

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UM MODELO HEURÍSTICO PARA ALOCAÇÃO DE NAVIOS EM  
BERÇOS**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

**VANINA MACOWSKI DURSKI SILVA**

**FLORIANÓPOLIS, FEVEREIRO DE 2008**

# **UM MODELO HEURÍSTICO PARA ALOCAÇÃO DE NAVIOS EM BERÇOS**

VANINA MACOWSKI DURSKI SILVA

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de:

**“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

Especializada em Engenharia de Produção, área de concentração Logística e Transporte, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação.

---

PROFº. ANTÔNIO SÉRGIO COELHO

Coordenador do Curso

---

PROFº. ANTÔNIO SÉRGIO COELHO, Dr.

Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

---

PROFº. ANTÔNIO GALVÃO NACLÉRIO NOVAES, Dr.

---

PROFª. MIRIAN BUSS GONÇALVES, Dra.

---

PROFº. SÉRGIO FERNANDO MAYERLE, Dr.

**Dedico este trabalho, em especial, à  
minha mãe Leoni, meu pai João Marcos,  
minha irmã Lorine e meu companheiro  
Diogo, citando o seguinte:**

*Aprender é a única coisa de que a  
mente nunca se cansa, nunca tem medo e  
nunca se arrepende. Leonardo da Vinci  
(1452-1519)*

**AGRADECIMENTOS**

Ao professor Antônio Sérgio Coelho, que fez mais que orientar, incentivando-me e apoiando-me.

Ao professor co-orientador Sérgio Fernando Mayerle, pela especial atenção dada na elaboração deste estudo, mostrando o caminho do trabalho e estando sempre disponível para auxiliar.

Ao colega engenheiro Hobed Rosa pela contribuição no desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq, pelo financiamento do programa de capacitação.

À reitoria da instituição pelo apoio à participação em eventos.

Aos amigos, colegas de aula, que me apoiaram, ensinaram e contribuíram para minha formação.

Aos funcionários do departamento de Engenharia de Produção e Sistemas pelo bom tratamento.

Aos funcionários do Porto de Itajaí-SC que me auxiliaram na compreensão do funcionamento portuário.

## RESUMO

O presente trabalho caracteriza-se pela apresentação de um dos problemas operacionais detectados no sistema portuário, o Problema de Alocação de Berços, para o qual se propõe uma ferramenta heurística de resolução.

A ferramenta proposta baseia-se nos conceitos dos Algoritmos Genéticos e visa possibilitar o aprendizado deste conteúdo além de encontrar uma solução para o problema de maneira simples e rápida.

Elaborado de maneira genérica, com alguns pequenos ajustes de dados, o método pode ser aplicado na resolução do problema em qualquer porto, visto que os portos possuem um sistema semelhante de gestão.

Por fim, analisa e avalia os resultados obtidos, verificando sua eficácia para o auxílio à melhoria e aperfeiçoamento do sistema.

## **ABSTRACT**

This dissertation presents of one of the operational problems detected in the port system, the Berth Allocation Problem, where is suggested a heuristic tool for resolution.

The suggested tool is based on the Genetic Algorithms and aims to make possible to understand this subject besides to find a solution for the problem in a quick and simple way.

Elaborated in a generic way, with some little data arrangements, the method can be applied on the resolution of the problem in any port, once the ports have a similar system of management.

To finalize, analyze and evaluate the obtained results, verifying its potencies to the assistance for the improvement of the system.

## ÍNDICE

<b><u>LISTA DE GRÁFICOS .....</u></b>	<b><u>X</u></b>
<b><u>LISTA DE HISTOGRAMAS.....</u></b>	<b><u>X</u></b>
<b><u>LISTA DE FIGURAS .....</u></b>	<b><u>XI</u></b>
<b><u>LISTA DE FLUXOGRAMAS.....</u></b>	<b><u>XI</u></b>
<b><u>LISTA DE TABELAS.....</u></b>	<b><u>XI</u></b>
<b><u>1 INTRODUÇÃO.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1 HISTÓRICO E ORIGEM DO TRABALHO .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	3
1.3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA .....	3
1.3.2 IMPORTÂNCIA OPERACIONAL .....	5
1.3.3 IMPORTÂNCIA ACADÊMICA .....	7
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	8
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
<b><u>2 TRANSPORTE MARÍTIMO.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E VISÃO SISTÊMICA.....	10
2.2 IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE MARÍTIMO.....	14
2.3 IMPORTÂNCIA DOS PORTOS.....	15
2.4 PANORAMA NACIONAL × MUNDIAL.....	20
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
<b><u>3 OPERAÇÃO PORTUÁRIA .....</u></b>	<b><u>30</u></b>
3.1 CONSIDERAÇÕES.....	30
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	30

