

**MARCELO PATRÍCIO**

**ANÁLISE DE REGRAS DE ATRACAÇÃO DE NAVIOS EM TERMINAIS DE  
CONTÊINERES**

**Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia**

**São Paulo  
2005**

**MARCELO PATRÍCIO**

**ANÁLISE DE REGRAS DE ATRACAÇÃO DE NAVIOS EM TERMINAIS DE  
CONTÊINERES**

**Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:  
Engenharia Naval**

**Orientador:  
Prof. Dr. Rui Carlos Botter**

**São Paulo**

**2005**

Às mãos de meu pai, Álvaro.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe Edna pelo carinho e dedicação, à minha esposa Pauline pelo amor e compreensão e à minha filha Valentina pela alegria que rege nossas vidas.

Ao amigo e orientador Professor Doutor Rui Carlos Botter, pela paciência e dedicação na orientação desta dissertação.

Ao amigo e Diretor Técnico da Libra Terminais, o Engenheiro Henry James Robinson pelo incentivo e colaboração neste período.

Aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de simulação para análise de regras de atracação de berços em terminais de contêineres. Trata-se de um modelo específico, elaborado com base na análise de dados reais de chegada de navios porta-contêineres em um terminal especializado em contêineres no porto de Santos. A finalidade do modelo de simulação é indicar qual a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila. Preliminarmente, é realizada uma apresentação da evolução do transporte marítimo contêinerizado, considerando a evolução do comércio internacional e, a adequação da indústria marítima ao crescimento dos navios e seus impactos nos terminais de contêineres. Uma revisão bibliográfica foi realizada com a finalidade de mostrar os cenários onde o modelo se enquadra e um estudo crítico dos métodos desenvolvidos. Essa análise busca demonstrar qual a melhor janela de atracação a ser oferecida ao cliente armador, para um determinado padrão de chegada pelo terminal de contêineres. Ao final da dissertação recomenda-se qual a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida ao armador pelo terminal, no sentido de minimizar os custos, de acordo com o tipo de distribuição.

## ABSTRACT

This abstract presents a simulation model for the analysis of rules for the berthing of ships in container terminals. It deals with a specific model, elaborated from the analysis of real data concerning the arrival of container carriers from a terminal that is specialized in containers at the port of Santos. An aims at indicating which time window berthing is the best one to be offered by the terminal to the shipowner, considering a total cost system of in-line ships. Preliminarily, a presentation of the evolution of the transportation of containers by sea is held, through the evolution of international trade and the adequacy of the sea industry to the growth of vessels and its impact on container terminals. A bibliographic review was performed aiming at showing the scenarios where the model fits into and a critical analysis of the methods developed. This analysis seeks to demonstrate the best time window berthing to be offered to the shipowner, for a determined arrival pattern by the container terminal. And at the end of this research it is recommended the best time window berthing to be offered to the shipowner by the terminal so as to minimize costs according to the kind of distribution.

## ÍNDICE

Glossário	
Lista de tabelas	
Listas de figuras	
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Abordagem sistêmica de um terminal de contêineres .....	4
1.2 Regras de chegada de navios nos terminais .....	8
1.3 Propósito e objetivo da dissertação .....	11
1.4 Apresentação do trabalho .....	14
1.5 Motivação para a pesquisa .....	20
1.6 Delineamento do trabalho .....	22
<b>CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO CONTEINERIZADO E IMPACTOS EM TERMINAIS DE CONTÊNERES</b> .....	<b>24</b>
2.1 Evolução do comércio internacional e participação brasileira.....	24
2.2 Evolução e perspectivas da movimentação de contêineres no mundo e no Brasil .....	31
2.3 Adequação da indústria marítima ao cenário atual – Organização das empresas do setor .....	41
2.4 Evolução dos navios porta-contêineres .....	52
2.5 Impacto nos terminais de contêineres e nas suas operações .....	63
<b>CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>69</b>
3.1 Planejamento de berços .....	69

3.2 Modelagem de terminais e simulações.....	81
3.3 Conclusão sobre a revisão bibliográfica.....	84
<b>CAPÍTULO 4 – MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE REGRAS</b>	
<b>DE ATRACAÇÃO EM TERMINAIS DE CONTÊINERES. ....</b>	<b>85</b>
4.1 Descrição do modelo .....	85
4.2 Operacionalização do modelo de simulação .....	97
<b>CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO .....</b>	
<b>103</b>	
5.1 Análise dos dados .....	103
5.1.1 Intervalos de Chegada .....	104
5.1.2 Tempos de Atendimento .....	105
5.1.3 Análise dos Resultados das simulações .....	107
5.1.3.1 Análise dos resultados das simulações de dados lidos do arquivo.....	109
5.1.3.2 Análise dos resultados das simulações de dados gerados .....	112
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	
<b>120</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>122</b>



## GLOSSÁRIO

ATA – *Actual time of arrival* – Data e hora efetiva de chegada do navio ao porto.

Boca – Largura do navio a meia-nau.

Cabotagem – Navegação costeira praticada entre portos de um mesmo país.

COFC – Container on flat car.

CPLEX – Programa que resolve problemas de programação linear, é desenvolvido em linguagem C.

Dweel time – Na exportação, é o tempo de permanência do contêiner no terminal do seu recebimento até o seu embarque e, na importação, é o tempo de permanência do contêiner da descarga até a sua entrega para o importador.

ETA – *Estimated time of arrival* – Data e hora estimada de chegada do navio ao porto.

ETB – *Estimated time of berthing* – Data e hora estimada de atracação do navio ao berço.

ETD – *Estimated time of departure* – Data e hora estimada de saída do navio do porto; o mesmo que ETS (*Estimated time of sailing*).

FCFS – *First come first served* - Disciplina na qual o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.

Feeder – Navio de pequeno porte ou barcaça utilizada na alimentação de navios porta-contêineres.

Gates – Portões de controle de acesso de caminhões para entrega ou recebimento de contêineres.

Handling – Manuseio de carga, movimentação desta no pátio dos terminais de contêineres ou operação de descarga e embarque de navios.

Hub Port – Portos concentradores de carga.

ICT – *Information communication and technology* – Tecnologia da informação e comunicação.

Imbalance - Desbalanceamento entre fluxos de importação e exportação de contêineres.

ISPS Code – *International Ship and Port Facility Security* – Código de Proteção de Embarcações e Instalações Portuárias.

Joint services – Alianças entre empresas para o desenvolvimento de trabalho conjunto.

Lashing – Atividade de peação e despeação da carga, isto é, amarração da carga.

Liners – Linha de transporte de navios regulares entre os mesmos portos e em intervalos regulares.

Lingada – Içamento da carga.

Locks – Eclusas.

Market share – Participação de mercado.

MDIC/SECEX – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/  
Secretaria de Comércio Exterior.

MHC – *Mobile harbour crane* – Guindaste sobre pneus utilizado nas operações de navios.

Mother vessel – Navio que realiza viagem interoceânica e é alimentado por navios do tipo feeder.

R.M.I – *Remothed method invocation*

Schedules – Programação de chegadas dos navios com os respectivos ETA, ETB e ETS.

SLAM – *Storage lifecycle automation management.*

Slots – Células ou espaços destinados à armazenagem de contêineres no navio ou pátio.

SSA – *Seattle Stevedors Authority* – Operador americano que atua em terminais em diversos países, tais como no Panamá, Vietnã, México e Egito.

Tandem lift – Técnica de içamento que permite a movimentação de dois a quatro contêineres vazios um sobre o outro simultaneamente.

Tandem line – Técnica de içamento que permite a movimentação de dois contêineres paralelos em colunas (rows) diferentes do navio.

T.C.E – *Time charter equivalent.*

Terminais multiusuário – São terminais que operam para mais de um serviço ou armador, isto é, não são terminais dedicados de um armador específico.

Terno de trabalho – Equipe de trabalhadores associada aos equipamentos que operam um navio, formada por estivadores, grupo ou conexos, operadores de guindastes, trabalhadores de capatazia e conferentes.

T.E.U – *Twenty equivalent unit* – Equivalente a um contêiner de 20 pés de comprimento.

Transshipment – Atividade de movimentação de contêineres de transbordo; transferência de carga.

Trimming – Distribuição do peso a bordo para manter o equilíbrio do navio.

Twin picks – Técnica de içamento que permite a movimentação de dois contêineres lado a lado simultaneamente na mesma coluna (*row*) do navio.

ULCS – *Ultra large container ships*.

Under deck – Instrução de estivagem de container no porão do navio.

VLCC – *Very large container carrier*.

Wether deck - Instrução de estivagem de container no convés do navio.

## Lista de tabelas

Tabela 1 – O problema do imbalance em milhões de TEU .....	15
Tabela 2 – Valor do handling no principais portos do mundo em 1998 .....	17
Tabela 3 – Dados de demora na atracação e produtividade do TECON do Porto de Santos em 1995 .....	21
Tabela 4 – Evolução da estrutura (%) do comércio mundial por grupo de países e tipo de produtos .....	29
Tabela 5 – Composição da estrutura de comércio no Brasil (%).....	29
Tabela 6 – Evolução global da carga geral e containerizada .....	34
Tabela 7 – Comparativo do tráfego de contêineres por região de 1990 a 2002.....	36
Tabela 8 – Previsão de acréscimo de volume em milhões de TEU e projeção da movimentação de contêineres nos portos para 2005 por região.....	36
Tabela 9 – Movimentação dos 20 principais portos do mundo .....	37
Tabela 10 – Projeção de movimentação de contêineres nos portos por região para 2005.....	38
Tabela 11 – Movimentação de contêineres no Brasil (em unidades).....	40
Tabela 12 – Comparação do conjunto das dez maiores empresas de navegação de contêineres .....	47
Tabela 13 – Volume e aumento (%) de contêineres movimentados pelos principais operadores portuários globais.....	51
Tabela 14 – Evolução dos navios porta-contêineres .....	55
Tabela 15 – Evolução das dimensões de arranjo do navio.....	55
Tabela 16 – Características dos navios utilizados no estudo Malacca-max.....	57

Tabela 17 – Quadro resumo da revisão bibliográfica sobre planejamento de berços de atracação .....	79
Tabela 18 – Características dos principais berços de terminais de contêineres do Brasil .....	97
Tabela 19 – Comparação entre cenários lidos do arquivo .....	107
Tabela 20 - Comparação entre cenários gerados pelo modelo.....	108
Tabela 21 – Relação do valor da chave e do tipo de distribuição .....	108
Tabela 22 - Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados lidos do arquivo e tipo de distribuição exponencial.....	109
Tabela 23 – Custo total do navio em fila na simulação de dados lidos do arquivo e tipo de distribuição exponencial.....	111
Tabela 24 – Valores da simulação para as distribuições: normal, triangular e uniforme para dados gerados .....	113
Tabela 25 – Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados para as distribuições: normal, triangular e uniforme .....	114
Tabela 26 - Custos do navio em fila por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados e tipo de distribuição exponencial .....	115
Tabela 27 - Custo total do navio em fila na simulação de dados gerados e tipo de distribuição exponencial.....	116
Tabela 28 – Comparação das distribuições Erlang na simulação de dados gerados.....	118
Tabela 29 – Quadro comparativo dos dados lidos do arquivo e gerados pelo modelo através de distribuição exponencial .....	119

## Lista de figuras

Figura 1 – Processo simplificado dos fluxos de transporte.....	5
Figura 2 – Abordagem sistêmica de um terminal de contêineres .....	6
Figura 3 – Divisão conceitual da área de operações de navios .....	7
Figura 4 – Evolução das exportações mundiais de 1950 a 2003.....	25
Figura 5 – Balança comercial brasileira de 1950 a 2003 .....	26
Figura 6 – Participação (%) do Brasil nas exportações e importações .....	26
Figura 7 – Exportações brasileiras por fator agregado.....	28
Figura 8 – Comércio oceânico mundial em % do valor total das cargas .....	32
Figura 9 – Utilização de contêineres dentro do transporte de carga geral .....	33
Figura 10 – Evolução do total de contêineres movimentados em TEU.....	35
Figura 11 – Movimentação de contêineres no Brasil.....	39
Figura 12 – Movimentação de contêineres no Brasil – 1995 a 2010 (em unidades) .....	40
Figura 13 – Níveis de fragmentação da indústria liners.....	48
Figura 14 – Desenho de projeto do Malacca-Max.....	54
Figura 15 – Evolução dos navios porta-contêineres .....	54
Figura 16 – Estreito de Malacca.....	56
Figura 17 – Custos por slot e TCE .....	57
Figura 18 – Custo de transporte entre Roterdã e Cingapura .....	58
Figura 19 – Encomendas efetuadas de novos navios por tamanho em milhares de TEU.....	59
Figura 20 – Capacidade de navios porta-contêineres por ano de construção .....	60
Figura 21 – Tendência de capacidade em TEU .....	61
Figura 22 – Capacidade e comprimento.....	61

Figura 23 – Capacidade e calado .....	62
Figura 24 – Evolução de portêineres.....	65
Figura 25 – Ilustração de um twin pick.....	65
Figura 26 – Ilustração de um tandem lift para contêineres vazios.....	65
Figura 27 – Ilustração de um tandem line.....	66
Figura 28 – Decréscimo da capacidade técnica de movimentação de portêineres em grandes navios.....	66
Figura 29 – Operação simultânea bombordo e boreste.....	67
Figura 30 - Fluxo simplificado de LEGATO e MAZZA (2000) .....	82
Figura 31 - Fluxo simplificado de CARDOSO e TELES (1997) .....	83
Figura 32 – Blocos do modelo da simulação em ARENA.....	87
Figura 33 – Menu da interface do modelo em EXCEL .....	89
Figura 34 – Descrição das variáveis e chaveamentos do modelo .....	89
Figura 35 – Entidades do primeiro bloco do modelo.....	90
Figura 36 - Entidades do primeiro bloco do modelo.....	91
Figura 37 - Entidades do primeiro bloco do modelo.....	91
Figura 38 - Entidades do primeiro bloco do modelo.....	92
Figura 39 - Entidades do segundo bloco do modelo.....	93
Figura 40 - Entidades do segundo bloco do modelo.....	93
Figura 41 - Entidades do segundo bloco do modelo.....	94
Figura 42 - Entidades do segundo bloco do modelo.....	94
Figura 43 - Entidades do segundo bloco do modelo.....	95
Figura 44 – Entidades do terceiro bloco do modelo .....	95
Figura 45 – Dados utilizados na simulação.....	98



Figura 46 – Resultados da simulação.....	100
Figura 47 – Resultados de log do navio.....	101
Figura 48 – Guia com os cenários dos dados iniciais.....	102
Figura 49 – Guia com os resultados dos cenários.....	103
Figura 50 – Resultado dos testes de aderência dos intervalos de chegada.....	104
Figura 51 – Gráfico dos intervalos de chegadas.....	105
Figura 52 – Resultado dos testes de aderência dos intervalos de atendimento.....	106
Figura 53 – Gráfico de atendimentos.....	107
Figura 54 – Comparação das curvas exponenciais para dados lidos do arquivo.....	112
Figura 55 - Comparação das curvas exponenciais para dados gerados.....	117
Figura 56 - Comparação das distribuições Erlang de dados gerados na simulação.....	118

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem como finalidade apresentar o problema atual de planejamento de berço em terminais de contêineres, por meio de análise de regras de atracação de dados reais de chegada de navios; buscar a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila e delinear os tópicos dos demais capítulos.

A evolução do comércio e da carga containerizada no mundo e no Brasil tem forte efeito na necessidade de aumento do tamanho e da quantidade de navios, que por sua vez produz impactos na infra-estrutura dos terminais de contêineres.

No caso específico do porto de Santos, há três terminais especializados de contêineres, o Terminal 37 da Libra Terminais, o Terminal de Contêineres da Margem Direita (TECONDI) e o terminal da Santos-Brasil/TECON, além de outros operadores portuários, tais como a Rodrimar e a Transchem que operam contêineres utilizando a limitada estrutura do cais público, competindo por berços nas reuniões de atracação da Autoridade Portuária e operando com guindastes de bordo dos navios ou com equipamentos do tipo MHC, o que restringe a performance das operações.

O volume de contêineres movimentado em 2004 no porto de Santos foi de 1.274.233 unidades, o que corresponde a 1.882.639 TEU; a taxa média de aumento anual dos últimos quatro anos foi de 20,87%. Dessa forma, os terminais de contêineres terão de tomar diversas providências para atender o crescimento da demanda, tais como:

- Aumento da capacidade nominal e operacional de armazenamento;
- Uso de equipamentos de movimentação que permitam maior adensamento das pilhas nos pátios de armazenamento;
- Redução do *dwell time* de contêineres na exportação e importação;
- Aumento da capacidade de recebimento e entrega de contêineres através dos seus *Gates*;
- Melhoria e regularidade da performance das operações de costado;
- Aumento do número médio de contêineres por escala;
- Aumento do número de contêineres movimentados por tampa removida;
- Alteração do nível de serviço exigido pelos clientes, especialmente pelos armadores, que atualmente determinam o nível de serviço que deve ser oferecido pelo terminal;
- Uso intensivo de ferramentas de tecnologia da informação para planejamento e gestão das atividades administrativas e operacionais de terminais de contêineres;
- Tentativa de simplificação dos processos aduaneiros;
- Maior acompanhamento sobre a chegada de navios e distribuição de janelas de tempo de atracação para evitar congestionamentos.

Sobre a questão de acompanhamento das chegadas de navios e congestionamento, que são partes integrantes do escopo desta pesquisa, cabe

ressaltar que terminais de contêineres são sistemas de filas em que os navios (clientes) são entidades atendidas com uma determinada distribuição de chegada e são alocados em berços especializados (servidores) que também atendem aos navios seguindo distribuições estatísticas e cuja disciplina de fila mais comum é FCFS.

Nesse caso a teoria de filas é clássica em afirmar (GONZALEZ; BOTTER, 2002) que para que ocorra a diminuição da fila deve-se atuar:

- no tempo de atendimento;
- no número de servidores; ou,
- na alteração do padrão de chegada.

Nesta dissertação serão tratadas as regras de atracação que alteram diretamente o padrão de chegada dos navios, visto que o tratamento dos outros dois fatores citados anteriormente, isto é, o número de postos de servidores e o tempo de atendimento, está restrito não apenas pelo emprego de tecnologia, mas pela necessidade de alteração de processos operacionais dos terminais, tais como: a melhoria e regularidade na performance de movimentação de descarga e embarque dos berços, o aumento da capacidade nominal e operacional de armazenamento de pátio, redução do índice de ocupação de berços, e por restrições físicas e contratuais postadas pelos programas de arrendamento das áreas.

Sobre a redução no tempo de atendimento, deve-se considerar alguns fatores de influência do cliente armador, tais como: a elaboração de um plano de bordo que permita uma divisão igualitária dos contêineres nos ternos de trabalho e equipamentos alocados no navio; isso evita situações de concentração de carga do

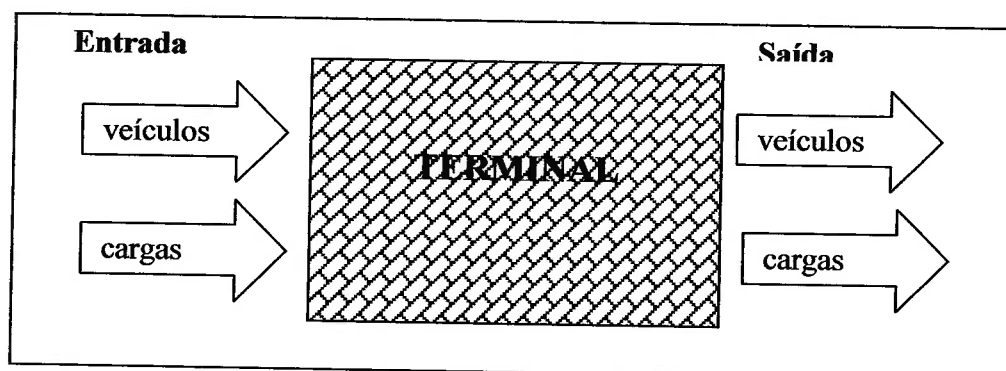
tipo: um terço de trabalho com 80 movimentos, espelhados entre dois a cinco porções e um segundo com 420 movimentos, concentrados em dois porções; alterações nos planos de descarga e embarque; redução do número de remoções via bordo e terra; a programação de recebimento de combustível e suprimentos do navio quando atracado; a necessidade de eventuais reparos a bordo; vistorias da seguradora, do afretador e de autoridades.

São também considerados outros elementos inerentes à operação de navios como a peação a bordo, possíveis avarias, *trimming* do navio, manobras no canal, maré e condições climáticas que interferem nas operações, como neblina e vento forte.

### **1.1 Abordagem sistêmica de um terminal de contêineres**

Conforme GUALDA (1995) os veículos, as vias e os terminais são os três subsistemas básicos que fundamentam os sistemas de transportes, não importando se eles são voltados para cargas, passageiros ou mistos.

Este trabalho está associado à análise de regras de atracação de dados reais de chegada de navios em terminais de contêineres, que podem ser vistos de forma geral como processadores de cargas (contêineres) e veículos de transportes (navios, caminhões e vagões) (MORLOK, 1978), conforme demonstra a figura 1, a seguir.

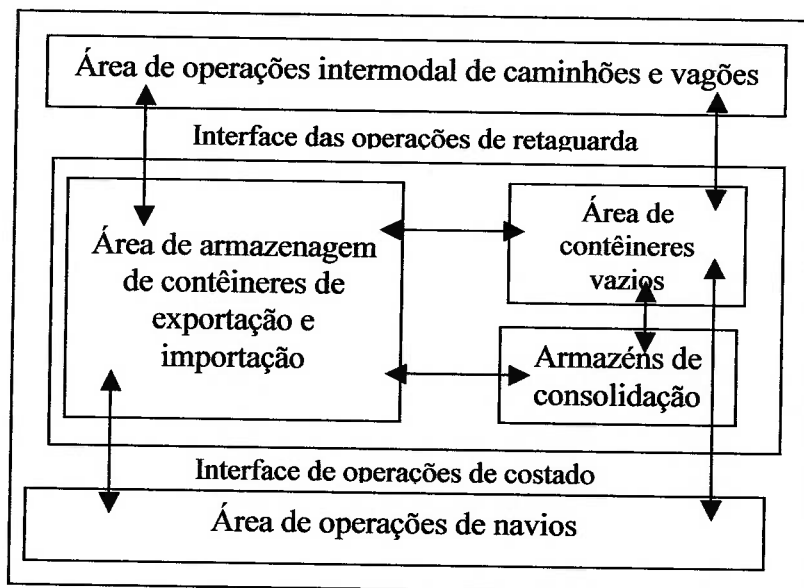


**Figura 1 – Processo simplificado dos fluxos de transporte**

MORLOK (1978) também indica a existência de um fluxo de transporte estendido no qual se adiciona à entrada: empregos, suprimentos e propriedades; e à saída: de poluentes, resíduos e ruídos.

De forma mais detalhada, um terminal de contêineres pode ser definido como um sistema aberto de fluxos de carga com duas interfaces externas (STEENKEN; VOß; STAHLBOCK, 2004), conforme demonstra a figura 2 na página seguinte.

Essas interfaces externas são: a interface de operações de costado com o embarque e descarga dos navios e a interface das operações de retaguarda de recebimento e entrega de contêineres de/para caminhões e vagões. Tais contêineres são armazenados em pilhas em uma área de pátio e segregados de acordo com suas características (serviço, navio, porto, comprimento, altura, faixa de peso, instruções especiais do tipo: carga *under deck*, *wether deck*) por meio de combinações e regras de armazenamento, de forma a otimizar o uso do espaço do pátio, reduzir o número de remoções e permitir um melhor seqüenciamento de embarque.

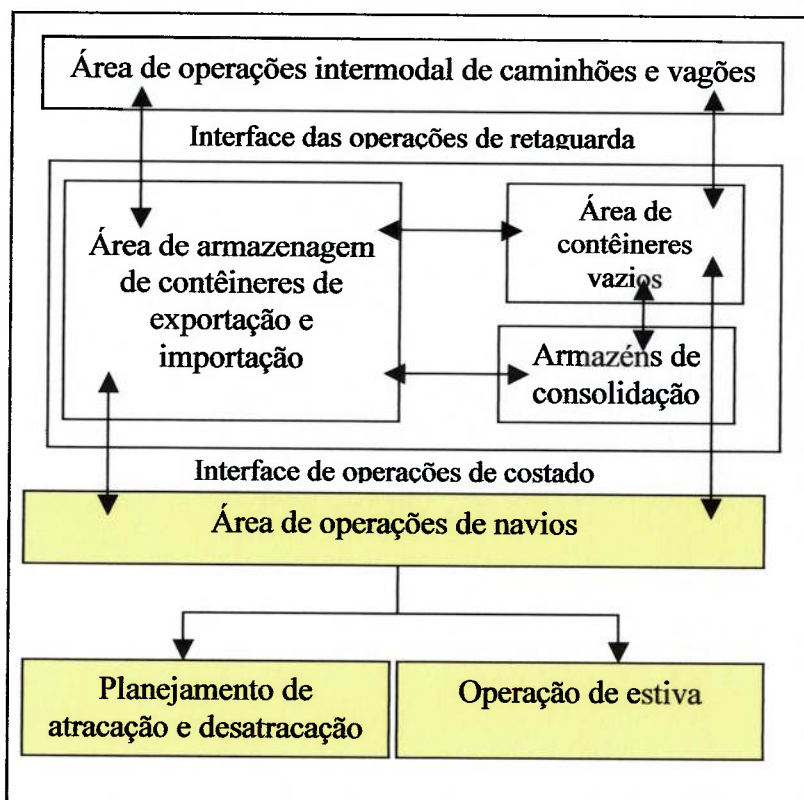


**Figura 2 – Abordagem sistêmica de um terminal de contêineres**

Conforme a definição anterior de STEENKEN, VOß, STAHLBOCK (2004) representada na figura 2, terminais de contêineres são sistemas e podem-se facilmente identificar três subsistemas ou áreas de operações:

- Área de operações intermodal de caminhões e vagões;
- Área de armazenagem de contêineres;
- Área de operações de navios.

O subsistema ou área de operações de navios apresenta duas divisões distintas, conforme a figura 3.



**Figura 3 – Divisão conceitual da área de operações de navios**

Uma divisão está relacionada ao planejamento de atracação e desatracação, no qual se encontram as atividades de registro da programação semanal ou mensal fornecida pelos armadores das chegadas de navios, a verificação de saída do navio com os portos antecessores para confirmação do ETA do navio, o acompanhamento e previsão da fila de espera dos navios na barra e áreas de fundeio e acompanhamento do término das operações dos navios atracados para correção de possíveis desvios de planejamento dos navios em fila.



A outra divisão está ligada à operação de estiva dos contêineres nos navios e suas interfaces com o manuseio em terra.

A divisão de planejamento de atracação e desatracação possui outras atividades de controle e contato com o ambiente de provedores de serviços tais como: empresas de praticagem, empresas de rebocadores, administração dos portos, órgãos gestores de mão-de-obra (OGMO), Capitania dos Portos local, Receita Federal e Polícia Marítima Federal, agências de fiscalização e inspeção sanitária do navio.

Contudo, a atividade mais importante dessa divisão de planejamento de atracação e desatracação é o acompanhamento das chegadas e atracações de navios, pois esse processo é o responsável pelo início de várias atividades operacionais em outros subsistemas ou áreas do terminal, como o seqüenciamento de embarque, além da programação e dos estudos de atribuição de janelas de tempo para as atracações.

## **1.2 Regras de chegada de navios nos terminais**

Para que o terminal de contêineres possa atender aos diversos clientes armadores que utilizam suas instalações com o nível de serviço desejado, diferentes questões de níveis de planejamento devem ser consideradas para cada um dos seus subsistemas ou áreas de operações.

Os níveis de planejamento e aspectos de tomada de decisão relacionados ao subsistema ou área de operações de navios, na divisão de planejamento de atracação e desatracação podem ser divididos em:

- **Estratégico:** definição da quantidade de berços a serem disponibilizados e tamanho de cais; profundidade e calado de projeto dos berços; forma de construção e projetos de ampliação de cais.
- **Tático:** o acompanhamento do crescimento do calado de navios que operam nos tráfegos atendidos pelo terminal; assim como avaliação conjunta com os clientes armadores de suas perspectivas de evolução no tamanho dos navios futuros, seguindo as tendências de ampliação do comércio internacional; manutenção da profundidade do berço por meio de acompanhamento dos programas de dragagem alinhados com os dados fornecidos pelos armadores e informações técnicas de projeto.
- **Operacional:** a alocação dos navios aos berços de acordo com as regras de atracação definidas entre o terminal e o armador. Essas regras de atendimento são normalmente FCFS, contudo o uso de janelas de tempo de atracação é cada vez mais solicitado pelos clientes e fornecido pelos terminais, o que permite melhor organização da distribuição de berços, equipamentos e ternos de trabalho. A área de armazenamento da carga do navio em questão e da ocupação linear de cais dos berços pelos navios em operação deve ser considerada.

Sobre os aspectos mencionados acima no nível de planejamento operacional, devem-se tecer algumas considerações, especialmente sobre a aleatoriedade nas chegadas dos navios que, por razões contratuais, são atendidos na maioria das vezes por meio da disciplina FCFS e também sobre a alocação de navios por metro linear de cais, tanto dos navios que irão atracar como dos navios que estão atracados.

O porto de Santos, como foi mencionado anteriormente, possui três terminais especializados de contêineres (T-37, TECONDI e Santos-Brasil) e vários operadores portuários que utilizam a infra-estrutura de cais público.

