
17. RIO GRANDE VIRTUAL. Página eletrônica. Disponível em: www.riograndevirtual.com.br. Acessado em: 15/12/2007.
18. SALIBY, E. *Softwares* para simulação. Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, v.16, n. 1, p. 67-71, 1997.
19. SALIBY, E.; LARA, M. S.; LACERDA, L.; NAZARIO, P.R.S. Modelo de Simulação de Operações Portuárias. In: IX CLAIO, 1998, Buenos Aires. Anais do IX CLAIO, 1998, p. 316-321.
20. SALIBY, E. Tecnologia de informação. Uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas. In: Fleury, P. F.; Wanke, P. F.; Figueiredo, K. F. (Org.). Logística Empresarial: a Perspectiva Brasileira. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2000, v.1, p. 296-307.

21. SEINFRA-RS. Página eletrônica da Secretaria de Infra-estrutura e Logística. Governo do estado Rio Grande do Sul. Disponível em: www.st.rs.gov.br/bit/terminais_mar/Bianchiniriogrande/fotos.htm. Acessado em: 15/12/2007.
22. SEQUEIRA, A. Figueiredo. O Porto como Centro Logístico. Agosto de 2002.
23. SHIMIZU, Tamio. Pesquisa Operacional em Engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1984.
24. SUPRG. Página eletrônica do Porto do Rio Grande. Superintendência do Porto do Rio Grande. Disponível em: www.portoriogrande.com.br. Acessado em 12/12/2006.
25. TECON RIO GRANDE S.A. Página eletrônica do Tecon. Disponível em: www.tecon.com.br/site/indexphp?n_link=galeriadefotos. Acessado em: 15/12/2007.
26. TERMASA – TERGRASA. COMPLEXO PORTUÁRIO TERMASA – TERGRASA. Disponível em: www.termasa.com.br/html/home.php. Acessado em: 15/12/2007.
27. TRANSPORTES. Página eletrônica do Ministério dos Transportes. Disponível em: www.transportes.gov.br. Acessado em: 16/12/2007.
28. TRIOLA, M. F. Introdução à estatística. 7ª ed. Rio de Janeiro: LCT – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1999.
29. WAGNER Harvey M. Pesquisa Operacional. 2º ed. Rio de Janeiro: Editora Prentice-Hall, 1998.