<b>3.3</b>	<b>EQUIPAMENTOS E <i>LAYOUT</i>.....</b>	<b>32</b>
3.3.1	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	33
3.3.2	PROBLEMA DE AQUISIÇÃO E/OU LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS .....	35
3.3.3	PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS AOS SERVIÇOS DO PORTO .....	37
3.3.4	PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE BERÇOS.....	40
3.3.5	PROBLEMA DE <i>LAYOUT</i> DO PORTO .....	43
<b>3.4</b>	<b>PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE BERÇOS – PAB.....</b>	<b>46</b>
3.4.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	47
3.4.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PAB .....	49
3.4.3	TÉCNICAS PROPOSTAS PARA RESOLUÇÃO DO PAB.....	52
<b>3.5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>54</b>
<b>4</b>	<b><u>PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PAB.....</u></b>	<b><u>55</u></b>
<b>4.1</b>	<b>VISÃO GERAL DO MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>PARÂMETROS PARA RESOLUÇÃO DO PAB.....</b>	<b>57</b>
4.2.1	CUSTOS (NAVIOS E PORTO).....	57
4.2.2	RESTRICÇÕES.....	59
4.2.3	VARIÁVEIS DE DECISÃO (QUANDO E ONDE ALOCAR CADA NAVIO).....	61
<b>4.3</b>	<b>ALGORITMO HEURÍSTICO DE ALOCAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.4</b>	<b>ALGORITMO DE BUSCA GENÉTICA.....</b>	<b>65</b>
4.4.1	ESTRUTURA BÁSICA DO ALGORITMO PROPOSTO .....	68
4.4.2	CARACTERIZAÇÃO DO CROMOSSOMO .....	68
4.4.3	GERAÇÃO DE UMA POPULAÇÃO INICIAL.....	69
4.4.4	TÉCNICA DE SELEÇÃO.....	69
4.4.5	OPERAÇÃO DE REPRODUÇÃO OU <i>CROSSOVER</i> .....	69
4.4.6	OPERAÇÃO DE MUTAÇÃO .....	73
<b>4.5</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PROPOSTO .....</b>	<b>74</b>
<b>4.6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>
<b>5</b>	<b><u>RESULTADOS NUMÉRICOS.....</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b>5.1</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO.....</b>	<b>77</b>
<b>5.2</b>	<b>OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS PARA RESOLUÇÃO DO PAB .....</b>	<b>82</b>
5.2.1	DADOS SIMULADOS .....	82
5.2.2	DADOS REAIS.....	83
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>83</b>



5.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	87
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	91
<b>6</b>	<b><u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</u></b>	<b>93</b>
6.1	CONCLUSÕES.....	93
6.2	RECOMENDAÇÕES.....	94
<b>7</b>	<b><u>REFERÊNCIAS.....</u></b>	<b>96</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Movimentação de contêineres no Brasil 2001-2006 .....	4
Gráfico 2 – Volumes de exportação e importação do Brasil (1990-2006).....	5
Gráfico 3 – Participação dos produtos/serviços na receita do segmento de transporte aquaviário - Brasil – 2005.....	6
Gráfico 4 – Composição percentual da carga transportada por modo de transporte (1996-2000) .....	12
Gráfico 5 – Movimentação de carga por modal (em toneladas) (1996-2000).....	13
Gráfico 6 – Movimentação de contêiner .....	22
Gráfico 7 – Comportamento variação do valor de epsilon versus número de iterações para o problema de 25 navios e 10 berços, resolvido pelo método 1. ....	84
Gráfico 8 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 10 navios e 15 berços, com epsilon de 0,01.....	85
Gráfico 9 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 70 navios e 15 berços, para um tempo de processamento de 3 minutos, com <i>epsilon</i> de 0,01.....	85
Gráfico 10 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 100 navios e 15 berços, para um tempo de processamento de 5 minutos, com <i>epsilon</i> de 0,01.....	86
Gráfico 11 – Diferença no tempo de convergência entre os métodos 1 e 2.....	86
Gráfico 12 – Diferença percentual na solução ótima encontrada pelos métodos 1 e 2.....	87
Gráfico 13 – Análise de tendência do comportamento do custo de alocação <i>versus</i> parâmetros .....	88
Gráfico 14 – Análise de tendência do comportamento do número de iterações <i>versus</i> parâmetros.....	89
Gráfico 15 – Análise de tendência do comportamento do tempo de processamento <i>versus</i> parâmetros.....	89
Gráfico 16 – Análise da diferença de alocação do Porto de Itajaí e o PAB.....	90

## LISTA DE HISTOGRAMAS

Histograma 1 – Frequência da diferença de alocação do Porto.....	91
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área portuária para exemplificação .....	31
Figura 2 – Programação de atracação (NISHIMURA et al., 2001).....	56
Figura 3 – Atendimento de navios pela seqüência N1 – N2 .....	63
Figura 4 – Atendimento de navios pela seqüência N2 – N1 .....	64
Figura 5 – Apresentação do algoritmo proposto .....	75
Figura 7 – Interface do <i>software</i> desenvolvido .....	77
Figura 8 – Interface do <i>software</i> durante o processamento .....	79
Figura 9 – Interface do <i>software</i> após término do processamento .....	80
Figura 10 – Relatório da seqüência de atendimento dos navios.....	81
Figura 11 – Relatório do melhor cromossomo .....	81
Figura 12 – Relatório estatístico.....	82

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 – Seqüência lógica para obtenção de layout.....	43
Fluxograma 2 – <i>Layout</i> de um terminal multimodal de contêiner .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais serviços da atividade de transporte aquaviário -2005.....	5
Tabela 2 – Composição percentual da carga transportada por modo de transporte (1996-2000) .....	12
Tabela 3 – Competição entre Portos: Vantagens Comparativas.....	19
Tabela 4 – Comparativo de exportações China × Brasil no período de 1980-1991 (em US\$ bilhões) .....	20
Tabela 5 – Movimentação de contêiner (em milhões) .....	21
Tabela 6 – Preço médio do metro cúbico do produto embarcado (em dólar) .....	24
Tabela 7 – Valor cobrado pela movimentação de 1 contêiner (em US\$).....	25
Tabela 8 – Exemplo de lista de navios a serem atracados.....	62
Tabela 9 – Exemplo de lista de berços a serem ocupados.....	62
Tabela 10 – Mutação .....	73
Tabela 11 – Tabela demonstrativa dos testes simulados que foram realizados.....	82

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Histórico e origem do trabalho

Com a nova organização mundial, baseada na constituição de mercados globais, exige-se a criação de sistemas logísticos eficientes, capazes de escoar a produção para os mercados externos. Caixeta e Gameiro (2001) afirmam que os investimentos contínuos em transporte exercem papéis ativos e passivos no alcance de objetivos de desenvolvimento.