Os terminais especializados em contêineres possuem na sua maioria cais privativos, contudo existem contratos de arrendamento em que a área de armazenagem é privativa, mas o cais é público. Dessa maneira, os terminais solicitam de forma eletrônica, na Supervia de Dados a Requisição de Atracação Portuária (RAP), informações sobre o navio que irá atracar, qual o berço ocupado e os cabeços de amarração.

Os operadores portuários que utilizam a infra-estrutura do porto organizado precisam participar da reunião de atracação realizada na autoridade portuária, para disputar a prioridade de atracação e a disponibilidade nos berços públicos. Cabe ressaltar que o número de navios e operadores nessa situação foi reduzido significativamente após o processo de arrendamentos das áreas portuárias.

Há casos como o do Terminal 37 da Libra Terminais, no porto de Santos, que possui dois contratos de arrendamento: um contrato referente à área do armazém 37 e outro das áreas dos armazéns 34, 35 e armazém XXXVI e seus respectivos pátios

contíguos. No caso do contrato do armazém 37, a área de retaguarda é privativa, mas o cais é público, contudo esse cais tornou-se preferencial, isto é, atracam apenas navios que possuem contrato operacional com o terminal.

Tais atracções, seja em cais públicos ou privativos, procuram respeitar a ordem de chegada dos navios, sua prioridade e condição de atracção, isto é, janela de tempo estabelecida entre o armador e o terminal e ocupação linear de cais.

Em algumas situações, os berços ocupados pelos navios que estão em operação não permitem a atracção do primeiro navio em fila, nesses casos, o que normalmente ocorre é a tentativa de violação ou relaxação da fila. O terminal procura um dos navios em fila que atenda à condição de comprimento de berço e cuja somatória de tempos (navegação, manobra, atracção, operação e desatracção) seja menor ou igual ao do navio atracado, o que restringe a atracção do primeiro navio em fila.

### **1.3 Propósito e objetivo da dissertação**

O objetivo desta dissertação é apresentar o problema de planeamento de berço em terminais de contêineres por meio de uma análise de regras de atracção de dados reais de chegada de navios e introduzir um estudo de janela de tempo oferecida pelo terminal ao armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila.

Janela de tempo de atracação é um período de tempo em horas oferecido pelo terminal ao armador num determinado dia para que este atraque o seu navio com a garantia de reserva de berço para atracação. Isso garante o pagamento de penalidades pelo terminal caso o navio chegue na janela determinada e não possa atracar em virtude de não haver berço ou espaço de cais disponível.

As situações contempladas na análise de regras de atracação de dados reais de chegada dos navios, no modelo a ser apresentado, são as seguintes:

- O navio chega antes da janela de tempo acordada. Nesse caso, armador arcará com todos os custos de espera até o início de sua janela de tempo, e o terminal poderá ou não atendê-lo antes do início da sua janela de tempo, dependendo da disponibilidade e da programação de seus berços.
- O navio chega dentro (durante) da janela de tempo. Nessa situação, o terminal deve conceder a atracação imediata do navio em um berço que atenda às suas características de comprimento (LOA) e calado. Se não for possível a atracação do navio em virtude de problemas operacionais (exemplos: atraso nas programações do navio atracado, falta de carga no costado, quebra de equipamento de operação de cais ou retaguarda) com os navios anteriores, todos os custos da espera do navio da vez são de responsabilidade do terminal, independente do ocorrido.
- Por último, quando o navio chega após a janela de tempo estipulada, o terminal está livre das penalidades de espera e atenderá esse navio quando houver espaço na programação dos berços ou for possível violar ou relaxar

a fila, isto é, atracar o navio desde que atenda às condições de comprimento de berço e cuja somatória de tempos seja menor ou igual à do navio atracado.

Não serão consideradas como restrição no modelo as condições de calado ou situações em que o armador chega antes ou dentro da janela e solicita esperar na barra, em virtude de estar aguardando carga de exportação programada e ainda não depositada no terminal pelo exportador.

O conceito de janela de tempo apresentado e suas conseqüentes regras de atracação visam a estabelecer uma adequação dos navios a um novo padrão de chegadas, cujo intervalo entre navios consecutivos apresente menor dispersão de desvio.

Reportando novamente à teoria de filas, esta proposta pretende que a distribuição de chegadas de navios busque ou se aproxime de um valor determinístico.

O objetivo é testar por meio de modelagem o que foi descrito anteriormente, buscando demonstrar qual a janela ótima para diferentes tipos de distribuição de chegadas de navios, tais como: Exponencial, Erlang 2 , Erlang 3, Erlang 4, normal, triangular e uniforme.

Além da indicação de qual a janela de tempo ótima, busca-se indicar também os custos dos navios em fila para o terminal e para o armador do navio.

## 1.4 Apresentação do trabalho

A análise do transporte marítimo internacional atual não pode ser realizada sem especial destaque ao transporte de contêineres, cujo surgimento se deveu à necessidade de movimentar um volume maior de cargas de forma mais eficiente e eficaz, isto é, com custos e recursos menores e com alto nível de serviço respectivamente.

Um nível de serviço significativo para o transporte de contêineres é o tempo porta-a-porta, que foi reduzido para diversas mercadorias ao longo do tempo.

Conforme estudos de 1998, da *International Association of Ports and Harbours* (IAPH), as principais tendências logísticas e de tecnologia do setor de contêineres são:

- o aumento da carga de *transshipment* e da cabotagem;
- o problema do *imbalance* de contêineres (conforme demonstra a tabela 1);
- o aumento da capacidade e tamanho dos navios e, conseqüentemente, a necessária adequação dos terminais de contêineres a estes;
- as novas configurações das linhas de navegação e operadores portuários;
- uma maior regularidade e confiabilidade dos *schedules* dos navios nos portos por meio do uso de janela de tempo de atracação e, finalmente,

- o real objetivo que é a busca pela redução dos custos por contêiner transportado.

**Tabela 1 – O problema do *imbalance* em milhões de TEU**

Principais Rotas Leste Oeste	1998	Estimativa para 2002	Imbalance	
			1998	2002
América do Norte – Ásia W *	3,7	4,4		
Ásia – América do Norte E **	5,4	6,8	1,7 E	2,4 E
Ásia – Europa W	3,2	4,2		
Europa – Ásia E	2,8	3,7	0,4 W	0,5 W
Europa – América do Norte W	3,0	3,6		
América do Norte – Europa E	2,3	2,7	0,7 W	0,9 W

\* W – no sentido leste/oeste, \*\* E – no sentido oeste/leste

Fonte: *Standard & Ports DR*

As tendências anteriormente citadas apenas se tornaram realidade no Brasil após as reformas e a modernização do setor portuário, que foram iniciadas com a promulgação e a implementação da lei nº 8.630 de 25/02/1993, denominada Lei de Modernização dos Portos, que obrigava a inserção do operador portuário privado, arrendamento das áreas do porto e reestruturação das Companhias Docas.

Entre os objetivos da lei nº 8.630 e do programa de desestatização portuária estavam:

- a transferência, do setor público para o privado da prestação de serviços portuários. Segundo ROBINSON (1985), a infra-estrutura implantada para contêinerização no Brasil era inadequada e deficiente para atendimento das exigências dos armadores;
- fomentar a economia de mercado e a concorrência;



- ampliação de investimentos no setor em infra-estrutura, tecnologia da informação e equipamentos de manuseio de carga de costado (limitado na sua maioria aos guindastes/recursos de bordo do navio) e retaguarda e, conseqüentemente, melhoria na qualidade dos serviços e redução dos preços aplicados.

De acordo com BOTTER (1996), 70 a 75% dos custos de movimentação de contêineres estão em terra. A tabela 2 apresenta o valor do preço *handling* em diversos portos no mundo em 1998.

Segundo dados da Associação Brasileira dos Terminais de Contêineres de Uso Público (ABRATEC), nos últimos cinco anos foram investidos aproximadamente US\$ 435 milhões em construção e melhorias dos terminais de contêineres no Brasil, houve um aumento médio de produtividade de 463% e ocorreu uma redução média de 75% nos preços cobrados por contêiner movimentado.

Isso faz com que os valores de movimentação (*handling*) cobrados pelos terminais já atinjam valores de mercado internacional, que são atualmente da ordem de US\$ 120,00 a US\$ 180,00.

**Tabela 2 – Valor do *handling* no principais portos do mundo em 1998**

Porto	Custo US\$ / TEU
Cingapura	117,00
Manilla	118,00
Antuérpia	120,00
Roterdã	156,00
Le Havre	169,00
Pusan	175,00
Hamburgo	182,00
Barcelona	211,00
Montreal	212,00
Livorno	219,00
Los Angeles	256,00
Valparaiso	202,00
Buenos Aires	320,00
Santos	461,00

Fonte: *Drewry Shipping Consultant*

KIA, SHAYAN e GHOTB (1999) afirmam que, em média, um navio porta-contêineres gasta aproximadamente 60% do seu tempo atracado em portos com custos diários que chegam a US\$ 65.000; BRINATTI (1985) explica que um dos fatores de maior influência sobre o custo do transporte marítimo é o tempo de permanência do navio no porto e demonstra isso de forma simples, por meio da curva do custo de transporte de uma viagem redonda em função do índice de rotatividade  $K$ , definido como:

$$K = \frac{T_m}{T_m + T_p}$$

Em que  $T_m$  é o tempo navegando no mar e  $T_p$  é o tempo nos portos (NOVAES apud BRINATTI, 1985). Contudo, a variável tempo nos portos ( $T_p$ ) pode e precisa

ser decomposta de forma mais detalhada. QUEIROZ JÚNIOR (1998) define os dispêndios médios de tempo desde o momento em que o navio recebe autorização para atracar até o momento em que ele desatraca:

- **Tempo de Acesso Marítimo:** é o tempo da área de fundeio até a área de manobra na Bacia de Evolução.
- **Tempo de Manobras de Atracação e Desatracação:** é o tempo de transferência da Bacia de Evolução para o berço de atracação e vice-versa.
- **Tempos de Preparação para Operação:** o tempo despendido para a abertura de porões, licenciamento sanitário e desembarço e de preparação para desatracação.
- **Tempo de Efetiva Operação de Carga/Descarga:** é variável de acordo com a quantidade de contêineres, a capacidade do equipamento de manuseio e a eficácia do trabalho.
- **Tempo de Interrupções do Trabalho por Razões Extemporâneas (motivos diversos),** tais como: falta de material de trabalho, atrasos involuntários, pequenos acidentes, entre outros.

Entretanto, essa decomposição do tempo nos portos é incompleta, uma vez que não faz menção ao tempo de espera na barra para atracar e pode ser decomposta da seguinte forma:

- **Tempo de Espera na Barra (Teb):** é o tempo que o navio fica esperando disponibilidade de berço na barra.

- **Tempo de Acesso Marítimo (Tam):** pode ser significativo, dependendo do terminal e do porto. Há exemplos de terminais em Antuérpia, na Bélgica, cujo tempo de navegação entre os *locks* é superior a 7 horas.
- **Tempo de Manobras de Atracação e Desatracação (Tmad):** é o tempo gasto de transferência da Bacia de Evolução para o berço de atracação e vice-versa.
- **Tempo de Operação do Navio (Ton):** pode ser compreendido como a somatória dos tempos de preparação para a operação (abertura de tampas, *lashing*, entre outros), Tempo de Efetiva Operação de Embarque/Descarga e o Tempo de Interrupções por Razões Extemporâneas ou a Somatória de Tempos de Paralisações.

Os tempos acima descritos merecem algumas considerações: o Tempo de Acesso Marítimo (Tam) e o Tempo de Manobras de Atracação e Desatracação (Tmad) não sofrem influência direta do terminal, mas de provedores de serviços do porto, tais como as empresas de praticagem e rebocadores.

O Tempo de Operação do Navio (Ton) tem seu conceito diferenciado entre terminais e armadores. Para alguns, o tempo de operação efetiva do navio dá-se a partir da primeira até a última amarra, para outros é o tempo da primeira até a última lingada e obviamente varia de acordo com a quantidade de contêineres a serem movimentados.

O Tempo de Espera na Barra (Teb) tem sido fruto de discussões atuais e de inclusões de cláusulas contratuais entre terminal e armadores, com exigência destes

de atracação do navio na chegada ou espera máxima de duas horas e, mais recentemente, do uso de janelas de tempo para atracação, o que tem causado significativas alterações no processo de planejamento de berço.

### **1.5 Motivação para a pesquisa**

A impossibilidade de programarem-se com exatidão as chegadas de navios aos portos e terminais é um problema que passa por uma fase de transição no país e no mundo.

O processo era considerado até então estocástico, em virtude da aleatoriedade na chegada dos navios e dos enormes atrasos em filas. Conforme demonstram os dados da circular 004 de 10 de janeiro de 1996, do Centro Nacional de Navegação Transatlântica (CNNT), na tabela 3, até o mês de agosto deste mesmo ano existe a aproximação de um perfil determinístico com o uso de janelas de tempo de atracação pelos diversos terminais que operam determinados navios e serviços e também com a passagem das operações portuárias para os terminais privados, conforme mostrado na tabela 3 nos meses de setembro a dezembro de 1996.

O processo de planejamento de berços tornou-se ferramenta importante não apenas em termos de planejamento operacional, mas também de planejamento estratégico para os terminais.

**Tabela 3 – Dados de demora na atracação e produtividade do TECON do Porto de Santos em 1995**

Mês	Total de navios	Total de Unidades	Média de Unidade por navio	Média de dias de espera por navio	Média de movimentos por hora por navio
jan.	50	17.349	347	1,96	10,20
fev.	40	17.414	435	2,00	9,19
mar.	29	13.931	480	6,41	8,36
abr.	36	18.876	524	4,50	9,29
maio	34	16.641	489	4,66	9,27
jun.	37	16.614	449	5,16	11,49
jul.	37	16.681	451	4,70	10,37
ago.	41	16.513	403	6,16	9,30
set.	40	14.862	372	1,58	14,68
out.	50	18.104	362	1,66	13,00
nov.	52	18.409	354	1,54	13,85
dez.	50	17.653	353	1,13	14,00

Fonte: *Centro Nacional de Navegação Transatlântica (CNNT)*

A motivação para pesquisa surgiu da necessidade de aplicação prática direta do planejamento de berço no processo de tomada de decisão dos terminais de contêineres do tipo multiusuário, no que tange à análise de regras de atracação de dados reais de chegada e desenvolvimento de modelos de comparação de Filas FCFS e Janela de Tempo de Atracação. Também é fundamental nesse processo a busca da melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando os custos dos navios em fila.

As simulações foram realizadas com auxílio do software ARENA® e do modelo aplicado para um terminal de contêineres do tipo multiusuário com dois berços de atracação, no qual deverão ser respeitadas as distâncias mínimas de atracação entre navios (mínimo de 20 metros) e os navios não poderão atracar de

“forma negativa”, isto é, cada um deve estar com seu LOA totalmente acomodado em um dos berços ou dependendo do tamanho do navio em mais de um berço.

A simulação levará em conta a data e hora de chegada real na barra (ATA) e de atracação (ATB) e a data e hora de saída do navio (ATS).

## **1.6 Delineamento do trabalho**

O capítulo 2 tratará dos aspectos relacionados à caracterização do problema e a apresentação do ambiente onde estão inseridos os terminais de contêineres, tais como a evolução do comércio internacional e da containerização; o aumento da participação do Brasil nesse escopo; a adequação da indústria marítima, o crescimento dos navios e os respectivos impactos nos terminais.

No capítulo 3 será feita revisão da bibliografia relacionada ao problema proposto e serão discutidos os seguintes temas: tipo de planejamento de berços de terminais de contêineres e problema de alocação de berços.

No capítulo 4 será apresentada a descrição do modelo e serão feitos comentários sobre a interface de dados.

No capítulo 5 será demonstrada a análise dos dados de dois cenários: um de dados de chegadas reais dos navios, lidos diretamente do arquivo, e outro com dados gerados pelo modelo.

E, finalmente, no capítulo 6 serão, expostas as conclusões e recomendações da pesquisa.



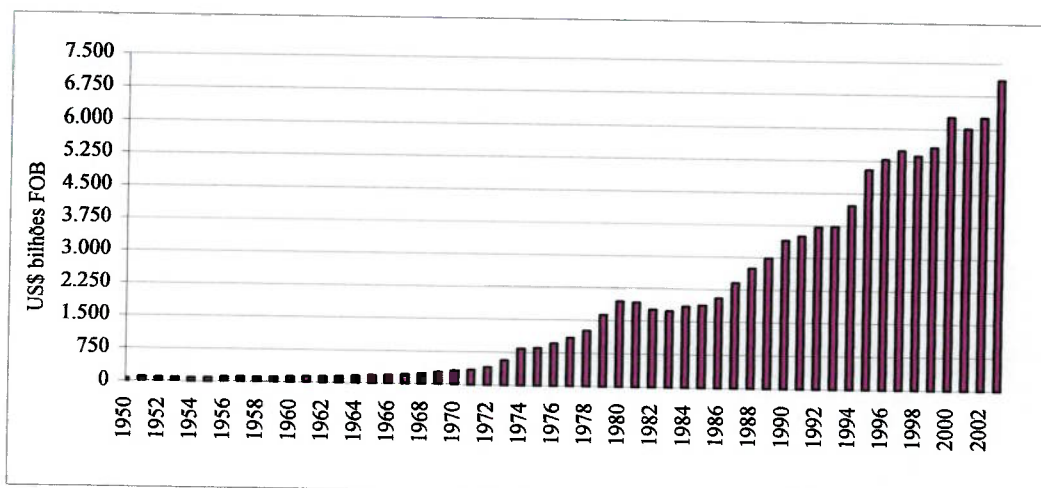
## **CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO CONTEINERIZADO E IMPACTOS EM TERMINAIS DE CONTÊINERES**

Neste capítulo é realizada uma apresentação da evolução do transporte marítimo containerizado, tendo como base a evolução do comércio internacional e da adequação da indústria marítima ao crescimento dos navios, com o objetivo de discutir os impactos de tais processos nos terminais de contêineres.

### **2.1 Evolução do comércio internacional e participação brasileira**

Nos últimos 30 anos, assistiu-se ao aumento da competição internacional, liderada pelas empresas norte-americanas, seguidas pelas alemãs e japonesas, que realizaram uma verdadeira revolução nos processos de produção e qualidade.

O processo de globalização e a abertura do comércio mundial, associados à expansão das cadeias logísticas e à alteração do ciclo de vida e desenvolvimento de produtos, impulsionaram não só o crescimento do comércio, mas também da economia internacional que, de acordo com MAIA (2001), é muito abrangente e engloba o comércio internacional (exportações e importações), prestações de serviços e movimentação de capitais. A figura 4 mostra a evolução das exportações mundiais a partir de 1950.



Fonte: MDIC/SECEX

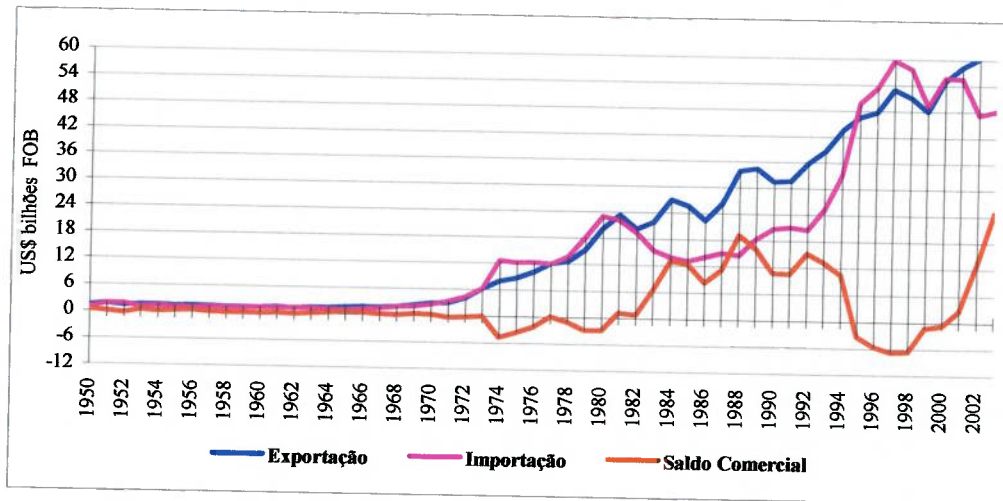
**Figura 4 – Evolução das exportações mundiais de 1950 a 2003**

Estima-se que, em 2004, o produto interno bruto do mundo tenha crescido 5%, a maior taxa de crescimento desde meados da década de 70. A China foi a grande responsável por esse impulso, com índices de 9% que beneficiaram países exportadores de produtos básicos, tais como o Brasil. Atualmente 5,6% do total das exportações brasileiras vão para a China. A política de incentivo das exportações do governo brasileiro apresentou resultados excepcionais em 2004, foram US\$ 96,5 bilhões em vendas internacionais e um superávit de balança comercial de US\$ 33 bilhões, 32% a mais que em 2003 (NAIDITCH, 2004).

Tal política de incentivo às exportações mudou o perfil do comércio exterior brasileiro de importador para exportador e tem demonstrado um pequeno aumento na participação do Brasil nas exportações mundiais, a partir de 2000, conforme mostram as figuras 5 e 6.

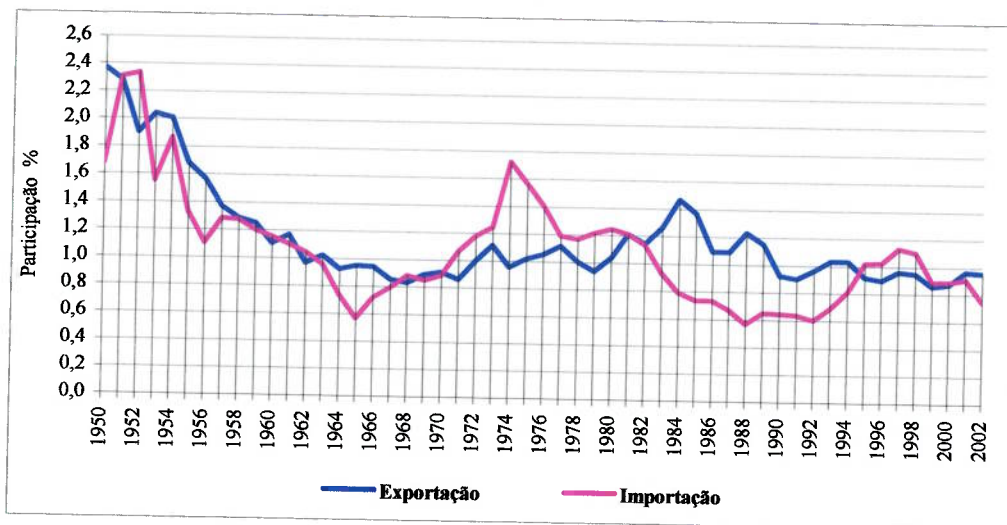
Contudo, há 13 categorias de produtos que o país importa mais que exporta. Esses produtos apresentaram em 2004 um saldo negativo de aproximadamente US\$

25 bilhões. Entre essas categorias temos: petróleo, carvão e petroquímicos, equipamentos eletrônicos e produtos químicos.



Fonte: MDIC/SECEX

**Figura 5 – Balança comercial brasileira de 1950 a 2003**



Fonte: MDIC/SECEX

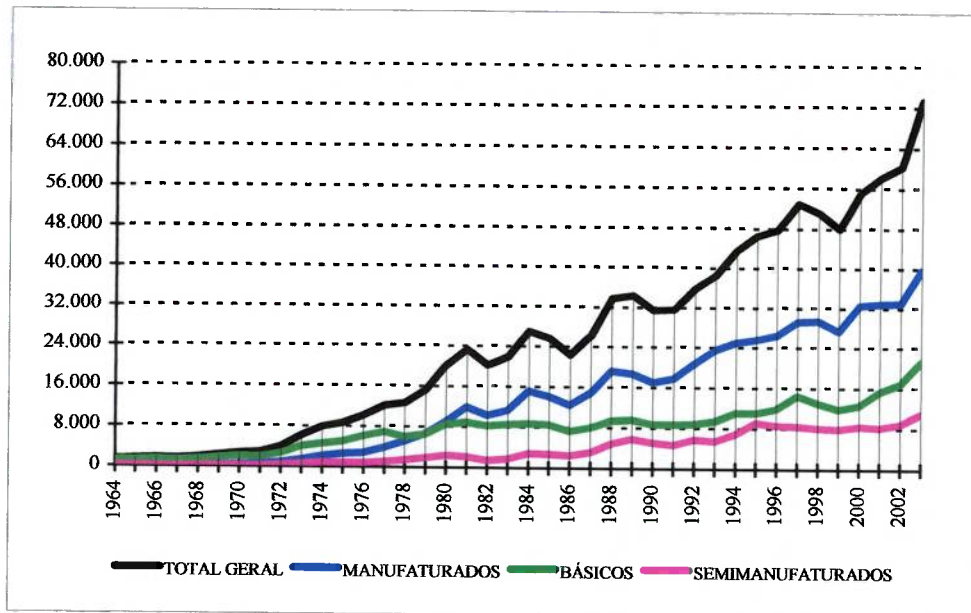
**Figura 6 – Participação (%) do Brasil nas exportações e importações**

É importante destacar que esse aumento nas exportações ocorreu por diversos motivos, tais como: os preços favoráveis no mercado internacional e o câmbio atual;

crescimento inédito de alguns países; uma notória diversificação de produtos dentre os quais 1.700 itens mostraram crescimento de 100% em relação ao ano de 2003; incentivos governamentais como a criação do Programa de Incentivo à Produção Exportável de Pequenas e Médias Empresas (PROPEX) que visa a facilitar o financiamento da produção de empresas menores com linhas de crédito viabilizadas pelo tesouro nacional (de acordo com o IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, existem no Brasil 4,6 milhões de empresas, das quais 99% são micro e pequenas, sendo responsáveis por 20% do PIB, Produto Interno Bruto); a revisão do seguro de crédito nas operações com Convênio de Crédito Recíproco (CCR) que tem como objetivo reduzir o acúmulo de custos de garantia para exportação, que estava prejudicando a competitividade das exportações brasileiras. As limitações de uso do CCR também foram revogadas.

Vale ressaltar outro aspecto, esse resultado não é apenas fruto de produtos considerados básicos e do agronegócio (carne, frutas, fumo e café, apenas para citar alguns), mas do aumento de produtos semimanufaturados (ferro, aço, celulose, couro) e principalmente dos manufaturados (autopartes, cerâmicos, calçados, pneus e câmaras, tratores, ônibus, caminhões, entre outros).

A figura 7 apresenta a evolução dos produtos básicos, semimanufaturados e manufaturados das exportações brasileiras de 1964 a 2003.



Fonte: MDIC/SECEX

**Figura 7 – Exportações brasileiras por fator agregado**

Conforme BAUMANN; CANUTO; GONÇALVES (2004) deve-se notar que o comércio internacional tem se caracterizado de forma crescente pela participação de produtos industrializados na pauta de exportação, tanto em países desenvolvidos quanto em países considerados em desenvolvimento.

A recente evolução da estrutura de comércio pode ser visualizada na tabela 4, que é ilustrativa do argumento de que o crescimento do volume de transações internacionais nas últimas décadas esteve associado ao aumento considerável do comércio de produtos industrializados.

**Tabela 4 – Evolução da estrutura (%) do comércio mundial por grupo de países e tipo de produtos**

Ano	1980	1990	1995	2000
<b>Países industrializados</b>				
Manufaturas	71	78	79	80
Alimentos	11	9	9	7
Matérias-primas agrícolas	4	3	3	2
<b>Países em desenvolvimento</b>				
Manufaturas	20	54	67	69
Alimentos	12	12	10	7
Matérias-primas agrícolas	4	3	3	2

Fonte: UNCTAD (2002), UNCTAD (2003)

Dos US\$ 96,5 bilhões em vendas internacionais indicados anteriormente na página 25, US\$ 52,9 bilhões foram em produtos manufaturados, US\$ 13,6 bilhões em semimanufaturados, US\$ 28,5 bilhões em produtos básicos e US\$ 1,5 bilhão em outros. No Brasil, podemos visualizar essa composição entre produtos primários e industrializados nas pautas de exportação e importação por meio da tabela 5 do período de 1965 a 1999.

**Tabela 5 – Composição da estrutura de comércio no Brasil (%)**

Ano	1965	1980	1999
<b>Exportações</b>			
Produtos primários	74,4	28,9	18,3
Produtos industrializados	24,9	69,7	80,0
Outros	0,7	1,4	1,7
<b>Importação</b>			
Produtos primários	36,6	50,7	13,4
Produtos industrializados	63,0	49,3	86,6
Outros	0,4	0,0	0,0

Fonte: CEPAL (2001)

Dentre os maiores exportadores brasileiros atualmente, podemos citar a Seara Alimentos, Perdigão Agroindustrial, General Motors, Pirelli Pneus, Goodyear, Cia. Suzano de Papel e Celulose, Frangosul, Friboi, Souza Cruz, VCP, Sadia, Meritor Brasil Tabaco.

Essas informações preliminares sobre a economia internacional e o comportamento da economia e comércio exterior brasileiro são importantes para demonstrar o crescimento do valor agregado de nossas exportações com produtos industrializados que são tradicionalmente transportados em contêineres. Cabe ressaltar que diversos produtos agrícolas também vêm migrando para dentro de contêineres, como açúcar, além dos já tradicionais produtos exportados em saca dentro de contêineres como o café.