Assim, os portos, como meio de transporte, devem ser analisados como um elo extremamente importante na integração do mercado nacional e global e, a sua modernização encontra-se entre as principais ações a serem desenvolvidas no plano de redução dos custos nacionais, bem como no aumento das exportações.

A gestão de um complexo portuário implica em uma diversidade de problemas de tomada de decisão, os quais podem ocorrer nos níveis: estratégico, tático e operacional. Determinação do local de construção do porto, da quantidade de berços a serem construídos, e das rotas a serem atendidas são tidas como decisões estratégicas. Decisões sobre determinação do número de funcionários, compra ou aluguel de equipamentos ocorrem no nível tático e decisões sobre alocação de funcionários às tarefas e alocação de equipamentos são considerados do nível operacional.

Na prática, os problemas e decisões de nível estratégico têm repercussão a um maior prazo de tempo e os de caráter operacional ocorrem com maior frequência, diariamente, por exemplo, resultando em menor impacto à gestão portuária, porém se os problemas operacionais não forem solucionados a tempo impedirão a concretização da estratégia adotada pela administração do empreendimento.

Diversos são os problemas operacionais e métodos abordados na literatura técnica, porém voltados para o dimensionamento de berços de atracação compatível com uma demanda esperada de embarcações. Outros estudos buscam a simulação de operações considerando custos, investimentos e encargos, ou seja, voltam-se para uma sistemática de dimensionamento econômico operacional de terminais de contêineres (FERNANDES, 2001).

Percebe-se portanto, uma lacuna a ser ainda explorada no que se refere à pesquisa e métodos para um dos problemas operacionais de grande relevância encontrado no sistema portuário: o problema de alocação dos berços, que consiste em determinar um plano de alocação dos berços aos navios que atracam no porto, de modo que cada navio seja alocado

em um berço em um período de tempo para realizar as atividades de carga e descarga de mercadorias.

Neste sistema de alocação, diversos fatores devem ser considerados, tais como:

- a) comprimento e profundidade do berço;
- b) horário de liberação do berço;
- c) disponibilidade de equipamento no berço;
- d) produtividade do berço;
- e) comprimento e calado do navio;
- f) horário de chegada do navio;
- g) custo do navio parado;
- h) carga do navio;
- i) tarifas de atracação e movimentação cobradas pelo uso do berço;
- j) política interna do porto de prioridade no atendimento dos navios, dentre outros.

O plano de atracação consiste, então, em combinar da melhor maneira possível o melhor berço a atender cada navio de modo a respeitar as restrições impostas, resultando no menor custo de alocação. Assim, o atendimento a estes aspectos faz com que a atividade de elaborar o plano de atracação em um porto se torne dispendiosa, uma vez que necessita manter e manipular diversas informações, requerendo a utilização de uma técnica de otimização, com o auxílio de um algoritmo para se efetuar este plano.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Considerando o problema de alocação de berços como um determinante na eficiência operacional de um porto e a atividade de elaboração de um plano de atracação dispendiosa devido à quantidade de informações a serem consideradas, é de grande importância o auxílio de uma ferramenta computacional.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é propor um modelo computacional heurístico que auxilie na tomada de decisão de um complexo portuário, quanto à melhor alocação berço-navio a ser realizada no intuito da redução dos custos operacionais.

## 1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos podem ser listados:

- a) pesquisar experiências nacionais e estrangeiras de sistemas logísticos portuários;
- b) caracterizar o problema de alocação de berços, evidenciando a importância de sua resolução para a melhoria operacional portuária;
- c) propor um método de resolução para o problema de alocação de berços (PAB);
- d) testar e mensurar os benefícios obtidos com o resultado do modelo proposto na dissertação, com relação à tempo computacional e praticidade operacional.

## 1.3 Importância do trabalho

### 1.3.1 Importância econômica

Após o programa de estabilização econômica implementado em 1994, que reduziu a inflação a índices internacionais, o governo brasileiro percebeu a existência de outro grande problema: a necessidade de incrementar a pauta exportadora nacional. Desde então, inúmeros programas foram surgindo, porém o fato é que o Brasil exporta pouco e muito pouco tem sido feito para incrementar, efetivamente, a pauta exportadora. De acordo com Schoeler (2000), é preciso trabalhar a imagem do país no exterior, seja através dos fatores político-administrativos para inserção definitiva do Brasil no comércio internacional, ou dos fatores relacionados ao transporte.

O transporte apresenta função indispensável, para atender às necessidades da realização da movimentação dos produtos decorrente da abertura econômica; função essa, fundamental para a comercialização das mercadorias no âmbito nacional ou internacional. Sendo assim, a importância dos problemas portuários no cenário da economia nacional pode ser analisada através de algumas estatísticas.

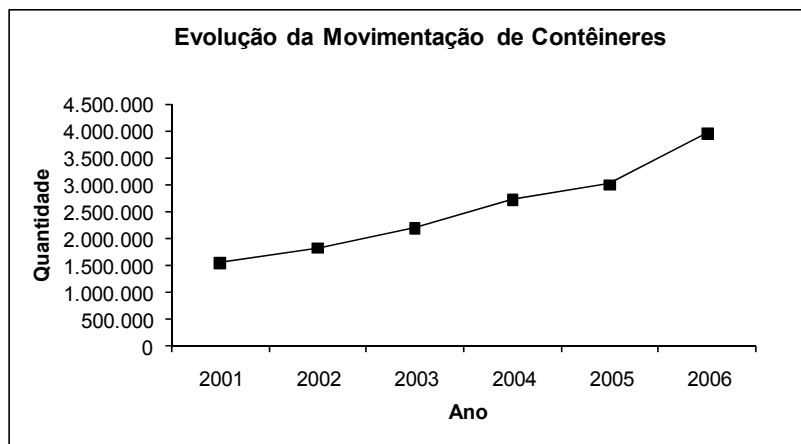
Segundo o mais recente Anuário Estatístico Portuário publicado pelo Ministério dos Transportes, em 2005, no período de 2001 a 2005 houve um crescimento médio anual da movimentação de cargas nos portos/terminais de 6,04%. Avaliando o mesmo período para a movimentação apenas de contêineres, em toneladas, o crescimento médio foi de 18,16% a.a.

A movimentação de cargas nos portos brasileiros em 2005 foi de 649.418.781 toneladas, resultando em um crescimento de 4,62% em relação ao ano de 2004. Quando é analisado o tipo de navegação utilizada, o longo curso é o maior responsável pelo crescimento

da movimentação, registrando o índice de 5,80% em relação à 2004, enquanto a cabotagem apresentou ligeira queda de crescimento no período, com 1,14% contra 1,71% em 2004.

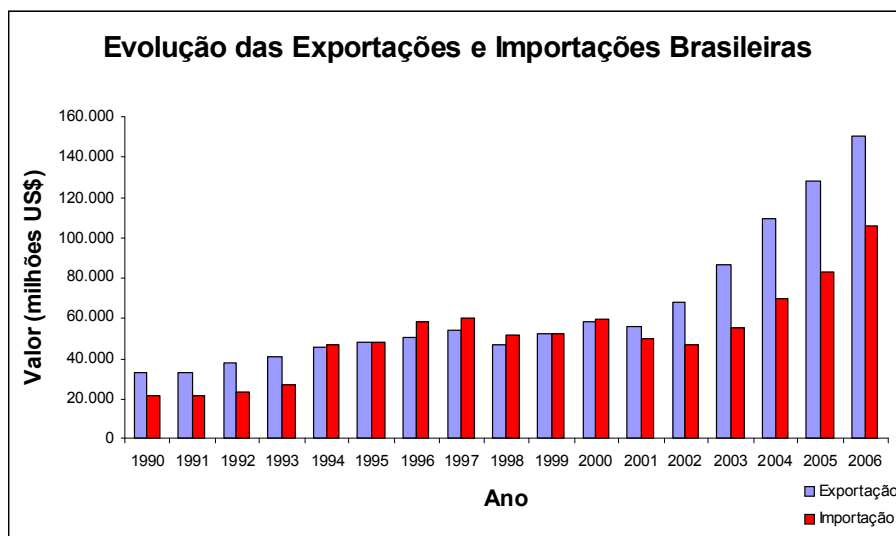
Verificando o comportamento da movimentação de contêineres em 2007, em unidades (20' e 40'), constatou-se que Santos-SP deteve 52,87% do total movimentado no país, ou seja, aumentou ainda mais a sua participação neste segmento, onde nos anos de 2005 e 2006 foram de 40,44% e 50,82%, respectivamente.

O crescimento deste tipo de acondicionamento de cargas, em toneladas, foi de 12,36% em 2005 e, a carga geral cresceu 9,75%. Pode-se inferir com isso que ainda há uma migração para o manuseio de contêineres do total de carga geral movimentado nos portos/terminais do Brasil. No Gráfico 1, percebe-se a evolução da movimentação nacional de contêineres no período de 2001 a 2006, onde houve um acréscimo de aproximadamente 160% no período, mesmo com o sistema portuário passando por dificuldades.



**Gráfico 1 – Movimentação de contêineres no Brasil 2001-2006**  
**Fonte: Anuário Estatístico Portuário 2006– Ministério dos Transportes**

A curva ascendente em relação ao número de contêineres movimentados no Brasil é facilmente explicável através do Gráfico 2. Nos últimos anos tanto o volume exportado quanto o volume importado apresentaram crescimento significativo, justificando o aumento no número de contêineres utilizados.



**Gráfico 2 – Volumes de exportação e importação do Brasil (1990-2006)**  
**Fonte: Site do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior**

É desde décadas passadas que se busca o desenvolvimento portuário, pois conforme Peixoto (1977), o aumento dos graneleiros (navios destinados a cargas não embaladas) implicou em grandes modificações no sistema portuário, exigindo a construção de terminais específicos para o processamento de carga e descarga com mais rapidez e eficiência.

Segundo Schoeler (2000), um dos aspectos que mais têm impacto no transporte marítimo brasileiro são os elevados custos operacionais e assim, pequenas melhorias obtidas por meio de modelos e técnicas de otimização, podem representar uma economia ao sistema de modo a garantir sua sustentabilidade.