Tais fatores possuem reflexos nas estratégias comerciais e operacionais dos armadores. A abertura do comércio da China aumentou não apenas suas relações com os países do ocidente, mas entre os países asiáticos, o que fez com que diversos armadores deslocassem navios porta-contêineres menores, que usualmente atendiam outros tráfegos como o da costa leste da América do Sul, para atender esse tráfego, ou, de acordo com a pauta de exportação, outros tipos de contêineres como, por exemplo: contêineres frigorificados (*reefers*) para carnes congeladas e frutas, contêineres *Plataformas*, *Flat Racks*, *Flat Collapsible*, *Open Top* para cargas com excesso, tais como: tratores, transformadores, etc.

Para os terminais de contêineres, que funcionam como um verdadeiro termômetro do comércio exterior (pois são as fronteiras entre países), a situação não é diferente, pois exige planejamento contínuo das áreas destinadas à exportação e à

importação, aumento do número de *slots* no pátio para um determinado serviço que sofreu acréscimo de carga. Como exemplo podemos citar as áreas destinadas a serviços do Extremo Oriente (*Far East*) ou de remanejamento de janelas de tempo de atracação de acordo com o tamanho do navio e volume de movimentação de contêineres por escala.

## **2.2 Evolução e perspectivas da movimentação de contêineres no mundo e no Brasil**

Dentro do setor marítimo, o mercado que mais cresce é o de transporte de cargas em contêineres e continuará crescendo, principalmente em razão dos seguintes fatores:

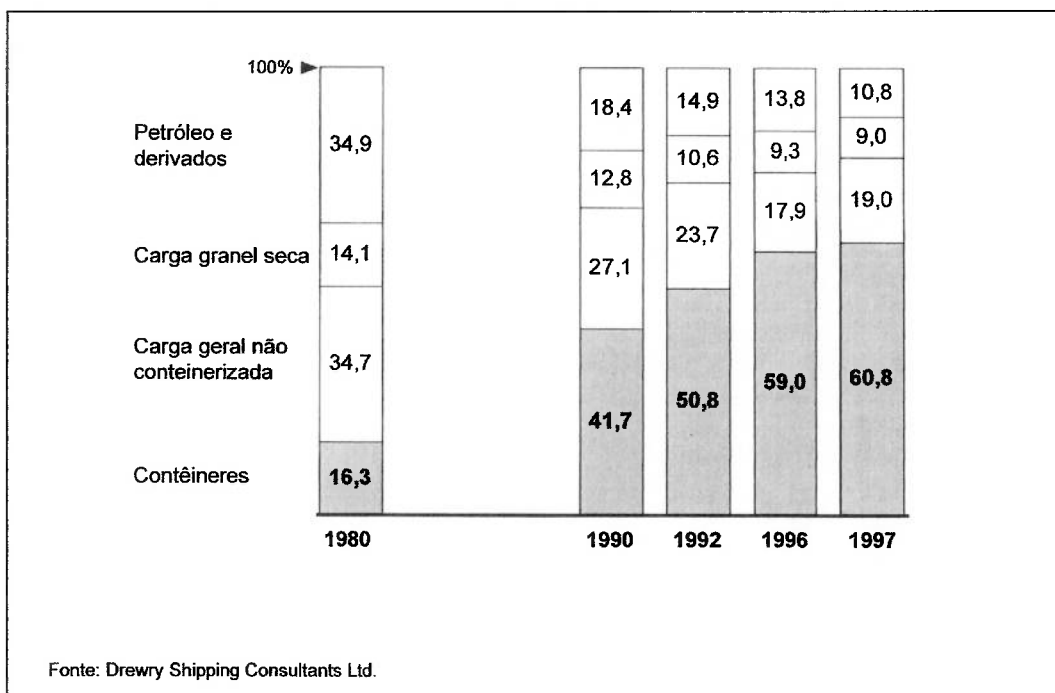
- Contínua expansão da contêinerização nos países desenvolvidos e em desenvolvimento;
- Aumento do comércio de mercadorias de maior valor agregado;
- Intensificação do processo de globalização e
- Crescimento no tamanho dos navios e conseqüente aumento de transbordo e dos serviços de navios *feeder*.

Em 1980, a porcentagem do valor total das cargas transportadas de forma contêinerizada era de 16,3%, 10 anos depois, em 1990, esse valor era de 41,7% e em



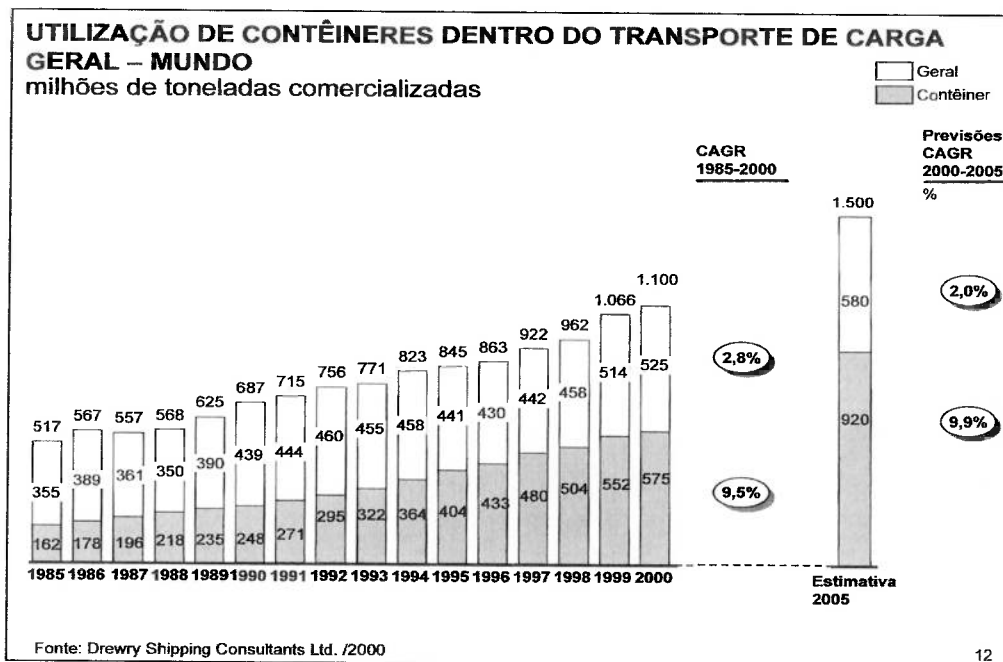
1997, este valor era aproximadamente 61%, conforme demonstra a figura 8. Estima-se que este valor aumente para 80% em países industrializados.

No Brasil, aproximadamente 95% das exportações são escoadas através dos portos e parcela significativa desse volume é transportada em contêineres.



**Figura 8 – Comércio oceânico mundial em % do valor total das cargas**

A figura 9 demonstra a relação de utilização de contêineres dentro do transporte de carga geral do mundo, em milhões de toneladas comercializadas desde 1985 e estimativas para 2005.



**Figura 9 – Utilização de contêineres dentro do transporte de carga geral**

A tabela 6 demonstra a evolução do desenvolvimento global da carga seca, a granel e da carga geral; assim como a estimativa da carga containerizada e sua participação no mercado de 1990 a 2001.

São ainda indicados os movimentos de contêineres nos portos em milhões de TEU e a porcentagem de contêineres vazios e de transbordo.

**Tabela 6 – Evolução global da carga geral e contêinerizada**

Ano	Total de carga seca	Total de carga a granel	Total de carga geral	Carga estimada em contêineres	% de container	Movimentos de contêineres nos portos *	% de contêineres vazios	% de contêineres de transbordo **
1990	2.253	1.566	687	250	36,5	87,8	20,2	18,3
1991	2.330	1.616	715	273	38,3	96,3	19,6	19,4
1992	2.360	1.605	756	298	39,5	105,9	19,8	20,0
1993	2.385	1.608	777	326	41,9	116,5	19,6	21,0
1994	2.478	1.655	823	369	44,8	130,7	18,4	21,6
1995	2.616	1.750	866	406	46,9	144,6	18,4	22,1
1996	2.641	1.769	872	434	49,7	157,2	19,3	22,8
1997	2.802	1.859	943	478	50,7	175,1	19,4	23,5
1998	2.854	1.867	987	501	50,8	189,5	21,6	24,0
1999	2.932	1.893	1.039	555	53,4	209,5	21,0	24,5
2000	3.098	2.016	1.082	622	57,5	235,9	20,9	25,0
2001	3.118	2.035	1.082	639	59,0	245,8	21,7	25,3

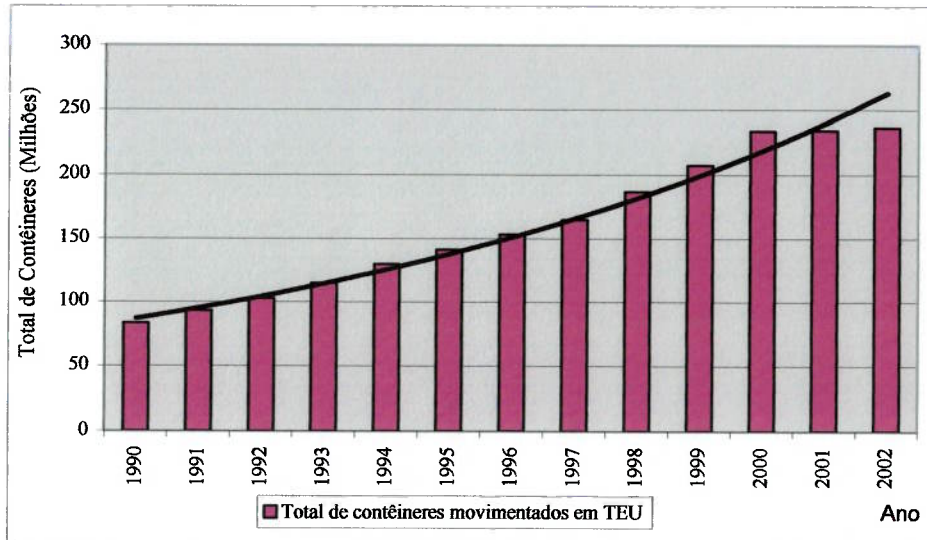
\* Em milhões de TEU (incluindo contêineres vazios)

\*\* Inclui contêineres vazios

Fonte: *Drewry Shipping Consultants e UNCTAD.*

Na figura 10, verifica-se o crescimento do volume de contêineres movimentados no mundo entre 1990 a 2002, em milhões de TEU e sua curva de tendência ascendente.

Em 12 anos, o volume movimentado de contêineres em TEUS praticamente triplicou no mundo.



Fonte: *Containerization Internacional*

**Figura 10 – Evolução do total de contêineres movimentados em TEU**

A tabela 7 é um quadro comparativo dos anos de 1990 e 2002 e mostra o crescimento por região do tráfego de contêineres nos principais portos do mundo e a tabela 8 demonstra a previsão de acréscimo de volume e projeção da movimentação de contêineres nos portos para 2005.

Há estimativas de crescimento da ordem de 50% sobre o volume mundial. Tal aumento foi observado em 1998 e é esperado para 2005, com taxas de crescimento de 5,5 a 7%, alcançando, segundo previsões, 417 milhões de TEUS movimentados em 2012.

**Tabela 7 – Comparativo do tráfego de contêineres por região de 1990 a 2002**

Ano	1990	2002
Região		
África	1.860.350	1.395.251
América Central e Caribe	2.923.260	6.711.717
América do Norte	1.264.429	34.332.778
América do Sul	1.474.490	3.290.471
Europa	24.496.495	48.318.234
Extremo Oriente	31.919.771	123.177.442
Índia e Oriente Médio	3.832.025	15.081.789
Oceania	1.534.354	4.303.890
Total movimentado	83.305.174	236.611.572

Fonte: *Containerization Internacional*

**Tabela 8 – Previsão de acréscimo de volume em milhões de TEU e projeção da movimentação de contêineres nos portos para 2005 por região**

Região	Projeção de acréscimo
África	3,4
América do Norte	7,8
América do Sul e Caribe	9,2
Europa Ocidental	23,7
Europa Oriental	1,0
Extremo Oriente	22,4
Sudeste Asiático	21,2
Sul da Ásia	4,9
Oceania (Australásia)	1,3
Oriente Médio	6,1
Total	101,0

Fonte: *Drewry Shipping*

A tabela 9 demonstra os 20 principais portos do mundo em movimentação de contêineres no ano base de 2000.

Nove destes 20 portos estão localizados na Ásia, seis na Europa, quatro nos Estados Unidos e um no Oriente Médio.

**Tabela 9 – Movimentação dos 20 principais portos do mundo**

Classificação	Porto	País	Volume em 2000
1	Hong Kong	China	18.100.000
2	Cingapura	Cingapura	17.040.000
3	Busan	Coréia do Sul	7.540.387
4	Kaohsiung	Taiwan	7.425.832
5	Rotterdam	Holanda	6.300.000
6	Shangai	China	5.613.000
7	Los Angeles	Estados Unidos	4.879.429
8	Long Beach	Estados Unidos	4.408.480
9	Hamburgo	Alemanha	4.248.247
10	Antuerpia	Bélgica	4.082.334
11	Shenzhen	China	3.993.000
12	Port Kelang	Malásia	3.206.753
13	Dubai	Emirados Árabes	3.058.866
14	New York/New Jersey	Estados Unidos	3.006.493
15	Felixstowe	Inglaterra	2.800.000
16	Bremerhaven	Alemanha	2.712.420
17	Gioia Tauro	Itália	2.652.701
18	Toquio	Japão	2.637.971
19	Tanjung Priok	Indonésia	2.476.000
20	San Juan	Estados Unidos	2.333.788

Fonte: *Cargo Systems – Top 100 contêiner ports*

A tabela 10 demonstra a projeção de movimentação de contêineres nos portos para o ano de 2005 em milhões de TEU e sua composição por região.

**Tabela 10 – Projeção de movimentação de contêineres nos portos por região para 2005**

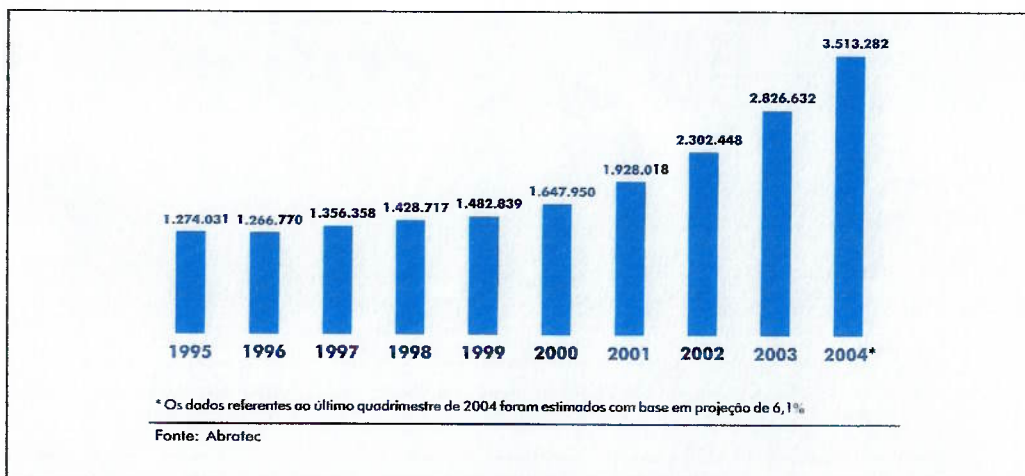
Região	Em milhões de TEU	Composição (em %)
Ásia	190,4	43,1
Europa Ocidental	100,9	22,8
América do Norte	56,8	12,9
América do Sul e Caribe	32,2	7,3
Oriente Médio	22,1	5,0
África	14,0	3,2
Sul da Ásia	13,5	3,1
Australásia	8,9	2,0
Leste da Europa	2,8	0,6
Total movimentado	441,6	100

Fonte: *Drewry Shipping Consultant*

No Brasil, de acordo com Associação Brasileira dos Terminais de Contêineres de Uso Público (ABRATEC), desde a privatização dos serviços portuários, há um crescimento contínuo na movimentação total de contêineres, que registra acréscimos de 17% em 2001, 19,4% em 2002, 22,8% em 2003 e 24,3% em 2004, refletindo o aumento das exportações.

Com isso os terminais de contêineres em 2004 terão movimentado mais de 3,5 milhões de unidades que, transformados em TEU, são aproximadamente 5 milhões (a relação de contêineres de 20' e 40' é de 1,45).

A figura 11 apresenta o crescimento da movimentação de contêineres no Brasil de 1995 a 2004, em unidades.



**Figura 11 – Movimentação de contêineres no Brasil**

A tabela 11 apresenta o mesmo período, de 1995 a 2004, da movimentação de contêineres em unidades dos 14 maiores portos no Brasil.

Destacam-se o porto de Santos, que continua na liderança de movimentação entre os portos brasileiros com aproximadamente 36,3 % da movimentação total, sendo o único porto brasileiro a configurar no ranking dos 100 maiores portos do mundo, estando na 54ª posição; o porto de Itajaí que praticamente dobrou sua movimentação de 2002 para 2004; o Ceará Terminal Operators (CTO) no porto de Pecém, administrado pela Maersk do Brasil e o porto de Sepetiba salta de 18,5 mil contêineres movimentados em 2003 para quase 166 mil unidades.



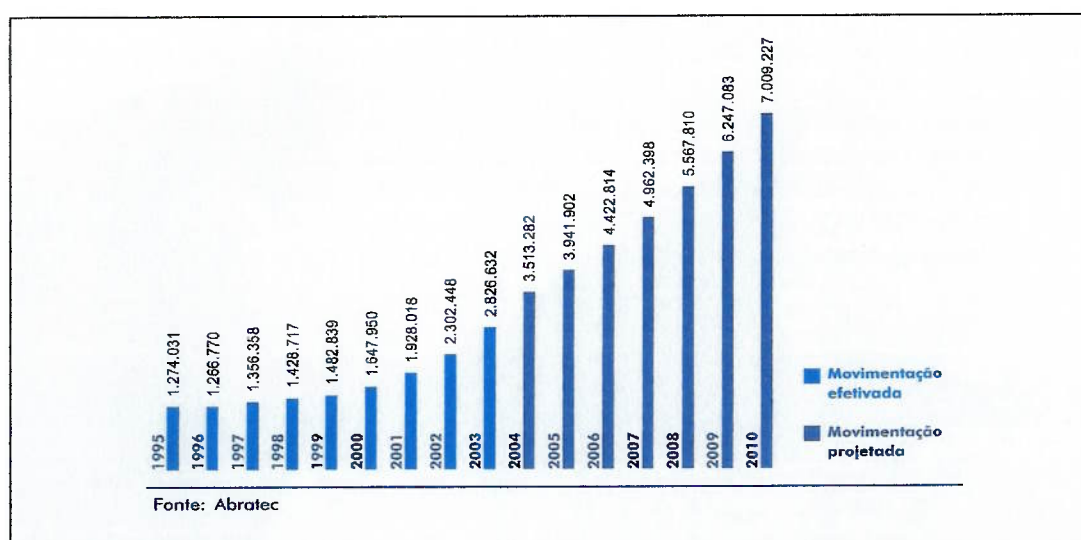
**Tabela 11 – Movimentação de contêineres no Brasil (em unidades)**

PORTO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*
Santos	591.882	547.430	580.592	564.948	546.972	554.263	713.760	836.511	1.040.642	1.274.233
Rio Grande	81.890	108.598	128.893	142.940	162.416	195.239	211.577	272.904	324.102	389.924
Itajaí	48.984	59.197	79.877	85.202	86.975	106.899	142.191	194.949	311.181	369.295
Rio de Janeiro	128.709	130.145	154.144	154.551	161.858	162.186	187.773	200.516	214.233	235.649
S. Fco. do Sul	55.485	87.239	64.888	78.348	96.489	112.012	112.328	159.986	187.925	198.956
Panorama	91.460	77.087	88.448	99.801	113.524	147.033	161.672	156.046	206.621	277.542
Vitória	45.652	57.181	49.400	82.853	87.309	80.528	92.987	124.133	92.989	131.618
Salvador	39.240	48.384	44.414	39.118	54.571	67.935	68.005	87.446	109.414	125.405
Suape+Recife*	22.731	29.326	42.406	52.701	46.738	59.665	71.392	73.413	95.565	96.559
Manaus	46.152	54.250	35.845	28.986	31.683	33.734	61.760	76.497	72.313	85.347
Fortaleza	20.498	25.523	30.674	36.412	35.979	46.592	36.540	47.537	49.042	56.136
Belém	24.709	27.296	17.478	19.025	28.263	29.559	28.928	31.885	23.402	16.750
Pecem	0	0	0	0	0	0	0	12.265	44.089	67.751
Sepefilba	0	0	0	0	0	4.743	10.925	12.994	18.510	165.953
Outros	76.639	15.112	39.299	43.832	30.112	32.562	28.180	15.366	36.606	22.165
BRASIL	1.274.031	1.266.770	1.356.358	1.428.717	1.482.839	1.647.950	1.928.018	2.302.448	2.826.632	3.513.282
Aumento Anual	na	-0,6%	7,1%	5,3%	3,8%	11,1%	17,0%	19,4%	22,8%	24,3%

\* Os dados referentes ao último quadrimestre de 2004 foram estimados com base em projeção de 6,1%

Fonte: Abratec

As estimativas da ABRATEC indicam que a movimentação de contêineres supere os sete milhões de unidades até 2010. E esses números são baseados na projeção de 12,2% , que é a taxa média de crescimento desde 1995. Tal projeção é demonstrada na figura 12.



**Figura 12 – Movimentação de contêineres no Brasil – 1995 a 2010 (em unidades)**

Baseado em um cenário de rápidas e constantes mudanças da economia e política internacionais, somadas às novas tecnologias de movimentação e sistemas de comunicação, expansão da cadeia logística e do crescimento atual e projeções de aumento contínuo do volume da carga contêinerizada; THOMAS (2001) explica que a indústria marítima teve de se adequar, alterando o transporte regular de longo curso, com a formação de alianças e recentes aquisições, alteração na rotação de navios e portos, crescimento dos navios e alteração nos seus projetos, surgimento de novos equipamentos de movimentação e operação e, conseqüentemente, alteração nos terminais, nas práticas comerciais e procedimentos alfandegários, novos sistemas de Tecnologia da Informação e Comunicação (ICT) e os aspectos laborais. Devem-se adicionar a essas alterações os quesitos de meio-ambiente e segurança da carga, do navio e das instalações (*ISPS Code*).

### **2.3 Adequação da indústria marítima ao cenário atual – Organização das empresas do setor**

Basicamente podem-se dividir as organizações presentes no transporte marítimo contêinerizado em dois tipos: Tradicional ou Formal, em que há um alto grau de centralização nas decisões, uma divisão distinta no trabalho com alta especialização, muitos níveis entre a operação e a alta administração, muita formalidade na estrutura organizacional, baixos contatos no ambiente em que está inserida e comunicação formal e vertical dentro da empresa. O outro tipo é Orgânica,

de estrutura descentralizada, pouca distinção de setores especializados, poucos níveis hierárquicos, muitos contatos com meios externos e comunicação mais informal e horizontal, conforme BOTTER (1996).

A Drewry Shipping Consultants resume em seis os pontos principais de definição, tanto conceitual como organizacional nos quais as empresas de transporte têm de tomar decisões básicas:

- A questão da participação nas conferências;
- As vantagens de operar em aliança ou “solo”;
- A ordem de grandeza das operações e da organização;
- O equilíbrio entre os recursos próprios e terceiros;
- O tipo e o nível de serviço;
- As melhores rotas e frequências de operação.

Dentre as adequações sugeridas anteriormente por Thomas e pelos principais pontos indicados pela Drewry Shipping Consultants, podemos destacar a necessidade de uma nova organização das empresas da indústria marítima por meio de alianças e fusões, em que se destacam atualmente os armadores e operadores portuários.

De acordo com BOTTER (1996), o conceito de parceria na indústria dos transportes marítimos não é novidade. Essa estratégia já foi adotada no início da contêinerização, em virtude dos altos custos de implantação e da necessidade na distribuição das linhas de maior movimento. Tal processo marcou o chamado 1º ciclo

da containerização brasileira. Os últimos anos trouxeram a necessidade de pesados investimentos, tanto para os armadores como para os operadores portuários.

Essa nova fase de transição pode ser chamada de 2º ciclo da contêinerização, o qual apresenta as seguintes características:

- O estabelecimento dos tráfegos do extremo oriente para a Europa e América do Norte como os mais importantes;
- A busca de redução dos custos por contêiner transportado;
- A regularidade da operação e a devida cobertura dos portos que os clientes desejam.

Esse processo envolve a busca pela economia de escala que obrigatoriamente implica na necessidade de utilizar navios maiores e mais rápidos e, conseqüentemente, mais caros; a evolução dos terminais de contêineres e seus equipamentos; a formação de *joints services* para racionalização dos serviços mediante a organização por meio de acordos e alianças; fusões e aquisições e o aumento das operações de transbordo.

Ainda sobre o tema da busca pela economia de escala, a McKinsey apresentou um relatório intitulado “Containerização: tendências, significados e implicações” de 1966, que tratava os seguintes pontos:

- Alto grau de concentração de carga seria necessário para alcançar a economicidade na containerização;
- Apenas a containerização ofereceria significativas economias de escala;

- Essas economias levariam à consolidação horizontal da indústria de navegação e ao aparecimento de grandes organizações com interesses globais no transporte internacional;
- Essa consolidação horizontal levaria à integração vertical e ao desenvolvimento de redes de rotas;
- As principais rotas seriam atendidas por um grupo reduzido de portos de escala;
- Os contêineres seriam distribuídos nesses portos por sistemas *feeder* e serviços de transbordo substituiriam escalas diretas.

Contudo, a busca pela economia de escala é um processo incessante e em dinâmica evolução e procura obter a maior economia de escala possível em função dos altíssimos investimentos realizados por meio da diluição dos custos fixos de cada escala por um maior número de unidades movimentadas (exemplos: praticagem, rebocadores, eclusagem quando necessário, etc); o mesmo ocorre para o custo/dia do navio no porto, pelo ganho em produtividade alcançado movimentando-se maiores quantidades por escala e pela diminuição do número de navios em um determinado tráfego e a redução de portos.

Os principais instrumentos para o auxílio na busca pela economia de escala são o desenvolvimento de *hub-ports* e do conceito de transbordo, que apresentam como vantagem a diminuição do tempo de viagem redonda na linha tronco pela redução de portos, resultando em melhores produtividades.

Eles também auxiliam no aumento (simultâneo) de volume, gerando ainda maior economia de escala; no desenvolvimento de nichos de atuação de linhas domésticas de navegação em serviços *feeder* multiusuário; no aumento significativo do volume em portos concentradores do tipo *hub*, como o porto de Gioia Tauro na Itália que apresenta 96% dos movimentos de transbordo, conforme a revista CONTAINER MANAGEMENT (1999), o repasse de parte das economias de escala para os clientes finais por meio da redução de frete e maior frequência para mais localidades.

No entanto, apresentam algumas desvantagens: requerem grande concentração na oferta de serviço, logo demandam grandes organizações; a frequência do serviço principal (*mother vessel*) e dos serviços alimentadores (*feeder*) é crítico, dessa forma, aumentam as escalas e aumentam as ofertas de espaço viável com crescimento de fluxo de carga acima de 6% ao ano e o risco comercial de investimentos por parte dos portos *hub*, em virtude da volatilidade do volume, baixa utilização dos recursos e de resultados operacionais.

Some-se a isso a necessidade de os armadores se organizarem em alianças; do atendimento ao incremento regular da demanda de contêineres e da complexidade logística do mercado mundial; a redução de custos unitários por meio do aumento da produtividade e da economia de escala, propiciando dessa forma, menos gastos nas operações com contêineres e custos dos navios; o aumento do *Market Share*, em regiões atendidas de forma irregular ou não atendidas; a menor exposição ao risco por meio de uma participação em diferentes rotas com diferentes navios e portos, reduzindo dessa forma a dependência de certos clientes e determinados mercados.

Assim sendo, os armadores trabalham em um regime de logística colaborativa, objetivando a economia de recursos ao reduzir o emprego de navios, por meio do uso compartilhado do espaço ofertado (*slots*) por mais de um armador. Tal comportamento apresenta como vantagem a diminuição do número de *slots* ociosos, aumentando dessa forma a ocupação do navio; permite realizar o ajuste da oferta de espaço às variações nos fluxos de carga com maior facilidade; permite ainda aumentar o tamanho dos navios em um determinado tráfego, colhendo dessa forma os resultados da economia de escala.

Contudo, apresenta como desvantagens à organização complexa do sistema, custos gerais, a concentração de oferta e nivelção dos serviços.

Dito isso, em 2002, as dez maiores empresas de navegação do mundo, possuíam juntas a capacidade de transportar mais de três milhões de TEU; outro importante indicador é a concentração do aumento no número de contêineres que foram transportados apenas pelas 20 maiores empresas; esse percentual em 1981 era de 32% e dobrou para 64% em 1997.

Outro fenômeno da concentração pode ser avaliado pela comparação do aumento das quantidades de navios. Em 1997, as 25 maiores empresas do setor tinham 1.479 navios, em 2002, esse número saltou para 2.057, ou seja, um aumento de 39,08%.

A tabela 12 mostra uma comparação das dez maiores empresas de navegação e realiza uma comparação entre 1997 e 2003, sobre a capacidade em TEU e navios.