### 1.3.2 Importância operacional

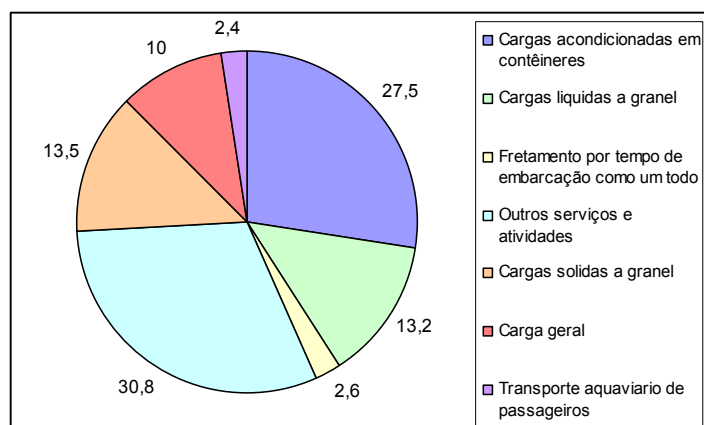
De acordo com o relatório dos Principais Produtos e Serviços do ano de 2005, elaborado pelo IBGE, o transporte aquaviário representou 5,1% do faturamento obtido pelas atividades de transporte nacional, gerando uma receita de 4,6 bilhões de Reais, conforme a Tabela 1.

Produtos/Serviços	Receita (1.000.000 R\$)	%
Transporte aquaviário de contêineres	2.353	2,6
Transporte aquaviário de cargas sólidas a granel	1.159	1,3
Transporte aquaviário de cargas líquidas a granel	1.127	1,2
<b>Total</b>	<b>4.639</b>	<b>5,1</b>

**Tabela 1 – Principais serviços da atividade de transporte aquaviário -2005**  
**Fonte: Relatório dos Principais Produtos e Serviços do ano de 2005, IBGE**



Os serviços de transporte de carga acondicionada em contêineres (*dry-cargo* para carga geral seca, tanque para grânéis líquidos e refrigerados) representaram 27,5% do total da receita desta atividade, enquanto os serviços de transporte de cargas sólidas a granel e cargas líquidas a granel foram responsáveis por 13,5% e 13,2%, respectivamente conforme o Gráfico 3.



**Gráfico 3 – Participação dos produtos/serviços na receita do segmento de transporte aquaviário - Brasil – 2005**

**Fonte: Relatório dos Principais Produtos e Serviços do ano de 2005, IBGE**

Segundo o IBGE, os serviços de transporte de carga acondicionada em contêineres destacaram-se no ranking dos produtos do setor de transportes, alcançando a 12ª posição (2,6%), em 2005, o que representa que a utilização deste modal tem aumentado, comprometendo a concorrência entre as companhias, onde quem operar com maior eficiência, obterá maiores lucros.

Segundo MANTELI (2001), a primeira fase para alcançar um padrão de excelência foi dada quando os portos brasileiros começaram a compreender que não são apenas um ponto de transferência de mercadorias, mas o mais importante elo de cadeia logística internacional. Os resultados até o momento são animadores, como por exemplo: o custo médio de movimentação do contêiner de 20 pés baixou mais de 50%. Apesar dessa evolução os terminais de contêineres brasileiros, segundo CALMON (2001), ainda estão defasados em comparação a outros portos mundiais, como por exemplo: Cingapura (100 contêineres movimentados por hora), Roterdã – Holanda (60 contêineres movimentados por hora), Santos (40 contêineres movimentados por hora) e Rio Grande (30 contêineres movimentados por hora).

Desta forma, o assunto relacionado às operações de terminais de contêineres tem ganhado bastante atenção por parte de pesquisadores da área de Pesquisa Operacional (PO) (Rios e Maçada, 2002).

É neste contexto que este trabalho pretende atuar, propondo uma ferramenta que venha auxiliar na tomada de decisões quanto a um dos problemas encontrados na gestão portuária, o PAB, pois o que se percebe é que a movimentação nos portos tem aumentado nos últimos anos, juntamente com a movimentação de cargas e contêineres e o que se necessita é realizar um planejamento operacional eficaz o qual aborde a alocação de todos os navios aos berços operantes, considerando o volume de carga a ser manipulado e tarifas cobradas, de modo a minimizar os custos operacionais.

Em pesquisas realizadas junto a alguns portos nacionais, obteve-se a informação de que o plano de alocação é realizado com o auxílio do *software* Excel<sup>®</sup>, o qual não possui nenhuma técnica de otimização implementada, servindo apenas de apoio. Tal motivo realça a importância do estudo proposto nesta dissertação onde será proposta uma ferramenta de otimização, pretendendo-se bons resultados em um reduzido período de tempo, facilitando a tomada de decisões.

### 1.3.3 Importância acadêmica

Com relação às pesquisas levantadas não se verificou a existência de trabalhos acadêmicos sobre o PAB no estado de Santa Catarina; estado que possui uma costa marítima considerável e que é explorada comercialmente. Também não foram encontrados estudos sobre o tema desta dissertação elaborados em território nacional. Sendo assim, percebeu-se uma lacuna a ser explorada de modo a contribuir academicamente para com problemas reais de cunho sócio-econômico.

Portanto, esta pesquisa pretende revisar a bibliografia sobre os principais métodos e modelos de resolução existentes ao PAB, abordando alguns aspectos não apresentados na literatura. Entre eles, consideram-se como contribuição específica deste estudo, os seguintes tópicos:

- a) integração de variáveis existentes no PAB que não foram consideradas por outros autores, como por exemplo, tarifas portuárias cobradas pela atracação e movimentação de cargas, de modo a tornar o modelo o mais próximo da problemática real;
- b) utilização de um algoritmo heurístico, de busca genética, para a alocação de berços aos navios;
- c) possibilidade de análise de resultados de alocação através de relatórios.

Devida a extensão do problema, este trabalho não pretende exaurir as possibilidades de resolução do PAB, uma vez que para isso necessitaria de maior tempo de pesquisa, mas compromete-se em propor um único método de resolução, o qual foi criteriosamente escolhido e pesquisado.