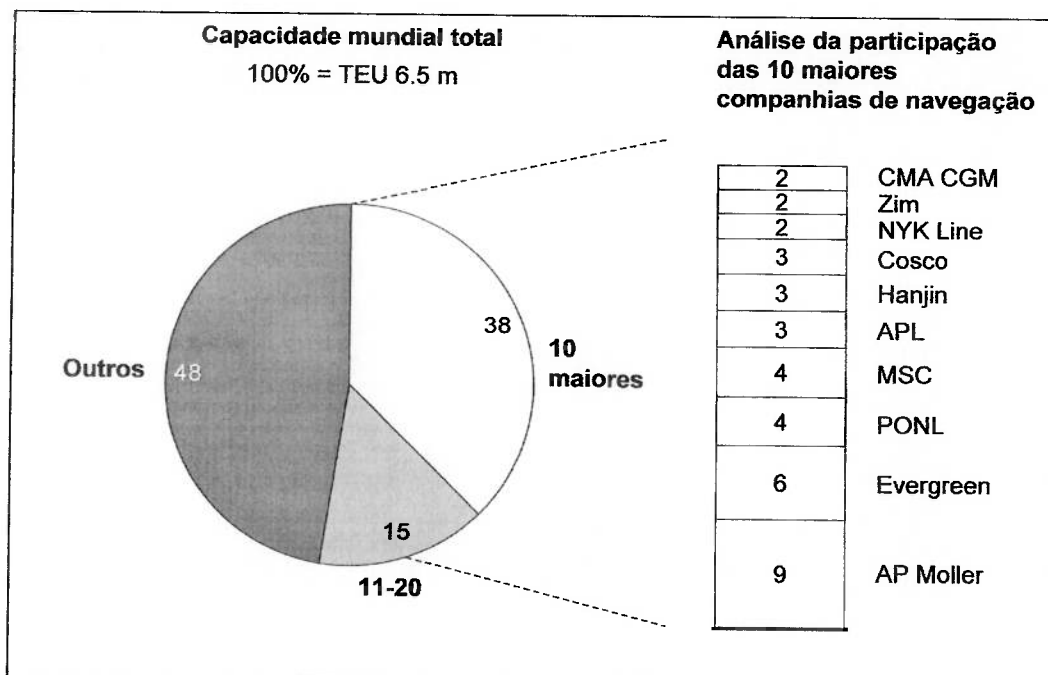
**Tabela 12 – Comparação do conjunto das dez maiores empresas de navegação de contêineres**

		1997		2003		
Seq.	Empresa	Navios	TEU	Empresa	Navios	TEU
1	Maersk Line	105	224.689	Maersk Sealand	287	777.000
2	P&O Nedlloyd	100	210.053	MSC	211	508.000
3	Evergreen	102	209.939	P&O Nedlloyd	141	388.000
4	SeaLand	101	206.330	Evergreen	128	355.000
5	COSCO	159	182.561	Hanjin	69	278.000
6	NYK	79	136.525	APL	75	256.000
7	Hanjin	50	125.607	COSCO	129	252.000
8	MOL	67	122.419	CMA CGM	97	250.000
9	MSC	80	112.931	NYK	64	210.000
10	Hyundai	28	100.966	MOL	65	200.000

Fonte: BRS – *Alphaliner e Containerization International*

Completando os dados da tabela 12, a figura 13 demonstra os níveis de fragmentação da indústria *liners* em porcentagem da capacidade mundial, 100% - 6,5 milhões de TEU, por meio de uma análise da participação das dez maiores empresas de navegação.





Fonte: *Containerisation International* banco de dados da Fairplay  
**Figura 13 – Níveis de fragmentação da indústria liners**

Dentre as principais fusões e aquisições de empresas de navegação podemos indicar:

- A A.P.Möller, leia-se Maersk, adquiriu a Safmarine e a Sea-Land Service em 1999;
- A criação da P&O Nedlloyd Contêiner Line com a fusão da P&O Contêiners e da Nedlloyd Lines em 1997;
- A P&O Nedlloyd comprou a ANL Europe Services, a Farell Line, a Blue Star Line, A Tasman Express Line e a Harrison Services entre 1996 e 2000;
- A Hanjin comprou a DSR-Senator em 1997;

- A Neptune Orient Lines (NOL) comprou a American President Lines (APL) em 1997 e passou a se chamar APL;
- A Evergreen comprou o Lloyd Triestino em 1998;
- A CPSHIPS comprou as seguintes operadoras: Contship, ANZDL, Lykes Lines e a TMM entre 1997 e 2000;
- A CMA-CGM comprou as linhas do Extremo Oriente da ANL em 1998;
- A CSAV comprou a Ivaran, a Libra Linhas de Navegação, a Montemar e a Norasia entre 1996 e 2000;
- A Hamburg-Süd comprou a Aliança, a Crowley American Transport (CAT) a South Seas and South Pacific CL, Kien Hug entre 1998 e 2002;
- Em 2005, aguarda-se a conclusão da possível compra da P&O Nedlloyd pela Maersk.

Cenário semelhante se observa entre os operadores portuários de terminais de contêineres, citando apenas cinco dos maiores operadores com atuação global: A Hutchinson Port Holdings (HPH) que iniciou sua expansão mundial em 1991, tendo sua origem na operação de terminais de Hong Kong e atualmente opera mais de 17 portos, as mais recentes aquisições ocorreram em 2001 dos negócios internacionais e das instalações do ICTSI (*International Container Terminal Services, Inc.*) *International Port Holdings* na Argentina, México, Paquistão, Arábia Saudita e

Tailândia e em 2002 adquiriu a HMM *Korean Terminals* com a aquisição de três terminais de contêineres, o *Hyundai Busan*, *Hyundai Gamman* e *Hyundai Kwangyang*.

O *Port Singapore Authority* (PSA) iniciou a sua expansão mundial em 1990, opera terminais na Índia, Brunei, China e na Europa em Portugal, Itália e, mais recentemente, adquiriu 70% dos terminais da fusão Hesse Noord Natie na Bélgica, num total de 22 terminais, sendo seis terminais de contêineres em Antuérpia e Zeebrugge.

A A.P. Möller/Maersk SeaLand que opera 32 terminais em todo mundo e possui operações em outros 36 terminais, em 2000, adquiriu 30% da participação no Porto de Tanjung Pelepas.

A P&O Ports gerencia mais de 20 terminais pelo mundo, em 2000, comprou 49% da participação no terminal de contêineres de Qingdao Qianwan, na China.

O operador alemão Eurokai, que possui participação em terminais em Portugal e na Itália, em 1999, adquiriu 66% das participações da Contship Itália, que incluía o Medcenter Contêiner Terminal em Gioia Tauro e 60% do Terminal de La Pezia e, em 2000, adquiriu 50% do Terminal Darsena Toscana.

A tabela 13 apresenta o volume em milhões de TEU movimentados por alguns operadores portuários globais.

**Tabela 13 – Volume e aumento (%) de contêineres movimentados pelos principais operadores portuários globais**

Operador	1999	2000	2001	Aumento em %
HPH	18,0	25,3	29,0	+14,6
PSA	17,9	19,8	19,12	- 3,2
APM Terminals	12,5	13,3	19,0	+35,3
P&O Ports	6,2	8,3	9,81	+18,0
Eurogate	6,32	7,03	8,61	+22,4
SSA	3,6	4,5	6,0	+33,3
CSX Worl Terminals	-	3,5	3,6	+2,9

Fonte: *Drewy Shipping Consultants*

A participação desses operadores portuários globais ou megaoperadores tem sido fundamental para o aumento dos níveis de serviço e de produtividade, para a redução dos custos de movimentação. Além da expansão desses principais operadores de terminais de contêineres por todo o mundo, outro fenômeno que vem ocorrendo é a procura das principais empresas de navegação para operarem seus próprios terminais de contêineres, como a Maersk em Algeciras (Espanha) ou a Contship em Gioia Tauro (Itália), o que permite um gerenciamento global de todas as atividades logísticas inerentes aos contêineres operados, além de outros benefícios tais como: garantia de berço na chegada ou ampliação de janela de tempo de atracação, disponibilidade equipamentos e ternos.

Ainda sobre as adequações do setor citadas anteriormente por THOMAS (2001) e indicação de instrumento para se alcançar economia de escala, tem-se o crescimento e o aumento da capacidade dos navios e adaptação dos terminais de contêineres a estes.

## 2.4 Evolução dos navios porta-contêineres

Historicamente, os primeiros registros da idéia de unificar cargas em contêineres datam de 1911, quando a revista *National Geographic* exibiu um anúncio com fotografia de um recipiente à semelhança de um contêiner içado para bordo (NOVAES apud FARIA, 2000). A partir de 1950, foi iniciada a unitização de carga, com a paletização e a utilização de contêineres com empilhadeiras, juntamente com a construção de navios RO-RO (*Roll on Roll off*).

Em 1956, o navio tanque *Ideal X*, pertencente a SeaLand, fez sua viagem inicial entre Nova York e Houston carregando 58 contêineres sobre chassis (COFC) em seu convés; ainda nesse ano ocorreu a adaptação de alguns petroleiros para navios porta-contêineres.

Em 1958 foi feita a adaptação de seis navios C3 para porta-contêineres, com capacidade de 75 contêineres no convés, pela *Matson navigation Co.*; em 1961, a *Pan Atlantic Steamships Co.* converte-se em *SeaLand*, expandindo as suas operações de Porto Rico ao Alasca. Em 1966 ocorreu a primeira viagem internacional de um porta-contêineres, o navio *SS Fairland* realizou uma viagem de Nova York a Bremen com 226 contêineres a bordo (FARIA, 2000). No mesmo ano, a SeaLand inaugurou uma linha semanal de transporte de contêineres na rota Europa para Costa leste americana.

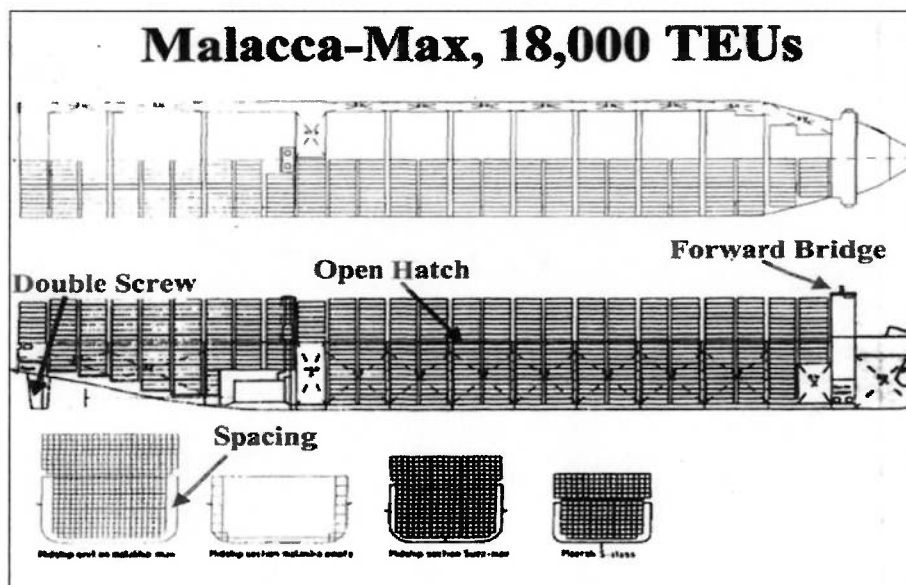
Os primeiros navios convertidos até a década de 60 possuíam capacidade máxima de 1.000 TEU, com calado da ordem de nove metros, com LOA de 180

metros e velocidade de navegação de 18 a 21 nós. Na década de 70, surgiram os primeiros navios projetados para o transporte de contêineres, com capacidade de até 1.500 TEU, com calado de 10 metros, LOA de 215 metros e com velocidade de 23 a 26 nós. Essa capacidade foi aumentada ainda nos anos 70, com os primeiros navios sem guindaste de bordos, chamados *nonself sustaining*, o que trouxe um aumento da capacidade dos navios de 500 a 1.000 TEU.

Nesse momento, os navios passam a receber uma nova classificação denominada PANAMAX, pois estavam próximos das dimensões máximas permitidas para transposição do Canal do Panamá, ou seja, 294 metros de LOA e 32,5 metros de boca e calado de 12 metros.

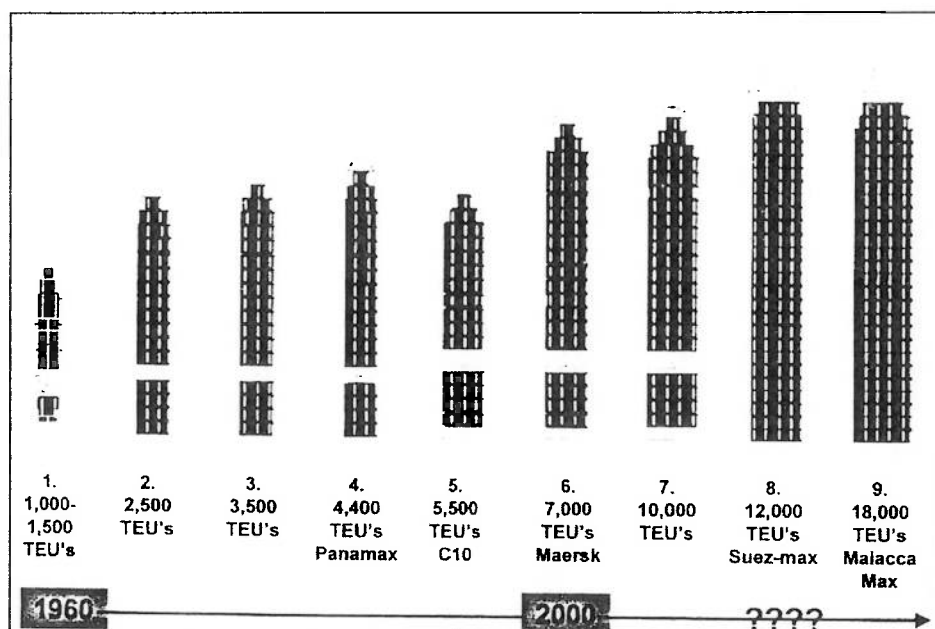
Na década de 80, os navios atingem capacidades de 4.000 a 5.000 TEU, com o foco na economia de combustível, em virtude dos altos preços do petróleo. Na década de 90, surgem os primeiros navios intitulados de Post-Panamax I com capacidade da ordem de 4.000 TEU e com boca de 39 metros, em seguida surgem os navios chamados Post-Panamax II com capacidade para 6.000 TEU e boca de 42 metros.

Recentemente, surgem alguns projetos de navios porta-contêineres com capacidade superior a 10.000 TEU, tais como: o *Post-Suez* (ou *Suezmax*) com capacidade de 11.000 TEU, os *Double Wide* com capacidade de 15.000 TEU e o *Malacca Max* com capacidade de 18.000 TEU, a figura 11 mostra o desenho de projeto de um navio *Malacca-Max* (WIJNOLST; WAALS, 2000).



**Figura 14 – Desenho de projeto do Malacca-Max.**

Na figura 15 e na tabela 14, podemos verificar a evolução e projeção no crescimento de navios porta-contêineres de acordo com as suas gerações e classes.



Fonte: Terminal Operations Conference 2001 – Américas, Larry Nye  
**Figura 15 – Evolução dos navios porta-contêineres**

**Tabela 14 – Evolução dos navios porta-contêineres**

Data	Geração	Nº de TEU	Velocidade	Comprimento (m)
1960 – 1970	1ª Geração	< 1.000	16	180
1970 – 1980	2ª Geração	2.000	23	215
1985	3ª Geração	3.000 – 4.000	23	260 – 280
1988	4ª Geração	4.000 – 5.000	23	275 – 305
1995	5ª Geração	> 6.000	23	310
	6ª Geração	> 8.000	23	338

Fonte: Alderton, P. (1999)

A tabela 15 apresenta a evolução no tamanho do navio, de acordo com suas capacidades, dimensões (comprimento x boca x calado) e o seu arranjo em colunas (*Row*): abaixo (porão), acima (convés), transversal.

**Tabela 15 – Evolução das dimensões de arranjo do navio**

Navio	Capacidade em TEUS	Dimensões		
		Comprimento	Boca	Calado
Panamax	4.000	294	32	12,2
Post Panamax I	4.000	275	39	12,8
Post Panamax II	6.000	347	42	14,0
Double Wide	15.000	396	69	14,0
Mallaca Max	18.000	396	60	21,0

Fonte: ASHAR (2000) – Terminal Operations Conference 2000 - Rotterdam.

De acordo com WIJNOLST e WAALS (2000), com o crescimento da economia de escala, os navios porta-contêineres continuarão a crescer por mais uma década e o tráfego da Europa para o Extremo Oriente em 2010 possui estimativas projetadas de 7,5 milhões TEU, o que significa aproximadamente 144 mil TEU por semana terão de ser embarcados do Extremo Oriente para Europa. O número de



navios Malacca-max para atender essa demanda seria de 64, com 10 saídas por semana ou duas saídas por dia útil; o que é um atrativo para exportadores . Para atendimento desse volume seriam necessários 242 navios Panamax.

Cabe ressaltar que isso é condicionado ao alargamento e dragagem para 21m do Canal de Suez, atingindo dessa maneira os parâmetros de projeto para navios *VLCC* ou *ULCS* e alcançando as limitações do Estreito de Malacca, conforme mostrado na figura 16.



Fonte: Microsoft MapPoint

**Figura 16 – Estreito de Malacca**

WIJNOLST e WAALS (2000) apresentam um estudo sobre a redução de custos baseada na avaliação de um número de navios porta-contêineres que

completam uma viagem redonda de Roterdã a Cingapura via Canal de Suez. A tabela 16 mostra esses navios e suas dimensões principais.

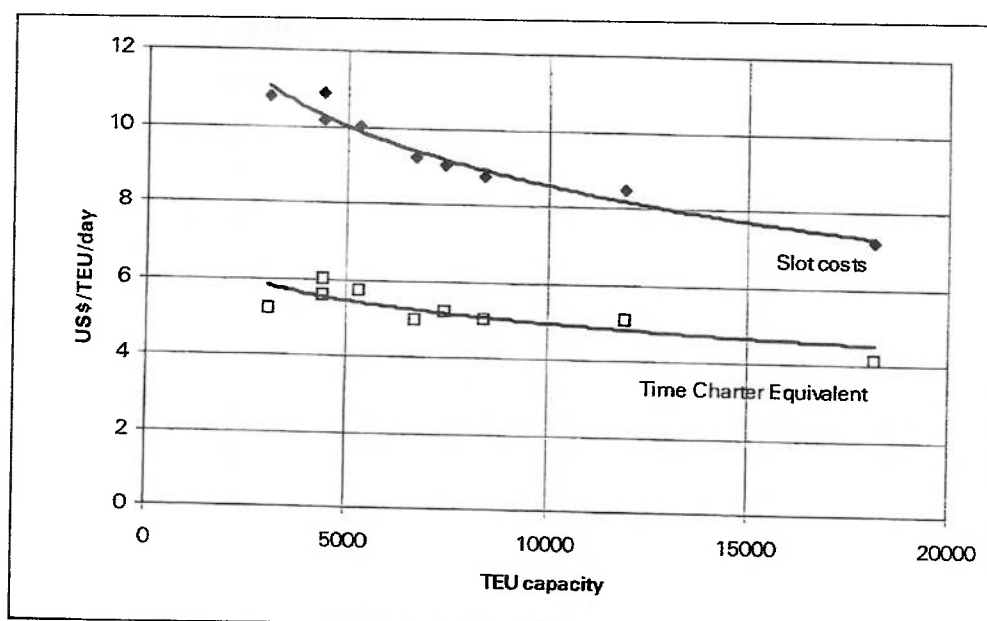
**Tabela 16 – Características dos navios utilizados no estudo Malacca-max**

Navio	Capac. (TEU)	LOA (m)	Boca (m)	Ws + m (tonelagem)
Tokyo Senator	3.017	215,6	32,20	12.517
Hannouver Express	4.407	294,0	32,25	20.870
Hyunday Admiral	4.411	275,0	37,10	22.003
Hanjin London	5.302	279,0	40,30	25.832
P&O Southampton	6.674	299,9	42,80	28.500
Maersk K-Class	7.400	318,6	42,80	34.134
Maersk S-Class	8.400	348,0	42,80	37.550
Suezmax design	11.989	400,0	50,00	54.259
Malacca-max design	18.154	400,0	60,00	70.771

Fonte: WIJNOLST e WAALS (2000)

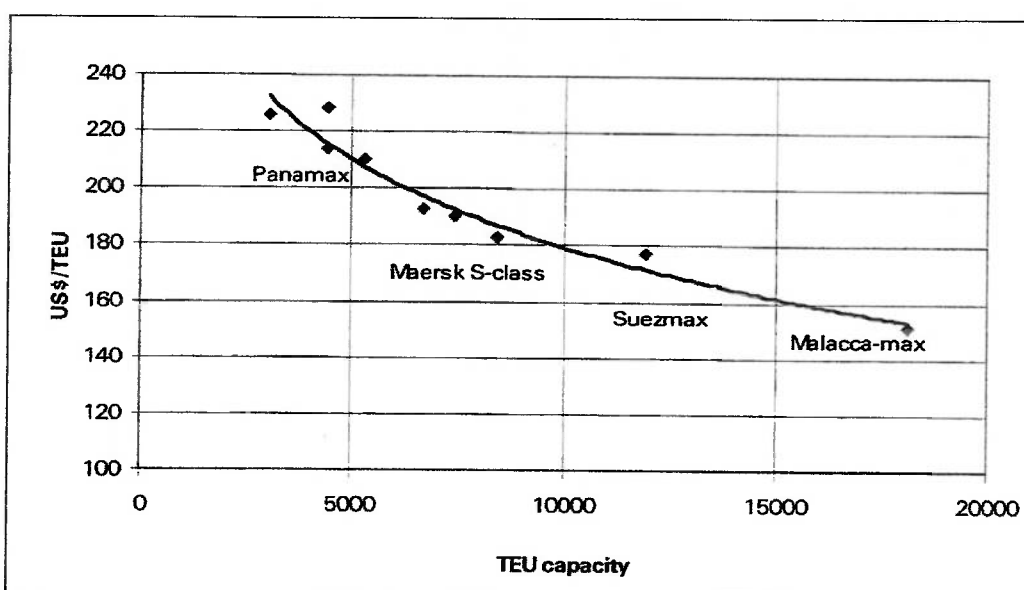
Os resultados desse estudo são apresentados nas figuras 14 e 15.

Na figura 17 são mostrados os custos por *slot* em US\$/TEU/dia, assim como os custos de equivalência de *Time charter* (chamado de TCE). Os dados de TCE mostram uma curva pouco acentuada em relação à curva de custo por *slot*; isso ocorre porque os custos por *slot* incluem os custos de combustível e taxas do canal.



**Figura 17 – Custos por *slot* e TCE**

A figura 18 traduz o custo por *slot* para custos por TEU para uma “*pernada*”, isto é, uma viagem entre Roterdã e Cingapura, e demonstra que a economia de escala de grandes navios, como Suezmax ou Malacca-max fica evidente. O custo por TEU em um navio Malacca-max é 30 % menor que em um navio do tipo Panamax. WIJNOLST e WAALS (2000) ainda indicam que o custo total é de aproximadamente 16% para os navios atuais de 8.000 TEU, o que representa um diferencial competitivo.



Fonte: WIJNOLST e WAALS (2000).

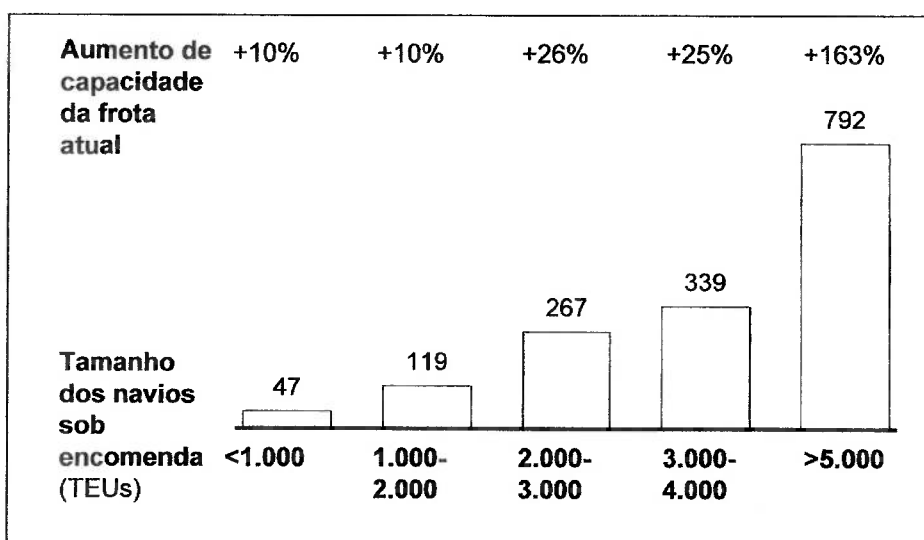
**Figura 18 – Custo de transporte entre Roterdã e Cingapura**

Conforme foi dito anteriormente, esses tipos de navio são projetos baseados num acréscimo de carga para a próxima década; a realidade dos portos internacionais é representada por navios de 4.000 a 8.000 TEU, conforme a tabela 16, na página anterior.

Os maiores navios que operam atualmente na costa brasileira são os navios *L-Type* da Maersk (*Leda Maersk*, *Lexa Maersk*, *Laust Maersk* e *Lica Maersk*) com

capacidade para 3.700 TEU, LOA de 265,84 metros e 37,3 metros de boca, com velocidade de 24,5 nós, o *Cap San Antonio* da Hamburg Süd com capacidade nominal de 3.739 TEU ou o *P&O Nedlloyd Remuera* com capacidade nominal de 4.112 TEU, 281 metros de LOA e velocidade de 23,5 nós.

A figura 19 mostra a encomenda efetuada de novos navios por tamanho, com prazo de até três anos para entrega, na qual se nota que há mercado para navios de 2.000 a 4.000 TEU, que totalizam 606 pedidos e 792 pedidos efetuados para navios maiores de 5.000 TEU. Contudo, não é mostrado nesta figura o intervalo de capacidade para navios maiores que 5.000 TEU.



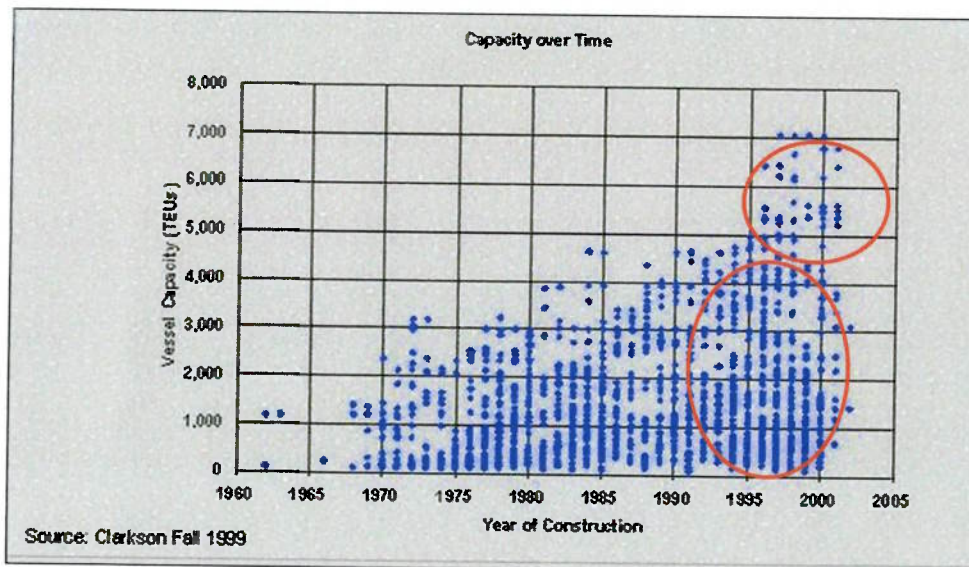
Fonte: *Drewry Shipping Consultants*

**Figura 19 – Encomendas efetuadas de novos navios por tamanho em milhares de TEU**

As figuras 20, 21, 22 e 23 mostram alguns outros cenários das encomendas de navios.

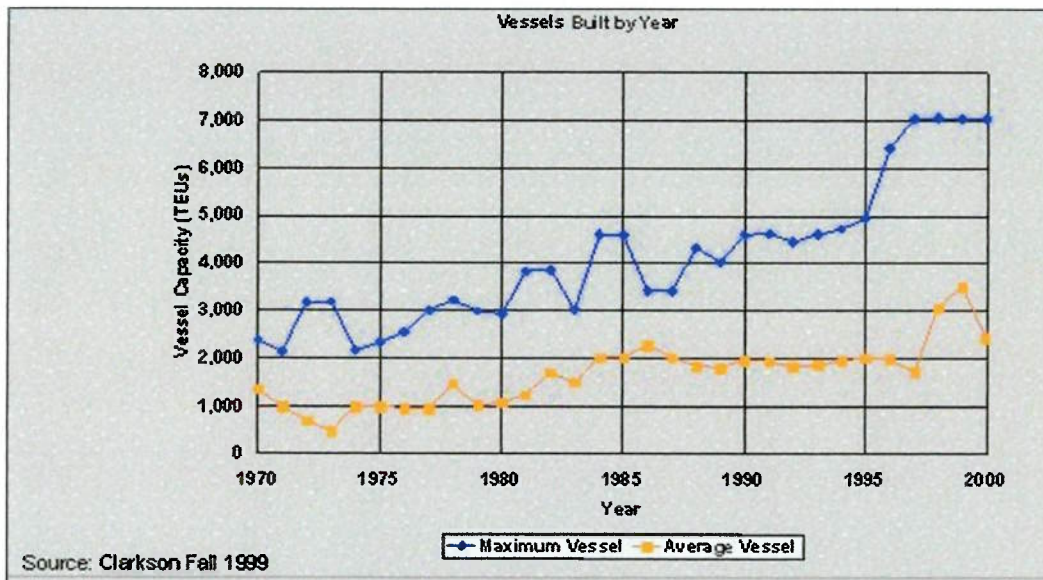
A Figura 20 apresenta um gráfico da capacidade do navio (TEU) pelo seu ano de construção, a partir de 1960, porém mesmo em 2.000 ainda se verifica uma maior

concentração de pedidos para navios com capacidade inferior a 5.000 TEU. Os pedidos para navios maiores que 5.000 TEU são pequenos e iniciaram a partir de 1995.



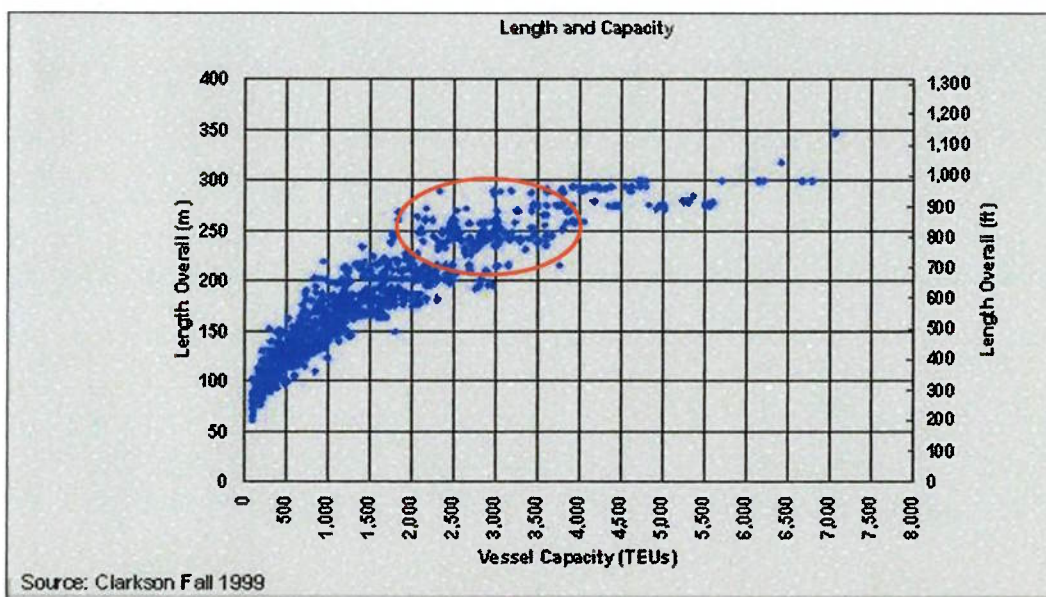
**Figura 20 – Capacidade de navios porta-contêineres por ano de construção**

Já a figura 21 apresenta, por ano de construção, duas linhas, uma para a média de capacidade dos navios e a outra para a capacidade máxima.



**Figura 21 – Tendência de capacidade em TEU**

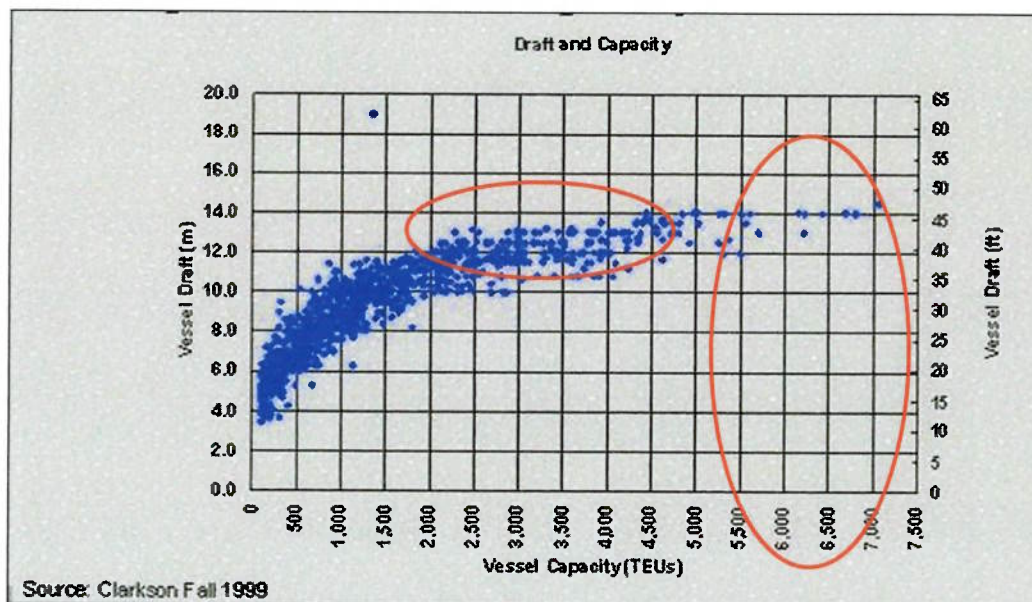
A figura 22 demonstra que, apesar do crescimento da capacidade do navio, há uma preocupação em não estender demais o navio em seu comprimento.



**Figura 22 – Capacidade e comprimento**

A figura 23 apresenta outra combinação importante que é a relação de capacidade do navio com o seu calado, na qual se nota que, independente do

tamanho e da capacidade do navio, o seu calado permanece na faixa de 10 a 14 metros.



**Figura 23 – Capacidade e calado**

STOPFORD (2002) indica alguns estudos acadêmicos que contrariam a idéia de economia dos ULCC como o Malacca-max, como o estudo de SEOK-MIA LIN (1994) *Economies of Containership Size: a New Evaluation* que conclui que os benefícios desses navios ainda não estão totalmente aparentes e o de GILMAN (1998) *Size Economics and Network Efficiency in Large Containerships* conclui que a economia inicial é irrisória.

STOPFORD (2002) ainda discorre sobre a real necessidade do crescimento dos navios porta-contêineres como o Malacca-max, indicando que este têm causado controvérsias na indústria marítima, especialmente para os terminais de contêineres e armadores que necessitarão realizar novos e vultosos investimentos. Além disso,

ressalta que nem todos concordam que os ULCC são o que mercado necessita pelas seguintes razões:

- Economia de escala diminui acima de 3.000 TEU e sobre 8.000 TEU as economias se tornam pequenas;
- Há significantes gastos em dragagem, com congestionamentos, distribuição de carga dos portos concentradores (*hub*) e uma série de dificuldades logísticas;
- Há grandes economias em transformar e atualizar o tamanho dos navios nos tráfegos pequenos e médios;
- O tráfego mundial está crescendo, o que favorece navios de tamanho médio;
- O negócio dominado pelos operadores logísticos prefere a flexibilidade oferecida por navios menores.

## **2.5 Impacto nos terminais de contêineres e nas suas operações**

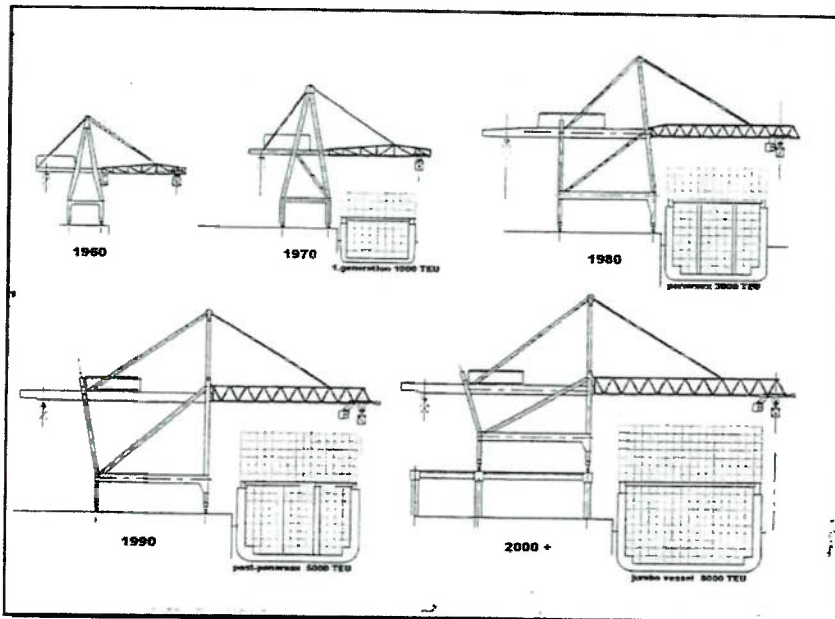
Um problema operacional está relacionado com os portêineres, que são os equipamentos de movimentação de terra que podem apresentar limitações técnicas, tais como: não alcançar transversalmente determinadas colunas (*rows*) do navio ou atingir as últimas alturas (*layers* ou *tiers*) dos contêineres no convés ou as primeiras



alturas do porão. A tabela 15 (na página 55) apresenta o arranjo desses navios, com nove alturas no porão, seis alturas no convés e 17 colunas de largura.

Esses equipamentos possuem vida útil de aproximadamente 15 a 20 anos e estruturas de cais 50 anos ou mais, o que exige uma longa projeção sobre quando ocorrerá o impacto do tamanho dos navios. Tal evolução dos navios deve ser avaliada no momento da compra ou troca de equipamento, para que não ocorra o subdimensionamento e conseqüentemente restrições de utilização.

A figura 24 apresenta a evolução dos portêineres desde 1960, na qual se nota o aumento de bitola entre “pernas” do equipamento, aumento do comprimento da lança para cima do navio (*front-reach*) e para trás do equipamento (*back-reach*), aumento da capacidade de carga, possibilidade de içamento em *twin picks* (figura 25), *tandem lift* (figura 26) ou *tandem line* (figura 27), trabalhar com duas fases e dois *trolleys* (“carros”) e aumento da velocidade destes; caso contrário, conforme RIJSENBRIJ (2002) o tempo de ciclo da operação de embarque ou descarga aumentará, reduzindo dessa forma a capacidade técnica de movimentação por hora do equipamento e conseqüentemente a produtividade do navio, aumentando a sua permanência no berço.



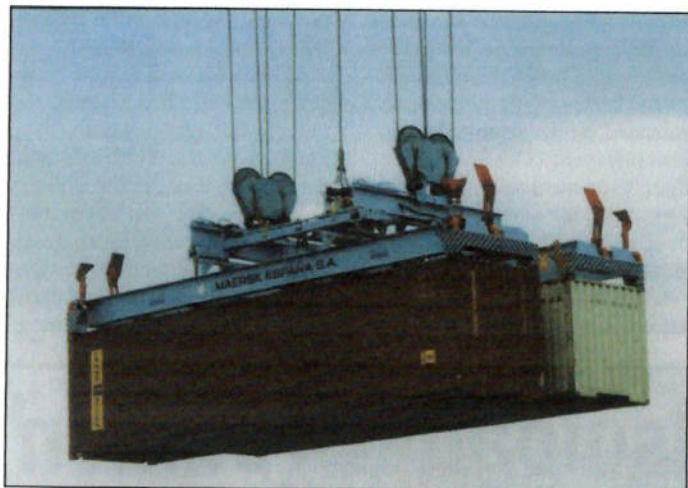
Fonte: WIJNOLST e WAALS (2000).  
**Figura 24 – Evolução de portêineres**



**Figura 25 – Ilustração de um *twin pick***

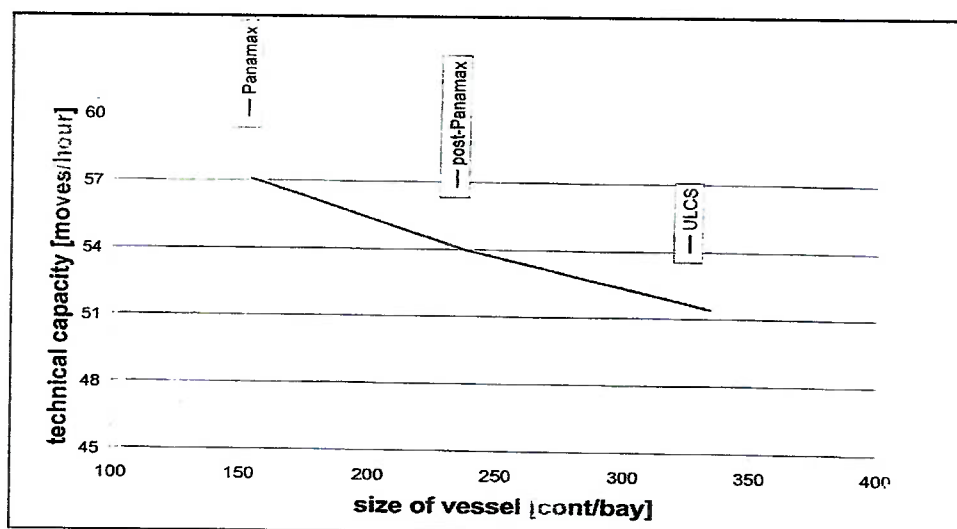


**Figura 26 – Ilustração de um *tandem lift* para contêineres vazios**



**Figura 27 – Ilustração de um *tandem line***

A Figura 28 apresenta esta perda de capacidade técnica na movimentação de contêineres/hora, de acordo com o tipo do navio. Quanto maior o arranjo do navio maiores são as perdas.



Fonte: RIJSENBRIJ (2002).

**Figura 28 – Decréscimo da capacidade técnica de movimentação de portêineres em grandes navios**

O crescimento desses equipamentos na sua altura e largura também pode causar outros problemas operacionais, como o aumento da sua capacidade velica.

Com o crescimento no tamanho dos navios e na movimentação, a operação nos dois bordos dos navios simultaneamente passa a ser uma alternativa. A figura 29 ilustra uma operação desse tipo, no *Ceres Paragon Terminal* em Amsterdã na Holanda.

Entretanto, esse aumento de equipamentos e ternos obriga a um correto dimensionamento da infra-estrutura de retaguarda e armazenagem, de forma a suprir o fluxo de transferência de contêineres do costado para o pátio durante a descarga e do pátio para o costado nas operações de embarque, e que atenda aos níveis de serviço e índices de produtividade estipulados em contrato.



**Figura 29 – Operação simultânea bombordo e boreste**

Os portões (*Gates*) de saída também deverão ter a sua capacidade ampliada para atender às entregas desses contêineres.

O mais significativo e importante impacto é o aumento no movimento e no tamanho dos navios, que causa efeitos diretos no planejamento e nas operações dos terminais de contêineres, a começar pela ocupação de metro linear de cais, que pode criar uma série de cenários.

Um terminal projetado com 500 metros de cais e dois berços de atracação pode ficar restrito a um único berço, dependendo do navio que estiver atracado, ou restringir a atracação do próximo navio a um determinado comprimento, como por exemplo: Se nesse terminal estiver atracado um navio de 268 metros, são necessários de 15 a 20 metros de distância entre um navio e outro atracado. A soma desses valores é igual a 288 metros, o que limita o próximo berço para navios de no máximo 212 metros, criando dessa forma, fila de espera.

O impacto do tamanho de cais em função do tamanho dos navios, dada uma certa demanda, faz parte da pesquisa, em que serão investigadas regras para atracação de navios em terminais de contêineres.

## CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica ateu-se ao planejamento de berços e simulação de terminais. Outros assuntos, tais como programação de navios, não foram incluídos tendo em vista que o foco da pesquisa e o oferecimento de janela de tempo de atracação pelo terminal ao cliente (navio).

### 3.1 Planejamento de berços

O processo de planejamento de berço é uma tarefa complexa e crítica. Antes de os navios iniciarem suas operações de descarga e embarque, apresenta-se como problema a determinação dos horários e posições dos navios porta-contêineres nos terminais, onde variáveis devem ser consideradas, tais como: o LOA de cada navio e o espaço de berço necessário durante o período de suas operações.

HENESEY, DAVIDSSON e PERSSON (2004) entrevistaram alguns gerentes de terminais de contêineres, dos quais grande parte não utiliza nenhuma ferramenta para a designação de atracação de navios porta-contêineres nos berços, mas utilizam rotinas desenvolvidas, contratos e regras empíricas. Esse grupo indicou que o método mais comum de planejamento de atracação é o *First-Come-First-Served (FCFS)* e de tentar colocar o navio em um “ponto ideal”, isto é, o mais próximo das áreas/quadras reservadas de onde seus contêineres estão depositados para embarque e próximo da área (*buffer*) reservada para descarga.

Diversos modelos e heurísticas têm sido desenvolvidos com o objetivo de minimizar o tempo total de serviço de atracação, no qual se deve incluir o tempo de espera para atracação dos navios, redução do custo de penalidades pelo tempo de espera na barra para atracar, designação do melhor berço de atracação do navio para que este esteja mais próximo possível da área de armazenagem dos contêineres de exportação/embarque, e próximo ao chamado *buffer* (área vazia destinada aos contêineres de importação/descarga); ou determinar qual a melhor alocação de recursos tais como portêineres, número de ternos de trabalho, entre outros.

Os mesmos HENESEY, DAVIDSSON e PERSSON (2004) investigaram o uso de simulação como base para um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para análise da distribuição de berços de atracação no Terminal de Contêiner de Skandia Harbour, porto de Gotemburgo, na Suécia. Analisaram as diversas restrições e de duas políticas de decisão de gerenciamento de atracação chamadas de *Shortest Turn-Around Time Policy* (STTP) e *Berth Closest to Stack Policy* (BCSP), ou Política de Menor Tempo de Estadia e a Política de atracação mais perto da área de armazenamento.

Apresentaram um Sistema de Gerenciamento de Planejamento de Atracação chamado BAMS - *Berth Allocation Management System*, desenvolvido em Linguagem Java e que consiste em dois componentes: um modelo de simulação de gerenciamento das operações de um terminal de contêineres e um modelo de simulação das várias entidades físicas envolvidas na alocação de navios porta-contêineres nos berços, como: navios, portêineres, etc., que se comunicam por meio de RMI.

Esses dois sistemas juntos criam uma programação de atracação para as chegadas de navios. Foram simulados três cenários, onde cada navio recebe dois portêineres e o número de equipamentos de retaguarda (*straddle carrier*) é fixo. Concluem que a escolha da política de decisão de gerenciamento de atracação possui forte influência tanto no tempo total de operação do navio como na distância percorrida pelos equipamentos de retaguarda alocados e sugere o uso dinâmico de alocação de berço em vez de berços fixos, que são práticas comuns.

CORDEAU et al. (2003) propõem modelos e algoritmos para a resolução de dois problemas no gerenciamento do terminal de contêineres de Gioia Tauro (Itália): o primeiro é de Alocação de Berço, que consiste na programação de operações de atracação de forma a minimizar a estadia total do navio no porto (que é a soma dos tempos de operação e tempo de espera), e o segundo trata do gerenciamento de contêineres no pátio, que consiste em localizar de forma apropriada os contêineres de maneira a minimizar movimentos entre as áreas, o que não será foco deste estudo.

Ambos os problemas foram formulados como programação linear e resolvidos por meio de CPLEX para pequenos casos. Para casos maiores foi desenvolvido um método de busca tabu. Esses algoritmos foram implementados no Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para o mesmo terminal.

O problema de alocação de berço consiste em determinar em quais berços atracarão os navios de acordo com as suas chegadas para as respectivas operações. O tempo de operação de cada navio não é o mesmo para cada berço. De fato, esse tempo varia por diversas razões, tais como: quantidade de movimentos, quantidade de equipamentos e ternos utilizados, balanceamento dos movimentos entre esses



ternos, distância das pilhas onde estão armazenados os contêineres de embarque e da área onde serão armazenados os contêineres de descarga no pátio, entre outros.

O gerenciamento de alocação de berço é composto de duas decisões inter-relacionadas:

- A alocação do próximo navio em um berço;
- O seqüenciamento dos navios determinado em cada berço.

Os dados do problema apresentados por CORDEAU et al. (2003) são determinísticos e o plano de horizonte de uma semana. Os tempos de chegada de cada navio são conhecidos antecipadamente. Assim cada navio e berço tem a sua Janela de Tempo e o tempo de espera limitado.

O problema de alocação de berço é um problema combinatório que pode ser formulado de diferentes formas. CORDEAU et al. (2003) realizaram duas formulações, a primeira foi o Problema de Alocação Dinâmica de Berço (DBAP – *Dynamic Berth Allocation Problem*) proposto por Imai, Nishimura e Papadimitriou para resolução de um problema de planejamento de berço em Cingapura. A segunda formulação foi o Problema de Roteirização de Veículos para Múltiplos Depósitos com Janela de Tempo (*MDVRPTW - Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows*). Tal formulação se mostrou interessante, pois já havia um método tabu de resolução. Dessa forma, foi realizada uma adaptação desse algoritmo para resolução do problema de planejamento de berço com o auxílio do CPLEX, mas apenas casos menores foram resolvidos com exatidão.

PIAW (2003) discorre sobre o sistema de planejamento de berço da Autoridade Portuária de Cingapura (*Port Singapore Authority - PSA*), sobre os tempos e a posição exata de cada navio no cais, assim como os recursos alocados no processo. Diversas variáveis foram levadas em consideração, tais como: LOA e ATA do navio, quantidade de contêineres a serem operados na descarga e embarque e as áreas de armazenamento de exportação e *buffer* de importação.

A proposta de Piaw é de um planejamento de berço “robusto”, desde que o ATA do navio varie substancialmente da previsão. Isso é particularmente importante para navios de clientes prioritários que possuem berço garantido na chegada (ou no intervalo máximo de duas horas) de acordo com seus contratos com a PSA. Um planejamento robusto ajudará a minimizar as freqüentes alterações no planejamento de berço e o impacto que ocorre na alocação de recursos no terminal. Dessa maneira, o problema se reduz a encontrar o berço, para que navios com prioridades possam atracar na chegada com grande probabilidade e serem atracados o mais próximo possível das áreas de armazenamento de suas cargas, reduzindo o custo de transporte dos contêineres dentro do terminal.

LEGATO e MAZZA (2000), propuseram um modelo de sistema de fila fechado com múltiplas classes de clientes para estimar efeitos de congestionamento no tempo de estadia dos navios (clientes) pertencentes a diversas empresas de navegação (classe de clientes) e sem um número fixo de visitas ao terminal.

A simulação do sistema de fila representa uma política de atracação por meio de prioridades entre navios chamados primários (que possuem Janela de Tempo de Atracação Fixa) e navios secundários (outras formas), que incluem a distribuição de

múltiplos portêineres ou guindastes sobre rodas (servidores – *servers*) e distribuição não exponencial entre os tempos de chegada dos navios principais.

A área dos berços de atracação é dividida, assim como os navios em área primária e secundária, onde navios primários possuem reserva de berço na área primária, o mais próximo possível da área de armazenamento dos contêineres para embarque e com a possibilidade de utilizar portêineres como guindastes sobre pneus. Já os navios secundários podem ser planejados tanto na área de berço primária de acordo com procedimento de completar a diferença de espaço deixado pelo navio primário, ou em área secundária, respeitando as regras FIFO e com alocação apenas de guindastes sobre pneus.

A forma de tratamento da simulação do sistema de fila utiliza funções baseadas em objetos da linguagem visual SLAM através de uma linguagem de interação modular de processos para simulação discreta de eventos. A validação de dados se mostrou satisfatória e a simulação, uma ferramenta que permitiu também estimar o aumento do número de equipamentos e a alteração da política de alocação de recursos.

NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001) apresentam o problema de distribuição dinâmica de berço (*Dynamic Berth Allocation Problem – DBAP*) com serviços simultâneos em um sistema de porto público (e não especificamente para terminais de contêineres) em portos japoneses por meio de uma heurística baseada em Algoritmo Genético (*Genetic Algorithm – GA*), que se mostrou uma boa solução, adaptável a aplicações reais e com pequenos esforços computacionais.

De maneira similar, NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001) estudaram a alocação e otimização de berço, usando heurística baseada em programação inteira mista (*Mixed-Integer Programming – MIP*), formulando as versões estáticas (SBAP) e dinâmicas (DBAP) do problema de alocação de berço e suas relaxações lagrangeanas.

Esses mesmos autores, em 2003, desenvolveram uma heurística baseada em Algoritmo Genético para resolver problemas não-lineares de alocação de berços para navios com diferentes prioridades.

Soluções por meio de Algoritmo Genético já foram utilizadas por LIM e GOH (2000), que trataram o Problema de Atracação de Navio (*Ship Berthing Problem – SBP*) como um problema da categoria *NP-hard*.

Nesse mesmo artigo foram discutidos métodos de representação do Problema de Atracação de Navio com o uso de gráficos acíclico direto (*directed acyclic graph*) e uso de lista acíclica para representação de soluções válidas para o problema.

KIM e MOON (2003) formularam um modelo de programação inteira mista (*Mixed Integer Program - MIP*) para determinar tempos e posições de navios em terminais de contêineres com atracação em berço dedicado, por meio de algoritmos *Simulated Annealing* (SA).

GUAN e CHEUNG (2004) consideraram o problema de alocação de berços para navios com objetivo de minimizar o tempo total. Foram consideradas duas formulações matemáticas: uma desenvolveu um procedimento de busca em árvore

(*tree search*) enquanto a outra era utilizada em um limite inferior para acelerar o procedimento de busca em árvore.

LAI e SHIH (1992) propuseram heurísticas para o problema de alocação de berços, motivados pelo uso mais eficiente de berços no terminal HIT de Hong Kong e assumiram a estratégia de disciplina de fila FCFS.

IMAI, NAGAIWA e CHAN (1997) consideram o problema de alocação de berço para portos comerciais, onde a maioria das filas de navios é atendida de forma FCFS e concluem que portos de elevada movimentação devem buscar a alocação ótima de navio-berço sem considerar a disciplina FCFS; muito embora isso possa resultar na insatisfação de alguns navios que observam a seqüência de atracação.

LI, CAI e LEE (1998) discutem o problema de atracação de maneira geral, programação de múltiplas tarefas e um processador (*scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern*), na qual navios representam tarefas e o processador pode ser interpretado como o berço. Experiências computacionais demonstraram eficácia da heurística com resultados próximos do ótimo.

NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU apud STEENKEN, VOß e STAHLBOCK (2004) relacionaram o problema de alocação de berço ao problema de seqüenciamento (*scheduling*) de máquinas e discutiram a questão de otimização não linear com o duplo objetivo de utilização do terminal e tempo de espera do navio.

LIM (1998) reformularam o problema como uma forma restrita de duas dimensões do problema de *Packing* e exploram a representação gráfica teórica. Esse problema específico de planejamento de berço é mostrado como um *NP-hard*

completo e para sua solução do problema é proposta a aplicação de heurística a dados estatísticos históricos.

O mesmo LIM apud MOON (2000) solucionam o problema de planejamento de berço através da manutenção de horário fixos de atracação e tentativa de decidir as localizações de berços. O berço foi considerado como sendo um espaço contínuo em vez de uma coleção de localizações discretas.

PARK e KIM (2002) estabeleceram um método para planejamento de berço baseado nos horários e posições de atracação dos navios porta-contêineres em terminais, onde o planejamento de berço realizado deve satisfazer as solicitações dos armadores e minimizar os esforços de movimentação durante a operação do navio. Uma programação inteira mista (*Mixed Integer Program - MIP*) foi formulada para a resolução do problema, contudo, a fim de sobrepor os problemas computacionais à formulação anterior, foi convertida em programação linear inteira e o modelo de Relaxação Lagrangeana do modelo discreto foi resolvido com o uso da técnica de otimização subgradiente.

Os mesmos PARK e KIM (2003) discutiram um método de seqüenciamento (*scheduling*) de berços e portêineres, que são recursos críticos em um terminal de contêineres. Foi formulado um modelo de programação inteira que considerou várias restrições práticas e foi sugerido um procedimento de solução em duas fases para o modelo matemático. A primeira fase determina a posição e o horário de cada navio, assim como o número de portêineres determinados para cada segmento de hora e a segunda fase é uma programação detalhada de cada portêiner, baseada na escolha da primeira fase. A técnica de otimização de subgradiente é aplicada para a obtenção da

solução próxima do ótimo na primeira fase. Na resolução da segunda fase foi aplicada a técnica de programação dinâmica.

MOON (2000) discute a alocação de berço e posição de chegada dos navios quando berço é um gargalo nos terminais. Utilizando dados reais do Terminal de Contêineres de Pusan (*Pusan East Container Terminal - PECT*) formulou uma programação linear inteira e resolveu o problema com o auxílio do software LINDO®. Contudo, o tempo de processamento no LINDO® cresce rapidamente quando o número de navios era superior a sete e o horizonte de planejamento excedia 72 horas.

CHEN e HSIEH (2001) desenvolveram um modelo de alocação de berço utilizando uma rede modificada de tempo-espço (*modified time-space network*) para tomada de decisão, utilizando dados do Porto de Keeling.

Esse modelo leva em consideração o LOA, horário de atracação e desatracação de cada navio para gerar um problema de fluxo de rede generalizado e suas restrições. Todavia, o problema foi resolvido com programação inteira e utilização de algoritmo *Branch and Bound*.

HANSEN e OGUZ (2003), baseados nos estudos do Problema de Alocação Dinâmica de Berço (DBAP) de NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001), propuseram, após correção, um modelo equivalente mais compacto, e estenderam a acomodação de tamanho das restrições, devido às datas dos navios e ao horizonte de planejamento. Foram realizados experimentos computacionais com CPLEX, nos quais o primeiro modelo de DBAP foi capaz de resolver problemas de 10 berços e 50

navios, enquanto o modelo compacto de DBAP não foi tão eficiente em virtude das limitações do grande M's.