#### **1.4 Limitações do trabalho**

Em se tratando de operação portuária, diversos são os aspectos a serem considerados e citam-se alguns desses:

- a) definição do local de construção do terminal portuário;
- b) definição das rotas a serem atendidas;
- c) definição do número de berços a serem construídos;
- d) dimensionamento de equipamentos;
- e) determinação do número de funcionários;
- f) elaboração de escalas e trabalho;
- g) aquisição de equipamentos *versus* locação;
- h) determinação do *layout* do porto;
- i) outros problemas operacionais.

Porém para a elaboração desta dissertação, tem-se como limitação da pesquisa, o foco em apenas um dos problemas operacionais presente no cotidiano da gestão portuária, que é o Problema de Alocação de Berços – PAB. Assim, não é considerado o custo de implantação das instalações portuárias, investimento necessário, taxas de amortização, custo de oportunidade e desenvolvimento de mercado, pois, considerar-se-á que este foco é tema para outros estudos e o que se busca é apenas a otimização operacional para um sistema que já esteja em funcionamento.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, incluindo este introdutório.

No Capítulo 2 é apresentado o transporte como desenvolvedor econômico, salientando especificamente o transporte marítimo, além de expor um panorama do funcionamento do transporte marítimo nacional *versus* mundial, atentando para algumas diversidades praticadas em alguns dos mais importantes portos, na gestão exercida. Este capítulo, de revisão

bibliográfica, pretende embasar teoricamente o estudo e tornar clara a importância do transporte marítimo para o sistema.

O Capítulo 3 apresenta informações sobre a operação portuária, descrevendo os processos e equipamentos além de apresentar alguns dos problemas encontrados nos níveis estratégico, tático e operacional. Os problemas referem-se à aquisição *versus* locação de equipamentos, dimensionamento de berços, alocação de equipamentos aos serviços praticados no porto, definição de *layout* e o problema de estudo desta dissertação, o PAB, constando definições e técnicas já utilizadas para sua resolução.

No Capítulo 4 é apresentado o método proposto para a resolução do PAB criado a partir da experiência e conhecimento adquiridos nas etapas anteriores, onde foram identificadas as principais variáveis envolvidas com a problemática enfocada. Este modelo desenvolvido visa determinar uma seqüência de alocação de navios aos berços que aportam em um dado porto, de modo a minimizar o tempo total de atendimento dos navios bem como o custo operacional. Para a elaboração do modelo, foi utilizada uma técnica alternativa de otimização com o auxílio do software *Delphi*<sup>®</sup> no qual foi desenvolvido um algoritmo de busca genética.

No Capítulo 5 mostra-se a aplicação do modelo elaborado e os cenários para os quais foram testados os casos, bem como a análise dos resultados da aplicação do modelo.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais, conclusões e recomendações para estudos futuros.

## 2 TRANSPORTE MARÍTIMO

### 2.1 Contextualização e visão sistêmica

Neste capítulo será abordado o histórico dos principais temas que norteiam o desenvolvimento desta dissertação. São eles: o sistema de transporte como um todo, o transporte marítimo e um panorama do sistema nacional *versus* o sistema internacional de transporte marítimo.

Assim, pretende-se que esta seção de revisão bibliográfica seja um demonstrativo da necessidade de ações de cunho logístico no setor portuário nacional ao qual o desenvolvimento deste trabalho se propõe a contribuir.

O sistema de transportes de um país tem a função de promover a circulação em todos os recantos do seu território; seja dos indivíduos, das mercadorias e das informações, ele multiplica as oportunidades de contatos econômicos e sociais entre os homens. É um dos principais índices do grau de civilização de um povo: quanto mais rápidos, freqüentes, fáceis e seguros forem os agentes da circulação, tanto mais adiantada será a civilização (PEIXOTO, 1977). Ainda mais perfeita, é a recíproca dessa afirmação, isto é, quanto mais adiantada for uma civilização, mais rápidos, freqüentes, fáceis e seguros serão seus agentes da circulação.

De acordo com Graciano (1971) é condição indispensável, senão fator fundamental e da mais alta prioridade para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país, o estabelecimento, consolidação, aperfeiçoamento e conservação de uma infra-estrutura básica de transportes (incluindo armazéns e silos, portos e cais), comunicações, energia e abastecimento. A consecução desse objetivo merece prioridade absoluta, porque ela torna possível e até mesmo facilita a consecução da saúde, educação, tranqüilidade e bem-estar social.

Considerando o transporte como sendo uma indústria, tem como principal objetivo o lucro, vale dizer, sua finalidade primeira é econômica. Ao lado de sua função principal, que é a de contribuir para a circulação econômica, colabora na defesa e segurança social (finalidade estratégica), na difusão cultural e na integração social (finalidade sócio-cultural), facilita as pesquisas e a evolução das ciências (fins científicos), contribui para a mais ampla integração social (finalidade política) e conduz a recreios, jogos e piqueniques (função recreativa). Por aí

se nota a diversidade de funções e objetivos dos transportes e a sua função para o desenvolvimento econômico de um país e para a prosperidade social de um povo.

Segundo Valente (1972), os transportes, em qualquer de suas múltiplas formas, constituem parte integrante do processo da produção, vale dizer, do esforço de criação da utilidade, dessa condição essencial de um bem que é sua capacidade de satisfazer a um desejo ou necessidade do ser humano. Assim, por integrarem a produção, têm profundas repercussões sobre toda a economia de um país e interessam diretamente o desenvolvimento do mesmo.