**Tabela 17 – Quadro resumo da revisão bibliográfica sobre planejamento de berços de atracação**

Autores (Ano)	Problema	Modelo/Heurística
Cordeau et al (2003)	Propuseram a resolução do problema de alocação de berço e gerenciamento de contêineres no pátio	Ambos problemas foram formulados por meio de programação linear. Os problemas menores foram resolvidos com CPLEX e os casos maiores foram desenvolvidos com busca tabu
Chen e Hsieh (2001)	Desenvolveram um modelo de alocação de berço para o porto de Keelung.	Utilizaram uma rede modificada de tempo espaço para a tomada de decisão.
Guan e Cheung (2004)	Alocação de berço para navios com o objetivo de minimizar o tempo total de estadia.	Consideraram duas formulações matemáticas: uma desenvolveu um procedimento de busca em árvore ( <i>tree search</i> ), enquanto a outra era utilizada em um limite inferior para acelerar o procedimento de busca em árvore.
Hansen o Oguz (2003)	Baseados nos estudos do problema de alocação dinâmica de berço (DBAP) de Nishimura, Imai e Papadimitriou (2001), propuseram, após correção, um modelo equivalente mais compacto e estenderam a acomodação de tamanho das restrições, em razão das datas dos navios e horizonte de planejamento	Foram realizados experimentos computacionais com CPLEX, nos quais o primeiro modelo de DBAP foi capaz de resolver problemas de 10 berços e 50 navios, enquanto o modelo compacto de DBAP não foi tão eficiente em virtude das limitações do grande M's.
Henesey, Davidsson e Persson (2004)	Investigaram o uso de simulação para um sistema de apoio a decisão (SAD) de planejamento de atracação	Propuseram por meio de simulação um sistema chamado BAMS - <i>Berth Allocation management System</i>
Imai, Nagaiwa e Chan (1997)	Consideraram o problema de alocação de berço para portos comerciais, onde a maioria das filas de navios é atendida de forma FCFS e concluem que portos de elevada movimentação devem buscar a	



---

	alocação ótima de navio berço sem considerar a disciplina FCFS; muito embora isso possa resultar na insatisfação de alguns navios que observam a seqüência de atracação.	
Kim e Moon (2003)	Determinar tempos e posições de navios em terminais de contêineres com atracação em berços dedicados	Formularam um modelo de programação inteira mista ( <i>Mixed Integer Program</i> ), e utilizaram algoritmos <i>Simulated Annealing</i> (SA)
Lai e Shih (1992)	Propuseram heurísticas para o problema de alocação de berço, motivados pelo uso mais eficiente de berços no terminal HIT de Hong Kong.	
Legato e Mazza (2000)	Proposta de um modelo de fila fechado com múltiplas classes para estimar efeitos de congestionamento no tempo de estadia dos navios (clientes).	Simulação do sistema de fila baseados em objetos da linguagem
Li, Cai e Lee (1998)	Discutem a programação de múltiplas tarefas e um processador, na qual navios representam tarefas e o processador pode ser interpretado como o berço.	Simulações computacionais demonstram eficácia da heurística com resultados próximos do ótimo
Lim (2004)	Reformulou o problema de planejamento de berço como uma forma restrita de duas dimensões de <i>Packing</i>	
Lim apud Moon (2000)	Problema de planejamento de berço é solucionado pela manutenção de horários fixos de atracação e tentativa de decidir as localizações de berços.	O berço foi considerado um espaço contínuo em vez de uma coleção de localizações discretas.
Lim e Goh (2000)	Trataram o problema de atracação de navios (SBP) como um problema da categoria de <i>NP-Hard</i>	Utilizaram gráficos acíclicos diretos ( <i>Directed Acyclic Graph</i> )
Moon (2000)	Discute a alocação de berço e posição de chegada dos navios quando berço é um gargalo. Utilizou dados reais do terminal de contêineres de Pusan.	Formulou o problema com o auxílio do software LINDO. Contudo, apresentou problema de tempo de processamento quando o número de navios era superior a sete e o tempo de planejamento excedia 72 horas.

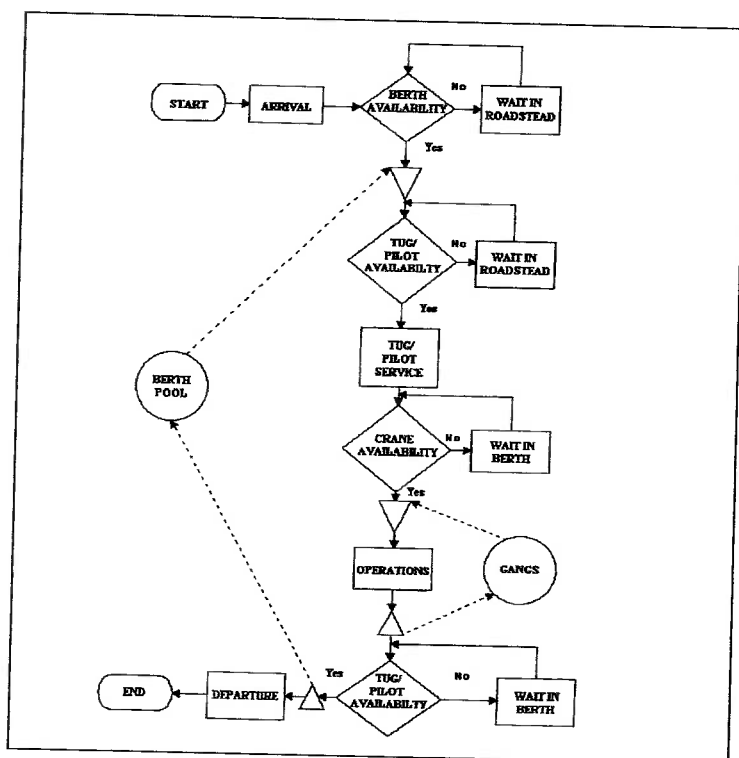
---

Nishimura, Imai Papadimitriou (2001)	e Problema de distribuição dinâmica de berço ( <i>Dynamic Berth Allocation Problem</i> ) com serviços simultâneos em um sistema de porto público em portos japoneses.	Heurística baseada em Algoritmo Genético (GA), que se mostrou uma boa solução; adaptável a aplicações reais e com esforços computacionais.
Nishimura, Imai Papadimitriou (2001)	e Estudaram a alocação e otimização de berço	e Utilizaram heurística baseada em programação inteira mista ( <i>Mixed Integer Program</i> ) formulando versões estáticas e dinâmicas do problema de alocação de berço e suas relaxações lagrangeanas.
Park e Kim (2002)	Método para planejamento de berço baseado nos horários e posições de atracação dos navios porta-contêineres em terminais, que deve satisfazer as solicitações dos armadores e minimizar os esforços de movimentação	Uma programação inteira mista foi formulada para a resolução do problema, contudo, a fim de sobrepor os problemas computacionais à formulação anterior, foi convertida em programação linear inteira e o modelo discreto foi resolvido com a utilização de técnicas de otimização subgradiente.
Park e Kim (2003)	Formulou-se um problema de programação inteira que considerou várias restrições práticas e foi sugerido um procedimento de solução em duas fases para o modelo matemático	A técnica de otimização subgradiente é aplicada para obtenção da solução próxima do ótimo na primeira fase. Na resolução da segunda fase foi aplicada a técnica de programação dinâmica.
Piaw (2003)	Problema de planejamento de navios de clientes prioritários que possuem berços garantidos na chegada de acordo com seus contratos com a PSA	

### 3.2 Modelagem de terminais e simulações

Existem na literatura fluxos representativos de terminais de contêineres que foram simulados, como em: LEGATO e MAZZA (2000), que descrevem o processo orientado de simulação com visual SLAM, representado na figura 30, do processo de simulação do navio.

Na pesquisa de Legato e Mazza não se considera o problema de escolha, alocação ou disponibilidade de equipamentos de costado (portêineres, MHC ou guindastes de bordo) e dos ternos das operações do navio.



**Figura 30 - Fluxo simplificado de LEGATO e MAZZA (2000)**

Outro exemplo que agrega diferentes aspectos de um terminal de contêineres encontra-se em CARDOSO e TELES (1997) que desenvolveram um fluxo

simplificado das operações no sistema de terminal portuário por meio do uso de simulação discreta, utilizando a linguagem *General Purpose Simulation System* (GPSS) com grande preocupação para as tábuas de marés, conforme a figura 31. As tábuas de marés e a condição de calado dos berços não foram consideradas como restrições, assim como não foram considerados os processos de filas de carretas ou o tempo de transferência entre pilhas e chassis.

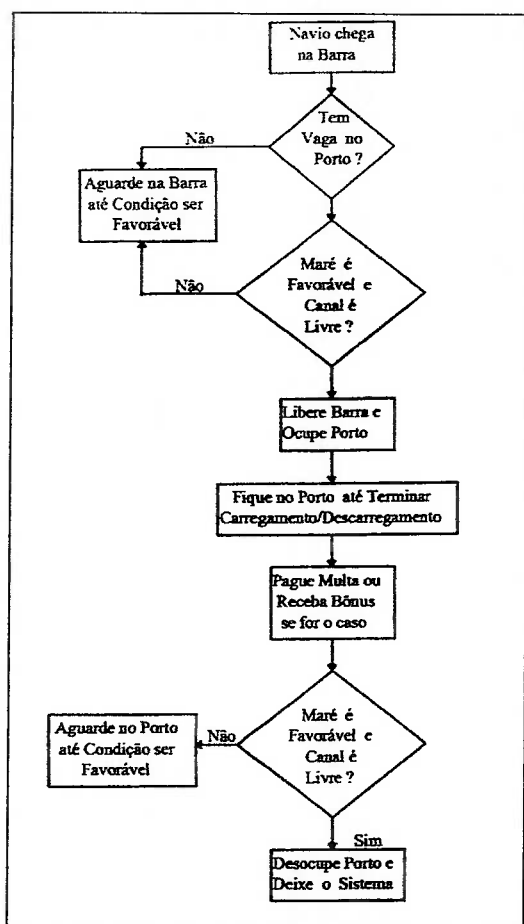


Figura 31 - Fluxo simplificado de CARDOSO e TELES (1997)

### 3.3 Conclusão sobre a revisão bibliográfica

O problema de planejamento de berço deve ser tratado como uma atividade de extrema importância nos processos dos terminais de contêineres, não apenas no âmbito operacional, na designação do navio ao berço, de acordo com contratos, prioridades ou pela sua ordem de chegada; mas em nível estratégico, na definição do tamanho de cais e do número de berços necessários para atender a demanda projetada ou na distribuição dos tempos de janela de tempo de atracação entre os diversos serviços e armadores, buscando a redução dos tempos de fila dos navios e reduzindo possíveis congestionamentos.

Esse problema foi tratado por vários autores e por meio de diversas heurísticas e modelos, desde a simples análise de chegadas até o uso de algoritmos genéticos para sua resolução, que em muitos casos violam a seqüência de atendimento dos navios em função direta da ordem de chegada, o que é um item contratual, o qual não permite a violação ou relaxação da fila a menos que o navio que violou a ordem de atendimento libere o cais antes do término das operações do outro navio atracado.

Contudo, em nenhuma bibliografia pesquisada foi tratado o problema da janela ótima de tempo de atracação fornecida pelo terminal ao armador.

Nesta pesquisa ela é tratada por meio de simulação discreta.

## **CAPÍTULO 4 – MODELO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE REGRAS DE ATRACAÇÃO EM TERMINAIS DE CONTÊINERES.**

Buscou-se modelar as chegadas de um terminal de contêineres por simulação, visto ser esta uma técnica consagrada e sugerida por diversos autores que foram revisados e, especialmente, pela facilidade de se representar com mais detalhes as operações de atracação e operação dos navios.

No âmbito desta pesquisa, representar a ocupação do cais por metro linear em função do tamanho dos navios só é possível com emprego de simulação. Foi utilizada uma interface feita em EXCEL, e o software ARENA para a modelagem dos dados iniciais.

### **4.1 Descrição do modelo**

Conforme descrito anteriormente, o tempo disponível para atracação é dividido em janelas de tempo, isto é, um período de tempo em horas oferecido pelo terminal ao armador num determinado dia para que este atraque o seu navio com a garantia de reserva de berço para atracação ou o pagamento de penalidades pelo terminal caso este chegue na janela determinada e não possa atracar em virtude de não haver berço ou espaço de cais disponível.

Os navios chegam segundo uma distribuição estatística, cujo intervalo médio de chegadas é o período em análise (aproximadamente nove meses de chegadas reais de navios disponibilizado por um terminal de contêineres do Porto de Santos)

dividido pelo número de navios que atracarem nesse período (ou chegadas são lidas diretamente de um arquivo fornecido pelo terminal mencionado anteriormente).

O modelo verifica as seguintes situações:

Primeiro se o navio chegou antes da janela de tempo acordada. Nesse caso, o armador arcará com todos os custos de espera até o início de sua janela de tempo, e o terminal poderá ou não atendê-lo, dependendo da disponibilidade e da programação de seus berços.

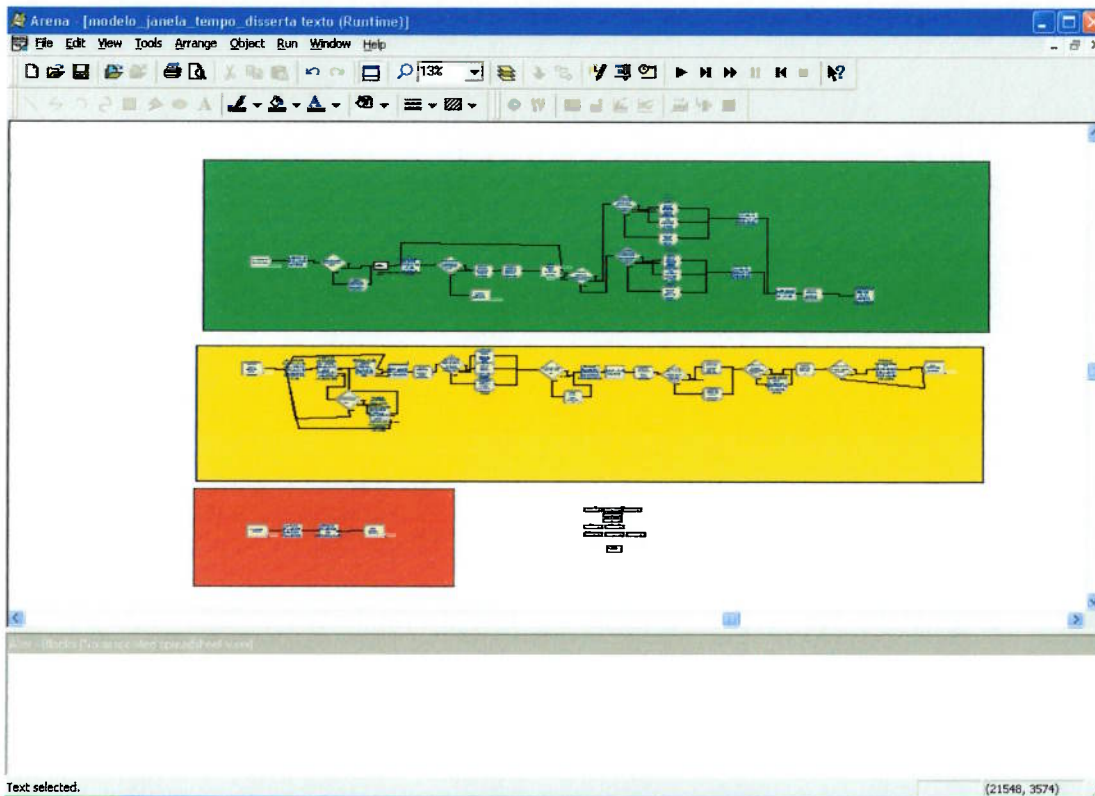
Com o navio chegando dentro da janela de tempo, o terminal deve conceder a atracação imediata do navio em um berço que atenda às suas características de comprimento (LOA) e calado. Caso não seja possível atracar o navio em virtude de problemas operacionais, os custos serão de responsabilidade do terminal independente do ocorrido.

Quando o navio chega após a janela de tempo estipulada, o terminal está livre das penalidades de espera e atenderá esse navio quando houver espaço na programação dos berços ou for possível violar ou relaxar a fila, isto é, atracar o navio desde que atenda às condições de comprimento de berço e cuja somatória de tempos seja menor ou igual a do navio atracado.

O modelo apresentado é caracterizado por três blocos, conforme demonstra a figura 32:

- O primeiro bloco lê as características dos navios e os coloca em fila.

- O segundo bloco aloca os navios aos berços à medida que os navios são gerados.
- O terceiro bloco escreve as estatísticas ao final do modelo.



**Figura 32 – Blocos do modelo da simulação em ARENA**

O primeiro bloco é o responsável pela leitura das características dos navios e por colocá-los em fila, isto é, cria a entidade de leitura de dados. Em seguida, a entidade lê os parâmetros básicos de simulação, que são: o tempo de duração da simulação em minutos; as chaves do tipo do modelo, que é 0 para tamanho de cais e 1 para o número de berço; o tipo de chegada de navios, que são 0 quando os dados são lidos do arquivo e 1 quando é gerado por intervalo de tempo; as chaves de



permissão de violação ou relaxação da fila, se for 0 não ocorre a violação ou relaxação da fila e se for 1 a violação é permitida.

A violação ou relaxação de fila ocorre quando os berços ocupados pelos navios que estão em operação não permitem a atracação do primeiro navio em fila, nesses casos, o terminal, por meio de tentativa, procura um dos navios em fila que atenda a condição de comprimento de berço e cuja somatória de tempos (navegação, manobra, atracação, operação e desatracação) seja menor ou igual ao do navio atracado, o que restringe a atracação do primeiro navio em fila; contudo, na prática, há riscos de ocorrer algum problema de ordem operacional com esse navio que violou a fila e o terminal acaba penalizando o primeiro navio da fila e gerando custos.

Ainda sobre o primeiro bloco, que é o responsável pela leitura das características dos navios e de sua colocação em fila, existem outras características como: o intervalo de navios (em minutos) quando a chave do modelo é do tipo 1, isto é, gerada por intervalo; a distância entre cada um dos navios, 10 metros para cada um, quando a chave do tipo do modelo é 0; o número de berços, para quando a chave do tipo de modelo for igual a 1; tamanho de cais (em metros) quando a chave do tipo do modelo for igual a 0; o número de navios a serem lidos do banco de dados; o tamanho da janela de tempo (em minutos) quando o tipo de chegada de navios for igual a 1, isto é, gerado por intervalo de tempo; o coeficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios, quando o tipo de chegada dos navios for igual a 1; o custo diário do navio estipulado em US\$ 40.000,00 e a penalidade horária de US\$ 1.200,00 paga em caso de espera do navio por responsabilidade do terminal.

As figuras 33 e 34 representam o menu de interface do modelo e a descrição das variáveis e chaveamentos deste.

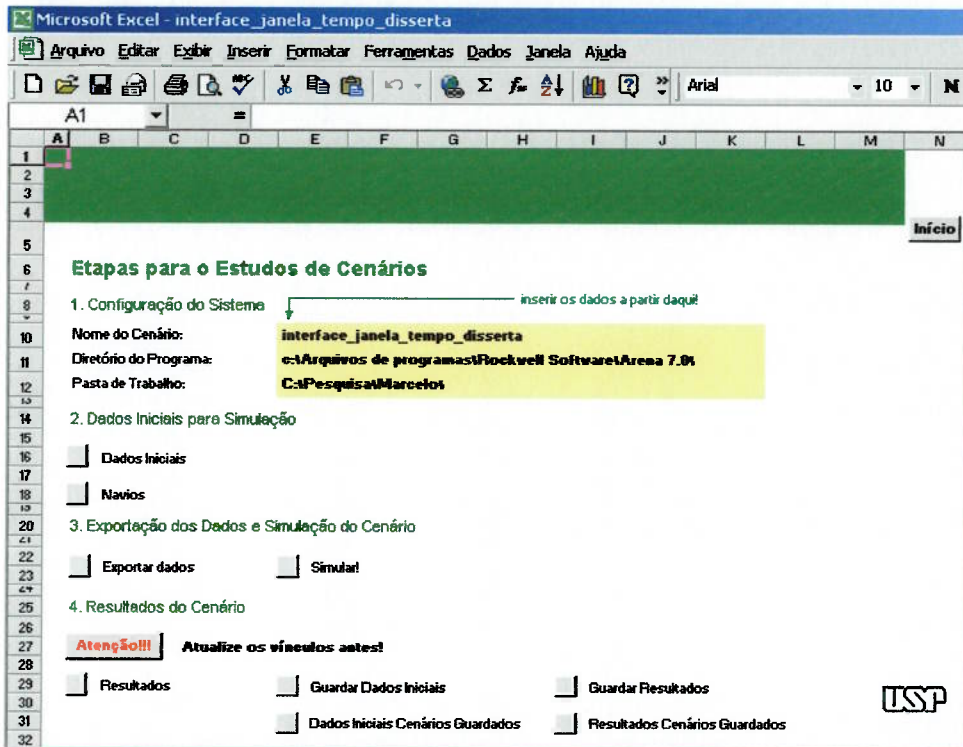


Figura 33 – Menu da interface do modelo em EXCEL

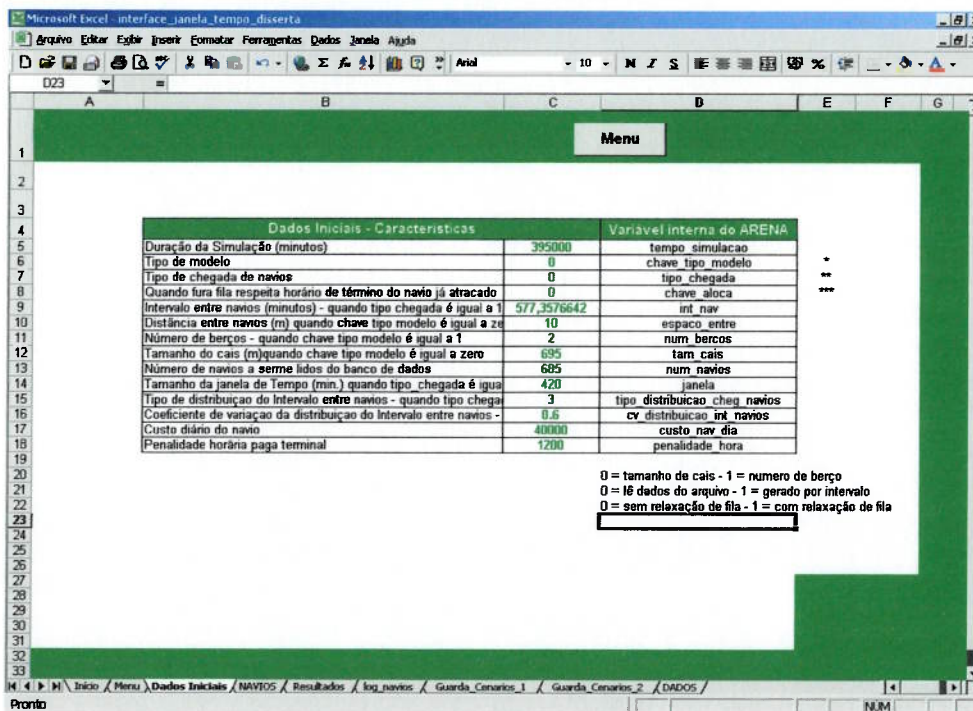
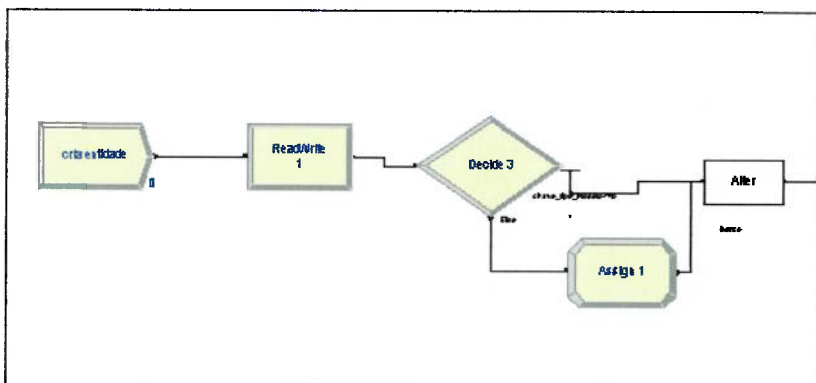


Figura 34 – Descrição das variáveis e chaveamentos do modelo

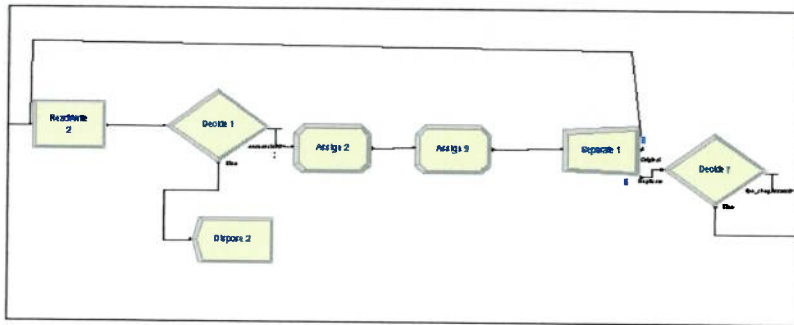
Continuando a descrição do primeiro bloco, o passo seguinte do modelo é a decisão da escolha de leitura dos navios do banco de dados ou da geração dos navios. A decisão seguinte é a associação dos parâmetros quando o modelo simula o número de berços ou a adição do número de berços lido na interface. A figura 35 demonstra estas entidades no modelo.



**Figura 35 – Entidades do primeiro bloco do modelo**

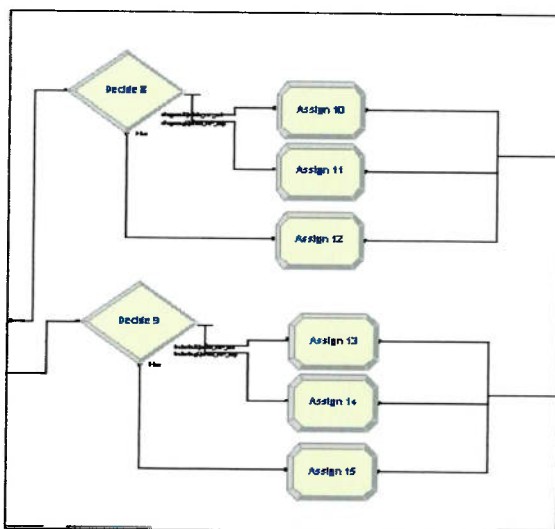
O evento seguinte no modelo é a leitura das características de cada chegada do navio constante do banco de dados. Nesse momento são considerados alguns atributos tais como: a sequência do navio, seu LOA, os tempos de chegada na barra, atracação e desatracação, a quantidade de contêineres de embarque, descarga e remoções.

Em seguida, o modelo verifica a quantidade gerada de navios existentes no banco de dados e termina a leitura. Na sequência, associa cada navio à sua janela de tempo de atracação, sorteia o instante de chegada do navio e duplica a entidade para geração de um novo navio. Depois verifica se o instante de chegada é gerado ou lido do banco de dados; conforme figura 36.



**Figura 36 - Entidades do primeiro bloco do modelo**

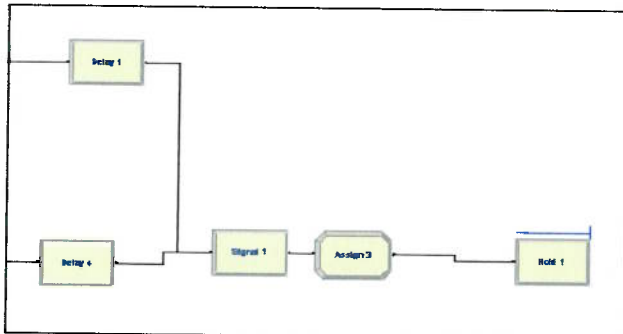
Após a verificação do instante de chegada do navio, o modelo faz três verificações tanto para navios gerados como para os lidos do banco de dados, sendo estas: a marcação do tempo em fila do navio que chegou antes da janela de tempo acordada, pois o navio apenas atracará a partir do início da janela; investiga se o navio chegou depois da janela e tem baixa prioridade e arcará com o tempo em fila até conseguir berço disponível. Por fim, marca o atributo do navio que chegou dentro da janela de tempo estipulada, de acordo com a figura 37.



**Figura 37 - Entidades do primeiro bloco do modelo**

A etapa final do primeiro bloco é mostrada na figura 38. Trata-se da inserção do navio no sistema, no instante de sua chegada, da emissão de sinal da chegada do

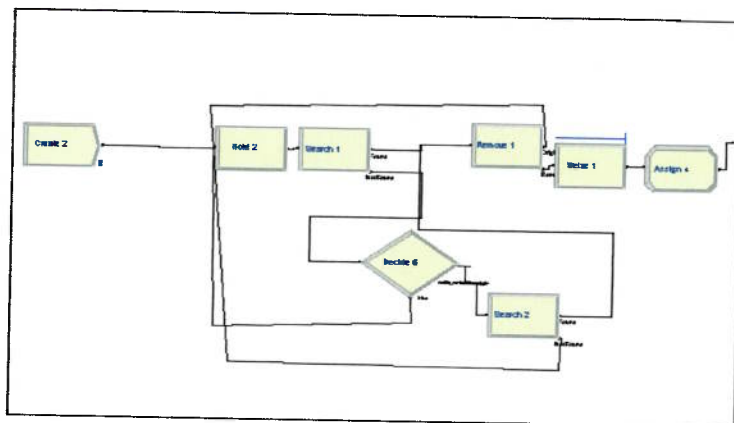
navio, do registro do instante da chegada do navio gerado e do aguardo do navio em fila até haver posição compatível e disponível.



**Figura 38 - Entidades do primeiro bloco do modelo**

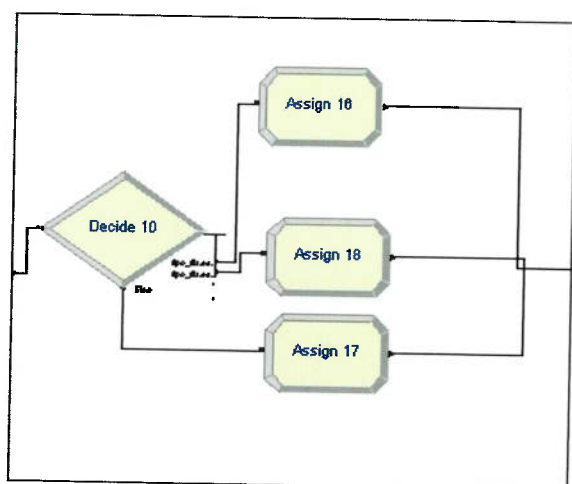
O segundo bloco é o responsável pela alocação dos navios aos berços, à medida que os navios são gerados, criando a entidade que aloca o navio à posição de berço disponível e aguarda até o navio chegar. No momento da emissão de sinal da chegada do navio, é verificado se há espaço ou berço disponível para atracar o primeiro navio da fila e se a fila de navio é maior que 1.

Nas situações em que a fila é maior que 1, o modelo analisa se há um navio compatível para atracar, respeitando a chave do modelo. As duas próximas etapas são a alocação do berço por unidade ou espaço e o registro do instante da alocação e demais estatísticas, representadas pela figura 39.



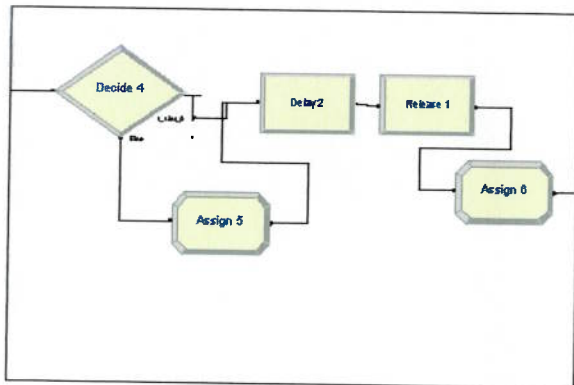
**Figura 39 - Entidades do segundo bloco do modelo**

Continuando a explicação do segundo bloco do modelo, conforme a figura 40 abaixo, ocorre o processo de soma do tempo em fila para os navios que chegaram antes da janela de tempo e ficaram em fila por conta do terminal, a parcela do tempo em fila dos navios que chegaram dentro da janela de tempo e cujos os custos serão pagos pelo armador e dos navios que chegaram depois da janela de tempo e o armador será responsabilizado pelo tempo total em fila.



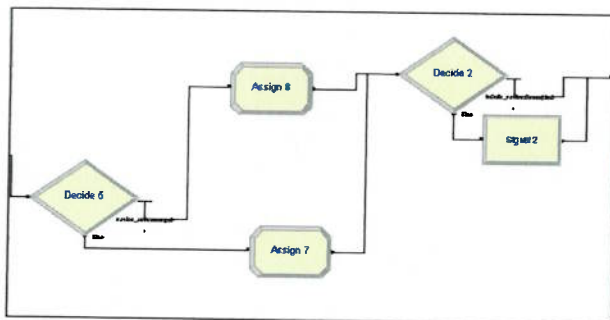
**Figura 40 - Entidades do segundo bloco do modelo**

A sequência do segundo bloco do modelo está representada na figura 41, na qual é feita a verificação se o navio ficou ou não em fila. Além disso, realiza o cálculo de quantos navios ficaram em fila e cumpre o tempo de atracação, operação e desatracação; após o evento de liberação do navio do cais, deixando o berço livre para registro do tempo de liberação do cais e demais estatísticas.



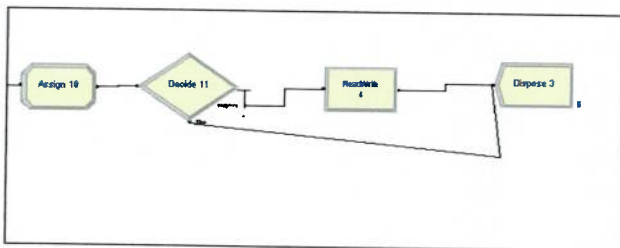
**Figura 41 - Entidades do segundo bloco do modelo**

O modelo investiga, o navio após deixar o berço, se ainda existem outros navios em operação e marca dois tempos: o tempo que o próximo navio irá desatracar e um tempo elevado quando não há navios ainda atracados. Sucessivamente o modelo verifica se a fila de navios remanescentes é zero. Logo após, é emitido um sinal para a entidade alocadora de navio ao berço. Esse trecho do modelo é apresentado na figura 42.



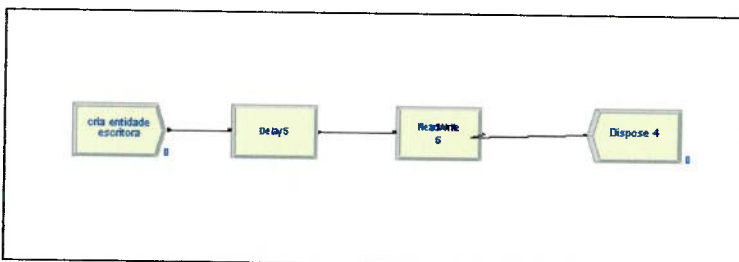
**Figura 42 - Entidades do segundo bloco do modelo**

Na figura 43, é apresentado o trecho final do segundo bloco, em que são computados os custos dos navios em fila e realizada a verificação do número de replicação (se é a primeira ou não!). Um arquivo com as características e tempo de cada navio atendido é escrito e, por fim, é feita a eliminação da entidade navio do sistema.



**Figura 43 - Entidades do segundo bloco do modelo**

O terceiro bloco escreve as estatísticas ao final do modelo, criando uma entidade escritora e avançando o tempo até o final da simulação. Os resultados do processamento são escritos e é realizada a eliminação da entidade escritora, conforme figura 44.



**Figura 44 – Entidades do terceiro bloco do modelo**



Tais simulações foram realizadas com auxílio do software ARENA e o modelo foi aplicado para um terminal de contêineres do tipo multiusuário com dois berços de atracação ou 695 metros.

Esses valores têm como base a operação de um terminal de contêineres no porto de Santos, cujos valores se adaptam à realidade brasileira conforme será mostrado na tabela 18 (AVERSA, 2001) e informações atualizadas de infra-estrutura de berço dos terminais em 2004.

Considerações sobre alguns terminais indicados na tabela 18: o Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP) possui atualmente 655 metros de extensão de cais, em uma terceira fase de seu projeto de expansão; em 2007, ampliará a extensão para 750 metros e, em 2012, na quarta fase, para 1.000 metros de cais linear.

O Terminal 37, em Santos, possui 1.100 metros de extensão total de cais com cinco berços, contudo, apenas quatro berços são operacionais com recursos de terra. Desses quatro berços, dois berços do contrato da área do antigo armazém 37 (berços chamados de 37.1 e 37.2) possuem 375 metros de extensão, e os outros dois berços têm 470 metros de extensão na área do antigo armazém 35 e respectivo pátio contíguo.

Recentemente, o Terminal da Rio Cubatão deixou as operações de contêineres, no entanto, sua estrutura estava definida em cinco berços, sendo dois berços para carga geral, um berço para chapa de aço/bobinas/granel e eventualmente contêineres e dois berços eram exclusivamente para as operações de contêineres.

O Terminal de Contêineres de Salvador (TECSAL), possui dois berços com 454 metros extensão, sendo um berço com 214 metros e, o outro com 240 metros.

**Tabela 18 – Características dos principais berços de terminais de contêineres do Brasil**

	Porto	Terminal	Início de Operação	Berços	
				Quantidade	Extensão
1	Rio Grande	TECON	Março/97	2	600
2	Itajaí	TECONVI	Outubro/01	3	740
3	São Francisco		Março/98	1	240
4	Paranaguá	TCP	Outubro/98	2	655
5	Santos	Santos-Brasil	Dezembro/97	3	760
6	Santos	T37	Novembro/95	2	375
7	Santos	T35	Abril/97	2	470
8	Santos	Rio Cubatão	Dezembro/97	2	ND
9	Santos	TECONDI	Agosto/00	1	220
10	Sepetiba	TECON	Fevereiro/00	2	540
11	Rio de Janeiro	T1 – Libra	Maio/98	2	545
12	Rio de Janeiro	MultiRio	Maio/98	2	533
13	Vitória	TVV	Maio/98	2	440
14	Salvador	TECSAL	Março/00	2	454
15	Suape/Recife	TECON	Outubro/99	3	660

Fonte: AVERSA (2001)

#### 4.2 Operacionalização do modelo de simulação

Foi desenvolvida uma interface, a qual exporta os dados reais de 685 navios: data/hora de atracação (ATB), data/hora de saída do navio (ATD), o LOA do navio; a movimentação de descarga, embarque, remoções e o total de movimentos, conforme ilustra a figura 45. Os dados relacionados ao tempo são mostrados sempre em minutos.

Id	Profundidade do Navio	Instante da Chegada (min)	Instante da Atracação (min)	Instante da Desatracação (min)	Movimentos In	Movimentos Out	Filações	Total Movimentos
1	208,0	0,0	462	2020	560	0	42	542
2	185,0	300	720	3225	410	600	0	1020
3	183,7	180	2034	3230	5	281	0	282
4	184,1	180	1820	2862	143	340	80	380
5	211,5	180	2384	4800	431	175	4	670
6	175,0	180	3042	3940	546	81	116	195
7	244,0	182	3435	5804	37	334	0	377
8	250,0	420	4825	6630	0	63	10	83
9	185,0	5424	5525	6630	0	398	4	402
10	286,3	5701	6770	8822	0	83	10	103
11	200,0	5736	6944	7094	0	30	4	34
12	208,2	6030	6730	7094	0	398	0	398
13	207,0	6600	7650	7775	76	300	72	457
14	220,4	780	8034	8424	27	382	106	515
15	243,2	830	8802	8947	13	364	21	398
16	174,0	8770	8802	10476	682	245	0	927
17	207,0	8796	9084	8991	254	10	0	273
18	200,0	8820	9086	10295	57	204	25	286
19	207,4	9330	8955	10300	86	132	5	223
20	175,0	9396	10095	10095	471	56	16	543
21	256,3	10021	10090	10000	52	144	76	272
22	183,7	1052	10712	10900	0	325	85	380
23	243,4	1052	13820	11800	461	0	0	461
24	208,4	12282	10866	12942	628	73	10	611
25	211,9	14160	14388	14388	206	338	80	624
26	178,0	1612	16708	14905	44	464	113	561
27	256,3	1715	16425	16480	21	258	0	279
28	244,0	18044	16550	16795	481	182	4	667
29	183,0	16380	16380	16380	27	513	81	599
676	172,5	385212	388095	289370	2	284	2	288
677	244,8	385760	388805	390390	377	536	23	936
678	194,0	386220	388080	387327	30	381	0	411
679	207,0	388438	388080	388640	31	20	0	51
680	256,3	388080	387700	388520	1	362	0	363
681	194,0	390042	390002	390300	880	140	0	1060
682	184,1	390790	390175	391206	0	36	0	36
683	256,3	390530	390330	391225	61	189	12	262
684	182,0	390990	391020	391260	14	287	46	427
685	243,4	391750	391440	392495	367	320	0	677
686	183,0	39820	39820	39820	38	484	0	518
687	183,0	392262	392580	394380	19	290	0	309
688	220,5	392638	393498	393943	304	0	0	304
689	584	394800	394950	394360	343	77	0	420
690	585	178,0	395430	395335	201	252	12	465
691			396300	396336	159	131	0	290

Figura 45 – Dados utilizados na simulação

A rigor, o modelo usará somente os dados sobre chegada e atendimento (desatracação e atracação). O tempo de fila dos 685 navios da base de dados servirá para base de validação do modelo de simulação. As movimentações de contêineres realizadas devem ser alvo de análise futura.

O menu da interface desenvolvida, a descrição das variáveis e os possíveis chaveamentos, para o tipo de modelo, tipo de chegadas de navios e quando há violação da fila. A restrição de término do navio foi mostrada anteriormente nas figuras 33 e 34 (na página 89) respectivamente.

A duração da simulação neste estágio da pesquisa é correspondente a 395.000 minutos, o que representa a base de dados. A interface permite utilizar o modelo que simula a ocupação linear do cais ou simula a ocupação de um número fixo de berços.

O usuário pode ler as chegadas e demais características de um banco de dados ou gerar as chegadas fornecendo um intervalo entre navios; nesse caso o modelo utilizará a janela de tempo indicada e no caso de esta ser igual a zero, gerará navios com espaçamento constante de tempo.

O usuário poderá ainda optar se, quando houver a violação ou relaxação da fila, ele respeitará ou não o horário de término do navio já atracado. Os demais dados da interface foram explicados anteriormente e encontram-se presentes de forma auto-explicativa na figura 34.

São ainda registrados os resultados da simulação dos navios gerados, dos navios atendidos, navios em fila ao final da simulação, tempo médio em horas dos navios em fila, o tempo médio em horas dos navios em fila sem elementos com tempo zero de horas em fila, o número médio de navios em fila, utilização do cais, o número de navios em fila 1 que chegaram antes da janela de tempo, o número de navios em fila 2 que chegaram dentro da janela de tempo e o número de navios em fila 3 que chegaram após a janela de tempo estipulada.

São também registrados os custos de navio em fila para as três situações descritas anteriormente; quando o navio chega antes (custo navio fila 1) ou depois (custo navio fila 3) da janela de tempo e os custos são pagos pelo armador, e quando

o navio chega durante a janela de tempo e não é atendido (custo navio fila 2), os custos são pagos pelo terminal . A figura 46 demonstra estes dados.

RESULTADOS			
7	Navios Gerados	685,0	navios_gerados Menu
8	Navios Atendidos	683,0	navios_atendidos
9	Fila de navios ao final da simulação	0,0	Núm(fila_navios.Queue)
10	Tempo médio dos navios em fila (hs)	5,6	TAVG(fila_navios.Queue.WaitingTime/60)
11	Tempo médio dos navios em fila sem elementos com tempo zero de fila (hs)	14,6	soma_tempo_navios_em_fila(navios_que_ficaram_em_fila/60)
12	Número médio de navios em fila	0,6	DAVG(fila_navios.Queue.NumberInQueue)
13	Utilização do cais	0,7	DAVG(berco.utilization)
14	navio em fila 1	675,0	conta_navio(1)
15	tempo médio fila 1	54,4	media_fila_navio(1) (hs)
16	navio em fila 2	683,0	conta_navio(2)
17	tempo médio fila 2	5,6	media_fila_navio(2) (hs)
18	navio em fila 3	1,0	conta_navio(3)
19	tempo médio fila 3	0,0	media_fila_navio(3) (hs)
20	custo navio fila 1	61224603,6	custo_navio_fila_1
21	custo navio fila 2	27306650,5	custo_navio_fila_2
22	custo navio fila 3	0,0	custo_navio_fila_3
23	custo navio fila total	68531254,1	custo_navio_fila_total

**Figura 46 –Resultados da simulação**

Na figura 47 estão registrados os resultados de *log* dos navios, além das informações mencionadas anteriormente, tais como: seqüência, LOA do navio, dados de chegada, atracação, operação e desatracação em minutos, quantidade de navios em fila, tempos de fila e custos dos navios em fila.

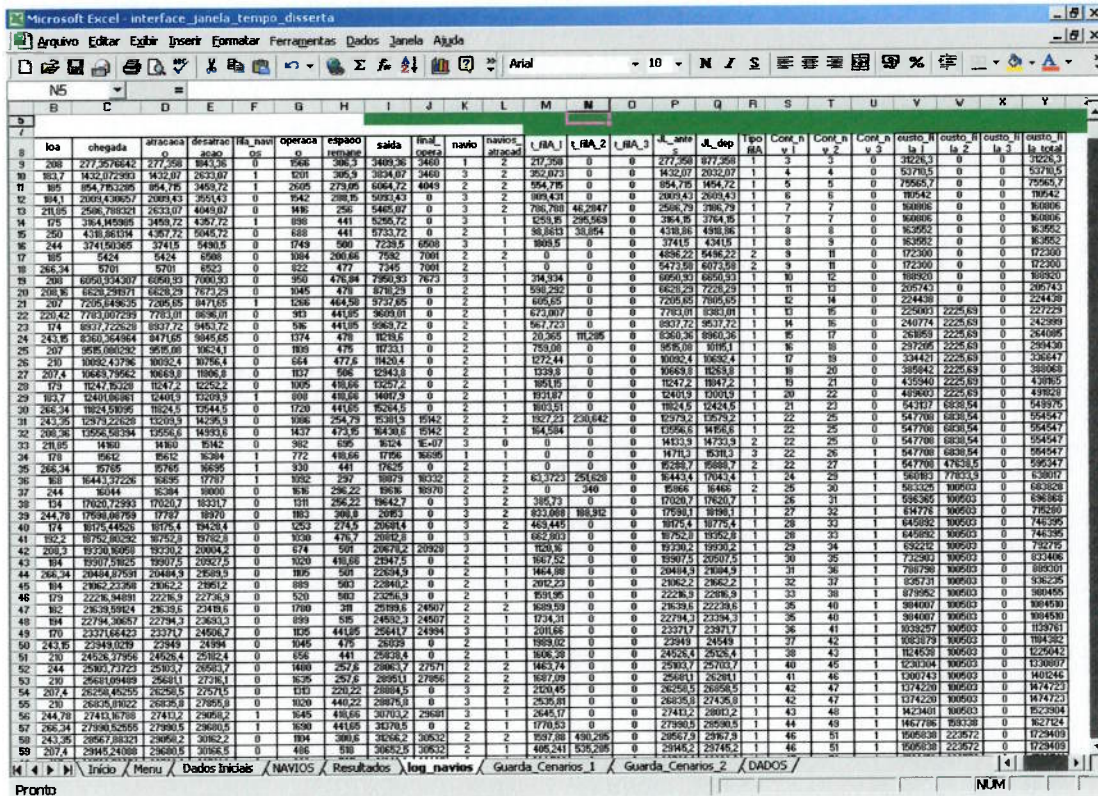


Figura 47 – Resultados de log do navio

Nessa mesma interface EXCEL são guardados os dados dos cenários que foram realizados na simulação com as características iniciais, como o tempo de duração da simulação em minutos; o tipo de modelo, o tipo de chegada de navios, quando ocorre a violação da fila e respeita o término do navio atracado; o intervalo entre navios em minutos, quando o tipo de chegada é igual 1; a distância em metros entre navios quando a chave do modelo é igual a 0; o número de berços quando a chave do modelo é igual 1; o tamanho de cais em metros quando a chave tipo do modelo é igual a zero; o número de navios a serem lidos; tamanho da janela de tempo em minutos; o tipo de distribuição do intervalo entre navios, quando o tipo de chegada é igual 1; o coeficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios;

o custo diário do navio e a penalidade horária paga pelo terminal, conforme será apresentado na figura 48.

Na figura 49 serão mostrados os resultados de cada um desses cenários, os quais são guardados em outra guia. O número de navios gerados e atendidos, a fila de navio ao final da simulação, tempo médio dos navios em fila, tempo médio dos navios em fila sem elementos com tempo zero de filas em horas, o número médio de navios em fila, utilização de cais e custos recorrentes da chegada do navio antes, durante ou depois da janela de tempo estipulada entre o terminal e o armador.

Dados Iniciais - Características		28/03/05 10:42 AM	28/03/05 10:41 AM	28/03/05 10:40 AM	28/03/05 10:39 AM	28/03/05 10:35 AM	28/03/05 10:34 AM	28/03/05 10:31 AM	28/03/05 10:30 AM
7	Duração da Simulação (minutos)	335000	335000	335000	335000	335000	335000	335000	335000
8	Tipo de modelo	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Tipo de chegada de navios	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Quando fora da fila recebe horário de término do navio já atacado	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Intervalo entre navios (minutos) - quando tipo chegada é igual a 1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Distância entre navios (m) quando chave tipo modelo é igual a zero	877,3576642	877,3576642	877,3576642	877,3576642	877,3576642	877,3576642	877,3576642	877,3576642
13	Número de tempos - quando chave tipo modelo é igual a zero	2	2	2	2	2	2	2	2
14	Tamanho do cais (m) quando chave tipo modelo é igual a zero	2	2	2	2	2	2	2	2
15	Número de navios a serem lidos do banco de dados	635	635	635	635	635	635	635	635
16	Tamanho da janela de Tempo (min) quando tipo chegada é igual a 1	635	635	635	635	635	635	635	635
17	Tipo de distribuição do intervalo entre navios - quando tipo chegada é igual a 1	30	30	30	30	30	30	30	30
18	Coefficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios - quando tipo chegada é igual a 1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Custo diário do navio	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000	48000
20	Penalidade horária paga terminal	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Figura 48 – Guia com os cenários dos dados iniciais

	28/3/05 10:12 AM	28/3/05 10:11 AM	28/3/05 10:10 AM	28/3/05 10:39 AM	28/3/05 10:35 AM
Navios Gerados	685,0	685,0	685,0	685,0	685,0
Navios Atendidos	682,0	682,0	682,0	682,0	682,0
Fila de navios ao final da simulação	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo médio dos navios em fila (hrs)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Tempo médio dos navios em fila sem elementos com tempo zero de fila (hrs)	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Número médio de navios em fila	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Utilização do cais	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
navio em fila 1	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0
tempo médio fila 1	58,7	58,4	59,2	601,9	680,0
navio em fila 2	681,0	681,0	681,0	681,0	681,0
tempo médio fila 2	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
navio em fila 3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
tempo médio fila 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
custo_navio_fila 1	6850000,6	6830477,3	6802244,0	6573891,6	65495544,6
custo_navio_fila 2	0,0	0,0	0,0	0,0	4562522,8
custo_navio_fila 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
custo_navio_fila total	6850000,6	6830477,3	6802244,0	6573891,6	70058067,4

Figura 49 – Guia com os resultados dos cenários

## CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DO MODELO

### 5.1 Análise dos dados

A análise dos dados realizada neste estudo compreende basicamente três itens: os intervalos de chegada, os tempos de atendimento e a análise por meio de gráficos dos resultados das simulações.



### 5.1.1 Intervalos de Chegada

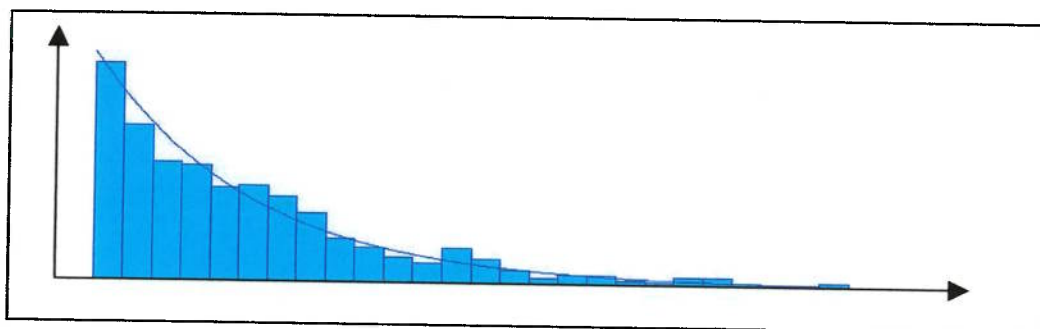
Os intervalos entre as chegadas dos 685 navios da base de dados foram analisados por meio do *Input Analyser* do programa ARENA e em consonância ao apresentado por BOTTER (2002).

Os resultados da figura 50 demonstram que nos dois testes de aderência realizados: “Qui-quadrado” e “Kolmogorov-Smirnov” não pode ser rejeitada a hipótese de que a distribuição entre chegadas seja exponencial.

O valor de “p-value” encontrado em ambos os testes supera valores convencionais de 10% de significância para testes de hipóteses.

Distribution Summary	
Distribution:	Exponential
Expression:	-0.001 + EXPO(577)
Square Error:	0,001365
Chi Square Test	
Number of intervals	17
Degrees of freedom	15
Test Statistic	17,7
Corresponding p-value	0,283
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	0,039
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	685
Min Data Value	0
Max Data Value	2800
Sample Mean	577
Sample Std Dev	534
Histogram Summary	
Histogram Range	= -0.001 to 2.8e+003
Number of Intervals	26

**Figura 50 – Resultado dos testes de aderência dos intervalos de chegada**



**Figura 51 – Gráfico dos intervalos de chegadas**

Cabe observar que a curva de intervalo entre chegadas exponenciais, representada na figura 51 acima, é típica de diversos sistemas de filas e já foi relatada para terminais por NOVAES (1975).

### **5.1.2 Tempos de Atendimento**

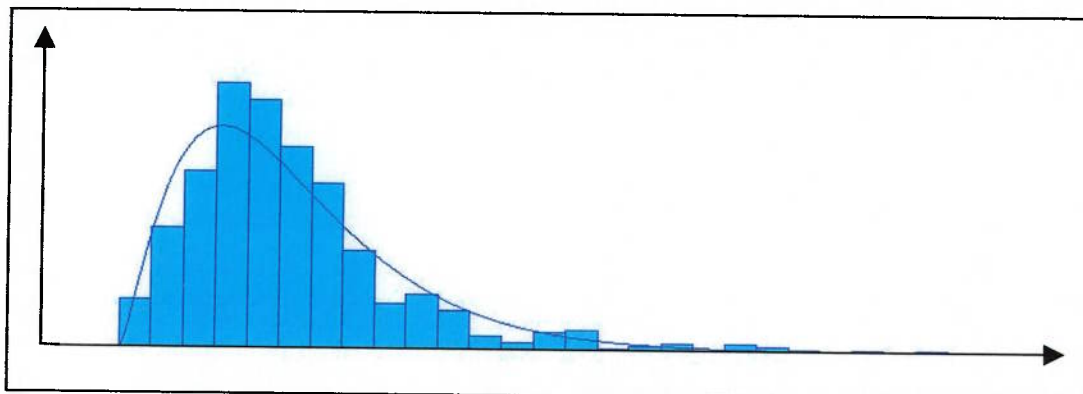
Da mesma forma que no item 5.1.1 – Intervalo de chegadas, os tempos de atendimento foram analisados por meio da figura 52. Conclui-se que a melhor distribuição teórica aderida “Gamma” não é aceitável, em virtude de seus valores de “p-value” serem muitos baixos.

Optou-se, portanto, por utilizar os tempos observados dos 685 navios, pois uma consulta ao terminal que os disponibilizou não recomendou o expurgo de qualquer valor, especialmente os valores altos.

Isso se explica, em razão de o tempo de permanência do navio entre a desatracação e a atracação, incluir diversas paralisações. A figura 53 representa o gráfico de atendimentos.

Distribution Summary	
Distribution:	Gamma
Expression:	294 + GAMM(419, 2.44)
Square Error:	0,004731
Chi Square Test	
Number of intervals	15
Degrees of freedom	12
Test Statistic	42,4
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	0,0611
Corresponding p-value	0,0122
Data Summary	
Number of Data Points	685
Min Data Value	294
Max Data Value	5270
Sample Mean	1320
Sample Std Dev	663
Histogram Summary	
Histogram Range	= 294 to 5.27e+003
Number of Intervals	26

**Figura 52 – Resultado dos testes de aderência dos intervalos de atendimento**



**Figura 53 – Gráfico de atendimentos**

### 5.1.3 Análise dos Resultados das simulações

Nesta seção serão analisados os resultados das simulações, realizadas comparações entre os tipos de chegada, podendo ser esses dados lidos diretamente do arquivo (chave 0) e dados gerados por intervalo (chave 1).

Dessa forma, as comparações serão realizadas conforme tabela abaixo:

**Tabela 19 – Comparação entre cenários lidos do arquivo**

Dados Iniciais	Cenário 1	Cenário 2
Tipo do modelo	0	0
Tipo de chegada	0	0
Violação de fila	0	1

**Tabela 20 - Comparação entre cenários gerados pelo modelo**

Dados Iniciais	Cenário 3	Cenário 4
Tipo do modelo	0	0
Tipo de chegada	1	1
Violação de fila	0	1

Conforme descrito anteriormente, no capítulo 4, as chaves do tipo do modelo são 0 para tamanho de cais e 1 para o número de berço; o tipo de chegada de navios, que é 0 quando os dados são lidos do arquivo e 1 quando é gerado por intervalo de tempo; as chaves de permissão de violação ou relaxação da fila, se forem 0 não ocorre a violação ou relaxação da fila e se forem 1 a violação é permitida.

O tamanho da janela de tempo estipulada nas simulações variaram de 30 a 600 minutos com intervalos de 30 minutos.

Foram simulados diversos tipos de distribuição do intervalo de navios, conforme tabela 21:

**Tabela 21 – Relação do valor da chave e do tipo de distribuição**

Valor da chave	Tipo de distribuição
1	Exponencial
2	Erlang 2
3	Erlang 3
4	Erlang 4
5	Média (determinístico)
6	Normal
7	Triangular
8	Uniforme

### 5.1.3.1 Análise dos resultados das simulações de dados lidos do arquivo

O resultado das simulações de dados lidos do arquivo com tipo de distribuição exponencial estão representados na tabela 22.

Nessas simulações não ocorreram variações de valores dos custos dos navios em fila; não importou a variação do tipo de distribuição, os resultados foram os mesmos para Erlang 2, Erlang 3, Erlang 4, Média, Normal, Triangular e Uniforme; portanto será apresentado apenas os dados e gráficos da distribuição exponencial.