Basta comparar as economias de uma nação desenvolvida e de outra em desenvolvimento para compreender o papel do transporte na criação de alto nível de atividade na economia. Nações em desenvolvimento têm, normalmente, produção e consumo ocorrendo no mesmo lugar, com boa parte da força de trabalho engajada na produção agrícola e porcentagem menor da população vivendo em áreas urbanas. À medida que serviços de transporte mais baratos vão se disponibilizando, a estrutura econômica começa a assemelhar-se à de uma economia desenvolvida: grandes cidades resultam a partir de migração para os centros urbanos, regiões geográficas limitam-se a produzir quantidades menores de itens e o nível de vida médio começa a elevar-se (BALLOU, 1993, p.113).

Especificamente, o melhor sistema de transportes contribui para: aumentar a competição no mercado, garantir a economia de escala na produção e reduzir preços das mercadorias:

- a) maior competição: quando não existe um bom sistema de transporte, a extensão do mercado fica limitada às cercanias do local de produção. A menos que os custos de produção sejam muito menores que num segundo ponto de produção, a diferença desses custos contrabalançar os custos de transporte para servir o segundo mercado, não há grande margem para a competição do mercado ocorrer. Assim, além de encorajar a concorrência direta, o transporte mais barato também incentiva de uma maneira indireta a competição, pois torna disponível ao mercado bens que normalmente não viriam;
- b) economia de escala: um segundo importante efeito do transporte barato para os negócios é que negociações mais amplas permitem economias de escala na produção. Com o maior volume providenciado por estes mercados, pode-se ter utilização mais intensiva das facilidades de produção, seguida pela especialização do trabalho.

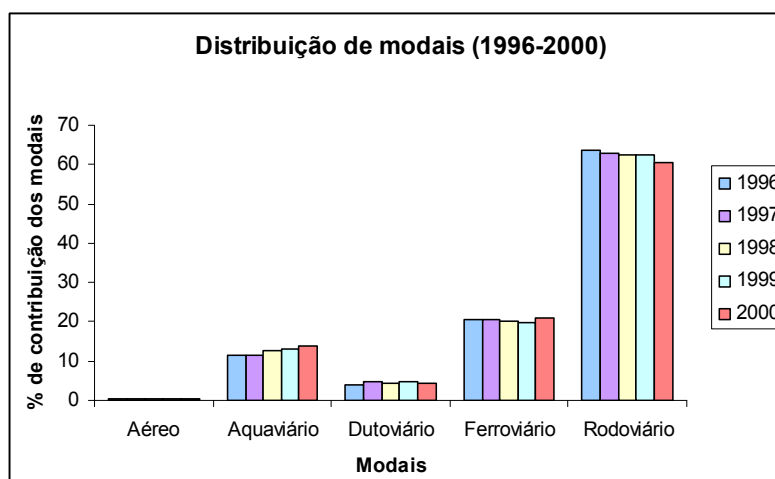
c) preços reduzidos: transporte barato também contribui para reduzir o preço dos produtos. Isto acontece porque, além de sua influência no aumento da competição no mercado, o transporte é um dos componentes de custo que, juntamente com os custos de produção, vendas e outros, compõe o custo agregado do produto. À medida que o transporte se torna mais eficiente e oferece melhor desempenho, a sociedade beneficia-se de melhor padrão de vida.

Pode-se dizer que o sistema de transportes refere-se a um conjunto de trabalho, facilidades e recursos que compõem a capacidade de movimentação na economia.

Essa capacidade implica o movimento de carga e de pessoas. De acordo com Novaes (2004) a distribuição dos produtos desde as fábricas até os centros atacadistas ou varejistas pode ser realizada através de modalidades de transportes diversas: rodovia, ferrovia, transporte aquaviário, aéreo, e dutos para casos especiais (gás, gasolina, óleo diesel, álcool). A Tabela 2 e o Gráfico 4 elaborados pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT, apresenta a distribuição dos modais utilizados no Brasil:

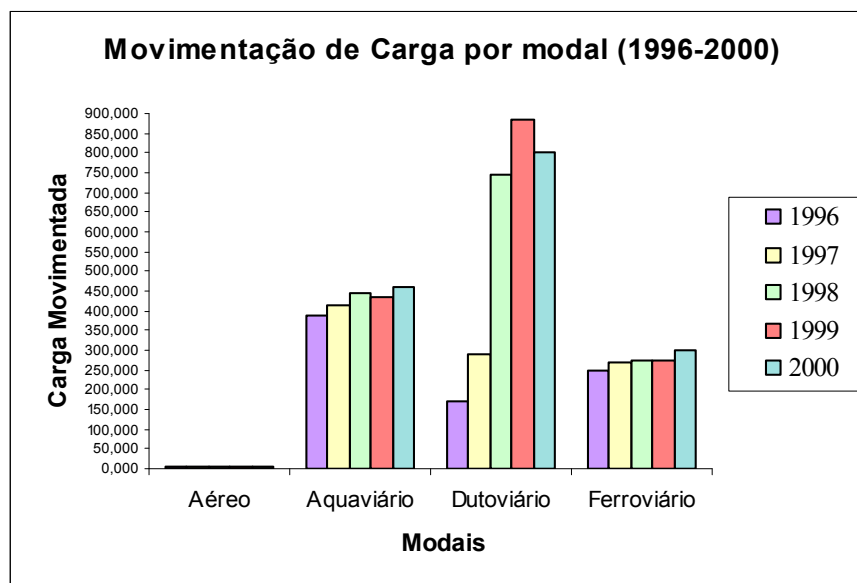
Modo de Transporte	1996	1997	1998	1999	2000
Aéreo	0,33	0,26	0,31	0,31	0,33
Aquaviário	11,47	11,56	12,69	13,19	13,86
Dutoviário	3,78	4,55	4,44	4,61	4,46
Ferrovário	20,74	20,72	19,99	19,60	20,86
Rodoviário	63,68	62,91	62,57	62,29	60,49
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 2 – Composição percentual da carga transportada por modo de transporte (1996-2000)**  
**Fonte: Anuário Estatístico dos Transportes (GEIPOT) (2001)**



**Gráfico 4 – Composição percentual da carga transportada por modo de transporte (1996-2000)**

O Gráfico 5 apresenta a evolução de carga neste mesmo período, onde houve pouca variação percentual em modais, porém mais aparente quanto ao volume de carga transportada.