**Tabela 22 - Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados lidos do arquivo e tipo de distribuição exponencial**

min.	000			001		
	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
30	66.588.810,62	0,00	0,00	66.588.810,62	0,00	0,00
60	66.305.477,29	0,00	0,00	66.305.477,29	0,00	0,00
90	66.022.143,96	0,00	0,00	66.022.143,96	0,00	0,00
120	65.738.810,62	0,00	0,00	65.738.810,62	0,00	0,00
150	65.455.544,61	4.562.922,77	0,00	65.455.544,61	6.765.829,64	0,00
180	65.172.627,94	4.563.232,70	0,00	65.172.627,94	6.766.139,56	0,00
210	64.890.096,31	4.563.832,70	0,00	64.890.096,31	6.766.739,56	0,00
240	64.607.596,31	4.564.610,95	0,00	64.607.596,31	6.767.517,81	0,00
270	64.325.457,02	27.267.050,51	0,00	64.325.457,02	40.433.698,98	0,00
300	64.043.373,68	27.270.650,51	0,00	64.043.373,68	40.437.298,98	0,00
330	63.761.290,35	27.274.250,51	0,00	63.761.290,35	40.440.898,98	0,00
360	63.479.207,02	27.277.850,51	0,00	63.479.207,02	40.444.498,98	0,00
390	63.197.123,68	27.281.450,51	0,00	63.197.123,68	40.448.098,98	0,00
420	62.915.040,35	27.285.050,51	0,00	62.915.040,35	40.451.698,98	0,00
450	62.632.957,02	27.288.650,51	0,00	62.632.957,02	40.455.298,98	0,00
480	62.350.873,68	27.292.250,51	0,00	62.068.879,76	40.462.498,98	0,00
510	62.068.879,76	27.295.850,51	0,00	62.068.879,76	40.462.498,98	0,00
540	61.787.213,10	27.299.450,51	0,00	61.787.213,10	40.466.098,98	0,00
570	61.505.853,61	27.303.050,51	0,00	61.505.853,61	40.469.698,98	0,00
600	61.224.603,61	27.306.650,51	0,00	61.224.603,61	40.473.298,98	0,00

Analisando os resultados da tabela 22 , na página anterior, nota-se que a melhor faixa para a oferta da janela de tempo de atracação pelo terminal, nesta comparação de dados da simulação lidos diretamente do arquivo, encontra-se entre 150 e 240 minutos.

O período de 150 minutos proporciona o menor custo do navio em fila a ser pago pelo terminal e o de 240 minutos o menor custo pelo armador e também o menor custo total do navio em fila.

As faixas anteriores a 150 minutos são curtas, o que faz com que o armador raramente chegue dentro da janela, arcando dessa forma com todo o custo em fila.

A faixa entre 270 e 600 minutos não representa uma redução significativa para os custos em fila a serem pagos pelo armador, contudo apresenta um aumento de praticamente seis vezes dos custos em fila a serem pagos pelo terminal.

No momento em que o terminal aumenta a faixa de tempo da janela de atracação, melhora o seu nível de serviço, porém os navios começam a chegar com mais frequência dentro da janela. Esse fato é comprovado pelo custo do navio em fila 3 ser igual a zero.

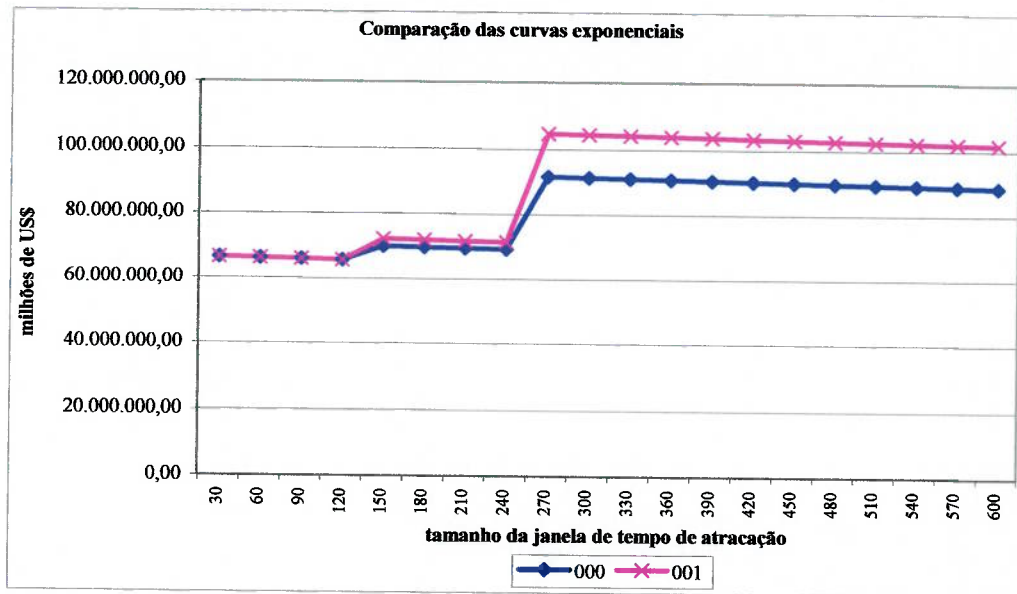
A tabela 23 apresenta o custo total do navio em fila dos navios considerados neste primeiro cenário de simulação com os dados lidos do arquivo

**Tabela 23 – Custo total do navio em fila na simulação de dados lidos do arquivo e tipo de distribuição exponencial**

Tempo (min)	Exponencial	
	000	001
30	66.588.810,62	66.588.810,62
60	66.305.477,29	66.305.477,29
90	66.022.143,96	66.022.143,96
120	65.738.810,62	65.738.810,62
150	70.018.467,38	72.221.374,24
180	69.735.860,64	71.938.767,50
210	69.453.929,01	71.656.835,87
240	69.172.207,26	71.375.114,12
270	91.592.507,53	104.759.155,99
300	91.314.024,19	104.480.672,66
330	91.035.540,86	104.202.189,33
360	90.757.057,53	103.923.705,99
390	90.478.574,19	103.645.222,66
420	90.200.090,86	103.366.739,33
450	89.921.607,53	103.088.255,99
480	89.643.124,19	102.809.772,66
510	89.364.730,28	102.531.378,74
540	89.086.663,61	102.253.312,08
570	88.808.904,12	101.975.552,59
600	88.531.254,12	101.697.902,59

É importante notar também que há um aumento na diferença entre os cenários com ou sem violação de fila. No cenário em que ocorre a violação de fila, há um aumento do custo total dos navios em fila de 3,1% entre as janelas de 150 a 240 minutos e um aumento de 12,6% a 12,9% entre o intervalo de janela de tempo de 270 a 600 minutos.





**Figura 54 – Comparação das curvas exponenciais para dados lidos do arquivo**

A figura 54, acima, representa a comparação das curvas exponenciais para os dados lidos diretamente do arquivo. Nesse gráfico é possível visualizar o aumento na diferença entre os cenários com ou sem violação de fila e o aumento do custo total dos navios em fila quando a faixa de tempo da janela supera os 240 minutos.

### 5.1.3.2 Análise dos resultados das simulações de dados gerados

Para os dados gerados na simulação, foram utilizados os mesmos tipos de distribuição do intervalo de navios conforme a tabela 21, mostrada anteriormente no item 5.1.3.1 – Análise dos resultados das simulações de dados lidos do arquivo.

É importante notar que os valores da simulação para as distribuições normal, triangular e uniforme apresentaram os mesmos resultados, conforme apresentado na tabela 24.

**Tabela 24 – Valores da simulação para as distribuições: normal, triangular e uniforme para dados gerados**

min.	Normal		Triangular		Uniforme	
	010	011	010	011	010	011
30						
60	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
90	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
120	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
150	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
180	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
210	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
240	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
270	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
300	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
330	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
360	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
390	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
420	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
450	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
480	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
510	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
540	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
570	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62
600	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62	149.861.594,01	242.698.475,62

Na tabela 25 são apresentados os dados referentes ao custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados das distribuições: normal, triangular e uniforme.

Observa-se que todos os custos do navio em fila serão por conta do terminal.

**Tabela 25 – Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados para as distribuições: normal, triangular e uniforme**

	010			011		
	min. custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
30	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
60	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
90	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
120	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
150	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
180	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
210	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
240	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
270	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
300	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
330	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
360	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
390	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
420	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
450	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
480	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
510	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
540	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
570	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00
600	0,00	149.861.594,01	0,00	0,00	242.698.475,62	0,00

A tabela 26 apresenta os resultados dos custos do navio em fila por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados para distribuição do tipo exponencial.

Estes dados serão foco de análise comparativa futura entre dados lidos diretamente do arquivo e dados gerados na simulação.

**Tabela 26 - Custos do navio em fila por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados e tipo de distribuição exponencial**

	010			011		
min.	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
30	85.517.219,96	27.480.838,11	8.309.823,54	85.517.219,96	46.960.281,47	14.000.712,69
60	85.367.173,16	50.450.909,65	8.295.932,11	85.367.173,16	138.758.716,72	13.982.559,79
90	85.217.300,10	45.456.180,89	8.287.101,01	85.217.300,10	119.508.118,07	13.964.647,31
120	85.067.641,60	52.029.709,04	8.284.006,07	85.067.641,60	162.339.360,30	13.961.368,29
150	84.918.240,86	57.500.054,54	8.276.113,76	84.918.240,86	175.590.204,08	13.946.869,58
180	84.768.972,39	54.239.160,82	8.263.954,73	84.768.972,39	170.370.072,26	13.923.331,72
210	84.619.768,77	68.399.321,90	8.251.026,59	84.619.768,77	185.342.521,69	13.903.967,00
240	84.470.682,20	70.836.299,16	8.220.169,61	84.470.682,20	197.469.356,80	13.878.454,94
270	84.321.799,21	70.960.021,82	8.209.781,77	84.321.799,21	184.074.662,55	13.827.169,98
300	84.173.167,63	69.845.235,80	8.188.685,76	84.173.167,63	196.411.897,76	13.873.257,97
330	84.024.738,86	69.281.457,40	8.171.065,24	84.024.738,86	199.561.579,93	13.878.055,93
360	83.876.498,09	71.667.688,38	8.152.161,74	83.876.498,09	202.205.473,74	13.843.107,38
390	83.728.396,95	77.403.917,22	8.134.028,44	83.728.396,95	202.963.677,77	13.808.030,49
420	83.831.802,39	79.446.744,91	8.120.860,73	83.831.802,39	219.261.972,70	13.778.098,57
450	83.683.957,35	90.284.096,92	8.107.960,81	83.683.957,35	247.573.966,05	13.750.475,36
480	83.536.254,88	90.744.190,58	8.099.291,80	83.536.254,88	247.495.040,77	13.747.070,78
510	83.388.687,09	91.227.809,58	8.075.202,13	83.388.687,09	262.006.195,80	13.797.996,78
540	83.241.372,74	106.917.807,19	8.062.662,19	83.241.372,74	264.007.217,89	13.694.715,70
570	83.094.304,94	107.649.121,96	8.053.916,08	83.094.304,94	264.849.012,41	13.676.155,14
600	82.947.551,18	108.612.957,98	8.037.480,98	82.947.551,18	267.804.423,29	13.643.973,52

De acordo com os dados da tabela 26, acima, verifica-se que a melhor faixa de janela de tempo de atracação a ser oferecida está entre 210 e 360 minutos.

Os custos do navio em fila 1 que são de responsabilidade do armador que chegou antes da janela estabelecida se mantêm com pouca variação entre 30 e 600 minutos.

Esse fato não se repete para o custo do navio em fila 2, que é de responsabilidade do terminal; a faixa abaixo dos 210 minutos compromete o nível de serviço oferecido apesar dos custos menores, contudo os custos na faixa acima de 390 minutos basicamente igualam os custos do navio em fila pagos pelo armador e pelo terminal.

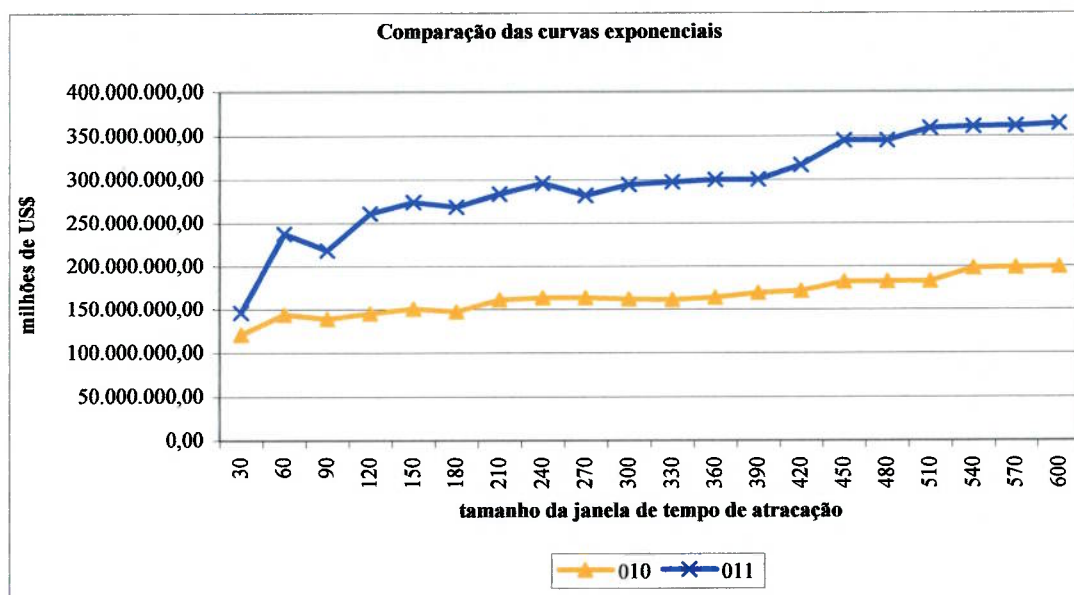
No caso de haver violação da fila, o terminal passa a ser responsável pela maior do custo da fila a partir dos 60 minutos de janela de tempo de atracação. Tal aumento é facilmente observado na coluna de custo do navio em fila 2 (custo navio 2) , na tabela 26.

A tabela 27 apresenta os custos totais da distribuição exponencial para dados gerados pela simulação.

**Tabela 27 - Custo total do navio em fila na simulação de dados gerados e tipo de distribuição exponencial**

Tempo (min)	Exponencial	
	010	011
30	121.307.881,62	146.478.214,12
60	144.114.014,92	238.108.449,68
90	138.960.582,01	218.690.065,48
120	145.381.356,72	261.368.370,20
150	150.694.409,16	274.455.314,51
180	147.272.087,93	269.062.376,37
210	161.270.117,26	283.866.257,46
240	163.527.150,97	295.818.493,94
270	163.491.602,80	282.223.631,74
300	162.207.089,20	294.458.323,35
330	161.477.261,50	297.464.374,72
360	163.696.348,21	299.925.079,21
390	169.266.342,61	300.500.105,21
420	171.399.408,03	316.871.873,66
450	182.076.015,07	345.008.398,76
480	182.379.737,26	344.778.366,44
510	182.691.698,80	359.192.879,67
540	198.221.842,12	360.943.306,33
570	198.797.342,97	361.619.472,48
600	199.597.990,13	364.395.947,99

A figura 55 apresenta o gráfico representativo da distribuição exponencial para os dados gerados.



**Figura 55 - Comparação das curvas exponenciais para dados gerados**

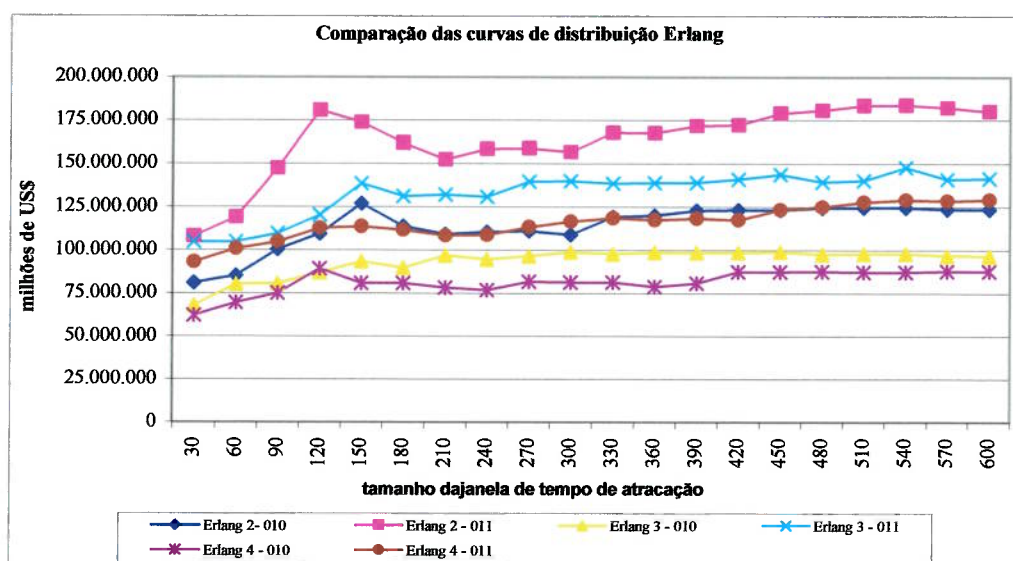
A análise das disitribuições do tipo Erlang foram feitas em conjunto: Erlang 2 , Erlang 3 e Erlang 4, por meio do custo total do navio em fila.

Tal análise foi realizada desta maneira, em virtude das distribuições do tipo Erlang apresentarem processo de chegada mais comportado, o que acaba influenciando ou remetendo a janela de tempo.

O quadro comparativo dos custos de navio em fila das distribuições do tipo Erlang são mostrados na tabela 28 e no gráfico da figura 56.

**Tabela 28 – Comparação das distribuições Erlang na simulação de dados gerados**

min	Erla 2		Erla 3		Erla 4	
	010	011	010	011	010	011
30	81.050.705,34	108.040.854,87	68.002.959,75	104.728.415,54	62.182.791,53	93.067.055,42
60	85.215.986,29	119.172.739,20	80.396.295,78	104.728.415,54	69.437.919,18	100.829.285,21
90	100.453.586,65	147.395.873,80	80.658.748,23	109.647.677,25	75.108.608,12	104.804.446,39
120	109.507.966,14	180.736.419,21	87.028.513,19	120.426.366,19	89.315.725,28	112.791.473,27
150	126.959.186,63	173.731.448,10	93.371.718,12	138.527.804,22	80.937.585,00	113.682.608,29
180	113.843.588,56	161.805.559,08	89.799.056,38	131.096.118,58	80.902.738,26	111.732.606,50
210	109.302.852,53	152.277.751,66	96.931.713,00	132.139.615,08	78.233.279,61	108.486.020,17
240	110.618.707,91	158.355.052,80	94.687.690,04	130.848.432,78	76.794.526,86	108.744.898,40
270	111.017.307,09	158.754.255,11	96.558.238,14	139.490.860,11	81.769.570,66	113.284.732,63
300	109.050.305,45	156.700.366,82	98.843.509,07	139.984.527,93	81.417.450,75	116.648.392,99
330	119.265.255,40	167.623.013,68	97.761.493,05	138.595.232,53	81.412.480,67	118.547.739,34
360	120.192.240,36	167.522.226,22	98.754.284,57	138.856.005,70	78.781.049,33	117.496.935,08
390	122.926.767,56	171.765.881,68	98.636.642,22	139.070.561,67	80.862.972,38	118.439.570,95
420	123.336.620,73	172.191.377,28	98.695.087,06	140.970.138,39	87.464.595,13	117.563.472,48
450	123.245.568,43	178.962.031,28	98.952.276,63	143.748.585,33	87.464.595,13	123.522.804,57
480	124.556.028,08	180.772.878,12	97.647.173,75	139.423.971,95	87.737.108,32	125.008.739,46
510	124.657.614,03	183.519.712,54	97.975.374,45	140.297.365,44	87.344.671,06	127.780.223,12
540	124.725.782,73	183.759.176,46	97.912.514,56	147.796.334,01	87.420.888,29	129.029.539,48
570	123.689.593,03	182.302.087,85	96.968.081,19	141.046.933,81	87.913.964,91	128.490.544,38
600	123.661.223,31	180.074.297,69	96.733.130,50	141.407.447,08	87.886.981,52	129.335.407,68



**Figura 56 - Comparação das distribuições Erlang de dados gerados na simulação**

Em virtude das análises realizadas anteriormente e de suas particularidades, optou-se por uma análise comparativa por meio das distribuições exponenciais para os dados lidos diretamente do arquivo e dados gerados na simulação. A tabela 29 apresenta essa comparação.

**Tabela 29 – Quadro comparativo dos dados lidos do arquivo e gerados pelo modelo através de distribuição exponencial**

Cenário	Janela de Tempo oferecida pelo terminal (min.)	Observações
Dados lidos do arquivo	150 – 240	Custo do navio em fila baixo para o terminal e bom nível de serviço.
Dados gerados do modelo	210 - 360	Custo do navio em fila maior para o terminal (com custos próximos ao do armador) e com um nível de serviço melhor.



## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O objetivo de desenvolver um estudo de janela de tempo a ser oferecida pelo terminal ao armador, considerando um sistema de custos, foi alcançado com a elaboração de um modelo de simulação que analisa dados reais de chegada dos navios ou gera as suas chegadas através de um conjunto de variáveis e características dos navios e do terminal.

A indicação da melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila, proporciona diversos benefícios para o terminal e para o armador.

Para o terminal permite uma melhor programação de suas atividades operacionais, que passam pela manutenção de equipamentos de costado, possibilidade de um planejamento e seqüenciamento dos contêineres de embarque mais detalhado, em consonância com o plano de bordo do armador, abertura de espaço no pátio para importação em face da entrega dos contêineres descarregados dos navios anteriores e, conseqüentemente, um melhor nível de serviço oferecido.

Quanto aos armadores, estes podem programar os seus *schedules* e não correr o risco de perder a janela de tempo de atracação ou ficar esperando em fila por não possuir uma em dessas janelas acordadas com o terminal.

Isso evita custos associados à perda de janelas de atracação nos portos subseqüentes, onde esse custo seria probabilístico, uma vez que existe alguma folga nos *schedules* (cerca de 5% do tempo de viagem redonda).

O problema ocorre quando essa folga é utilizada logo no início da viagem pela perda de uma janela e longa permanência em fila. Nesses casos o atraso incorrerá em esperas ainda maiores nos portos seguintes da escala. Comumente algum porto é cancelado para que o navio retorne ao *schedule* e cumpra as demais janelas.

Em tais situações os custos adicionais ficam apenas por conta do armador em: remoções, transbordos, lucro cessante (em virtude dos embarques cancelados) e risco comercial.

Recomenda-se a utilização do modelo como ferramenta de apoio à decisão e sua aplicação em outros terminais de diferentes portos; além da possível adaptação desse modelo com o acréscimo de novas variáveis nos processos de planejamento da área de operações de navios, tais como: a alocação de equipamentos de movimentação do tipo portêineres e recursos de bordo do navio e sua relação com os equipamentos de retaguarda; ou a possibilidade de definição de qual o melhor dia e hora da semana para aplicação da janela de tempo de atracação.

**BIBLIOGRAFIA**

ALDERTON, P.M. **Port management and operations**. London: LLP Reference Publishing, 1999. 258p.

ASHAR, A. **The fourth revolution and transshipment potentials for Panama ports**. Terminal Operations Conference (TOC – Europa). 16 – 18 May. Rotterdam, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS TERMINAIS DE CONTÊINERES DE USO PÚBLICO (ABRATEC). **Desempenho dos Terminais de Contêineres no Brasil 2004**. Rio de Janeiro, 2004.

AVERSA, R. **Modelagem de um sistema *Hub-Feeder Service* para o transporte marítimo containerizado**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 2001. 169p.

BAUMANN, R.; CANUTO, O.; GONÇALVES, R. **Economia Internacional: teoria e experiência brasileira**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004. 442p.

BOTTER, R.C. **Transporte marítimo internacional: natureza, evolução e tendências do setor**. São Paulo, 1996. 53 p.

BOTTER, R.C. **Tratamento de dados em simulação discreta**. Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 2002. 147p.

BRINATTI, M.A. **Modelos de fila para terminais marítimos de carga a granel.** Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1985.

CARDOSO, C. R.; TELES, M.B. **Simulação de terminal portuário.** Artigo apresentado no 17º ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Gramado, 1997.

CHEN, C.Y.; HSIEH, T.W. **A Time-Space network model for the berth allocation problem.** 2001.

CONTAINER MANAGEMENT. **Top 20 container ports.** London, may 1999, issue 170, p.34.

CORDEAU, J.F.; GAUDIOSO, M.; LAPORTE, G.; LEGATO, P.; MOCCIA, L. **Solving berth scheduling and yard management problems at the Gioia Tauro Maritime Terminal.** 2003.

FARIA, S.F.S. **Fragments da história dos transportes.** São Paulo: Aduaneiras, 2000. 100p.

GONZALEZ, J.A; BOTTER, R.C. **Vantagens e desvantagens da aplicação de técnicas de simulação versus a teoria de filas no planejamento portuário: uma discussão conceitual e uma aplicação prática.** 19º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, Seção de Transporte Aquaviário e Logística, 21 a 25 de outubro de 2002. Rio de Janeiro, Anais em CD.

LEGATO, P.; MAZZA, R.M. **Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation.** European Journal of Operational Research 133, p. 537-547, 2001.

LI,C.L.; CAI,X.; LEE,C.Y. **Scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern.** IIE Transactions 30, p. 433 - 445, 1998.

LIM, A. **The berth planning problem.** Operations Research Letters 22, p. 105-110, 1998.

LIM, A; GOH, K.S. **Combining various algorithms to solve the ship berthing problem.** 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence – ICTAI' 00, Vancouver (Canada), 2000.

MAIA, J.M. **Economia internacional e comércio exterior.** São Paulo: Atlas, 2001. 469p.

MOON, K.C. **A Mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning.** PhD thesis, Pusan National University , 2000.

MORLOK, E.K. **Introduction to transportation engineering and planning.** McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo, 1978. 767p.

NAIDITCH, S. **O impacto do dólar fraco.** Revista Exame, dezembro 200, edição 833, no. 25, p.64.

NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU. **The dynamic berth allocation problem for a container port.** Transportation Research-B 35 (4), p. 401-417, 2001.

**GUALDA, N.D.F. Terminais de Transportes: Contribuição ao Planejamento e ao Dimensionamento Operacional.** Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo, 1995. 277p.

**GUAN, Y.; CHEUNG, R. K. The berth allocation problem: models and solution methods.** OR Spectrum, v.26: p. 75 - 92 , 2004.

**HANSEN, P.; Oguz, C. A note on formulations of static and dynamic berth allocation problems.** Les Cahiers du GERAD, 2003.

**HENESEY,L; DAVIDSSON,P; PERSSON, J.A. Using simulation in evaluating berth allocation at a container terminal.** Computer Applications and informations technology in the maritime industries (COMPIT 2004), 9-12 May Singuinha, 2004.

**IMAI, A.;NAGAIWA, K.; CHAN,W.T. Efficient planningg of berth allocation for container terminals in Asia.** Journal of Advanced Transportation 31, p.75-94, 1997.

**KIA, M.; SHAYAN, E.; GHOTB, F. The importance of information technology in port terminals operations.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, p.331-344, 1999.

**KIM, K. H; MOON. K. H. Berth scheduling by simulated annealing.** Transportation Research-B 37, p.541-560, 2003.

**LAI, K.K; KIM, SHIH K. A study of container berth allocation.** Journal of Advanced Transportation 26, p. 45 - 60, 1992.

NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2003). **Berth Allocation with service priority**. Transportation Research-B 37 (5), p. 437-457, 2003.

NOVAES, A.G.N. **Pesquisa operacional e transportes: modelos probabilísticos**. Editora da Universidade de São Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda., São Paulo, 1975.

NYE, L. **Mega carriers and mega terminals**. Terminal Operations Conference (TOC- Americas), 29-31 Out., Miami, 2001.

PARK, K.T; KIM, K. H. **Berth scheduling for container terminal by using a sub-gradient optimization technique**. Journal of the Operational Research Society 53, nº 9, p. 1054–1062, 2002.

PARK. Young-Man; KIM, Kap Hwan. **A scheduling method for berth and quay Cranes**. OR Spectrum 25: 1-23 , 2003.

PIAW, T.C. **On optimizing PSA berth planning system**. 3rd annual Singapore – MIT Alliance – SMA'03, Singapore, 2003.

QUEIROZ JUNIOR, P. P. **Critérios para o planejamento da implantação de modernos terminais portuários no Porto de Santos**. São Paulo, 1998.

RIJSENBRIJ, J. **Double or Quit? new concepts in terminal design**. Terminal Operations Conference (TOC-Europa), 11-13 June. Antwerpen, 2002.

ROBINSON, H.J. **Formação de estoques de contêineres em áreas portuárias**. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia (IME). Rio de Janeiro, 1985. 288p.

STEENKEN, D.;VOß, S.; STAHLBOCK, R. **Container terminal operation and operations research – a classification and literature review.** OR Spectrum,v.26, p.3- 49, 2004.

STOPFORD, M. **Is the drive for ever bigger containership irresistible?.** Lloyds List Shipping Forecasting Conference, 26<sup>th</sup> April. London, 2002.

THOMAS, B.J. **Structural changes in the maritime industry: impact on inter-port competition trades.** 2001.

WIJNOLST, N.; WAALS, F. **Malacca-Max container carrier on the Europe-Far East route by 2010.** Terminal Operations Conference (TOC-Europa), 16-18 May. Rotterdam, 2000.