**Gráfico 5 – Movimentação de carga por modal (em toneladas) (1996-2000)<sup>1</sup>**  
**Fonte: Anuário Estatístico dos Transportes (GEIPOT) (2001)**

De maneira geral, a importância relativa dos vários modais ou modos de transportes varia com o tempo e, dadas as tendências atuais, deve continuar a mudar. Exemplo disso é o caso do modal aquaviário que teve um aumento significativo de 20,84% no período de 1996 a 2000, quando foi realizado o último levantamento estatístico.

Ainda sobre o assunto, Graciano (1971) afirma que “as linhas de navegação não se estendem a todos os países já que, para muitas rotas, o tráfego não chega a ser suficiente. Cumpre, no entanto, que se alargue o mercado para a produção, mediante um sistema de transporte barato e de confiança, caso se deseje melhorar os benefícios da especialização e economia de escala. A inadequabilidade do transporte está na origem de um círculo vicioso: transporte deficiente causa produção fragmentada, que por sua vez, implica baixa demanda de transporte, acarretando transporte deficiente; e o círculo se fecha” (p.72).

Os investimentos em transportes como, de resto, em qualquer projeto, devem ser criteriosamente precedidos de estudos de viabilidade técnico-econômica. Para isso, torna-se necessário uma criteriosa análise comparativa dos custos e benefícios do projeto. Entende-se por custos todos os gastos, desvantagens e eventuais prejuízos do projeto. Por benefícios entendem-se todas as vantagens, lucros e acréscimos de rendas advindos da execução do projeto.

<sup>1</sup> No mais recente relatório do GEIPOT (2001) não consta o total de carga movimentada pelo modal rodoviário.



Há que se considerar, para a tomada de decisão de se executar ou não o projeto, não só os benefícios de ordem econômica, mas também, as vantagens sociais e as exigências da segurança nacional, ou seja, a importância estratégica da execução do projeto. Esse caráter estratégico tem importância fundamental para o estabelecimento e execução de qualquer política de transportes, dada a importância do sistema de transportes para a defesa e segurança social.

No decorrer da execução do projeto, deve-se considerar o custo dos transportes como qualquer custo econômico, que se divide em custo fixo (correspondente aos investimentos em veículos, equipamentos, instalações, etc.) e custos variáveis (que oscilam com as operações), para posteriormente estabelecer as tarifas ou preços dos fretes, os quais variam de um meio de transporte para outro.

Assim, sendo a movimentação de mercadorias um dos itens da composição dos custos unitários do processo produtivo e os transportes marítimos a modalidade de transporte menos onerosa, podem eles constituir fator ponderável na diminuição dos custos, no aumento das vendas e, finalmente, na prosperidade econômica dos países, tanto mais que, de uma maneira geral, incidem eles em todas as fases do processo produtivo, que vai desde a movimentação da matéria-prima até a distribuição do produto acabado aos centros de consumo (PEIXOTO, 1977).

## **2.2 Importância do transporte marítimo**

O transporte aquaviário envolve todos os tipos de transporte efetuado sobre a água. Inclui o *transporte fluvial* e *lacustre* (aquaviário interior) e o *transporte marítimo*. De acordo com Novaes (2004), esse último pode ser dividido em *transporte marítimo de longo curso*, que envolve as linhas de navegação ligando o Brasil a outros países mais distantes, e a *navegação de cabotagem*, que cobre a nossa costa. A navegação de cabotagem, por sua vez, é dividida em pequena cabotagem, cobrindo apenas os portos nacionais e a grande cabotagem, que corresponde às ligações marítimas com países próximos.

No caso especial do Brasil, os transportes por água assumem grande importância, pois é um país marítimo, debruçado sobre o Oceano Atlântico, com cerca de 7.500 quilômetros ininterruptos de costa. Por outro lado, a rede hidrográfica brasileira é uma das maiores do mundo, compreendendo oito bacias, algumas das quais se intercomunicam pelas cabeceiras dos seus rios. A extensão navegável desses rios é de ordem de 44.000 quilômetros (VALENTE, 1972).

Conforme Peixoto (1977), a acentuada predominância do ecúmeno marítimo sobre o continental dá ao transporte por mar no Brasil um destacado valor, fator que representa aspecto importante no nosso quadro natural.

De acordo com Mendonça e Keedi (1997, p.27) apud Schoeler (2000):

*O transporte marítimo de mercadorias, que caracteriza-se como uma atividade que vem transcorrendo desde épocas remotas, sempre exerceu influência significativa nas economias nacional e mundial, diretamente ligadas ao intercâmbio comercial entre povos e nações.*

Assim, tendo presente a política de livre comércio decorrente da globalização da economia mundial, é necessário mencionar que uma marinha mercante eficiente e competitiva, é importante para a manutenção de um nível mínimo de autonomia decisória no processo de escoamento dos produtos das nações.

O progresso tecnológico e o crescimento da população mundial importarão num grande aumento da demanda de alguns itens como petróleo, minérios, cereais, levando o comércio marítimo a continuar a expandir-se constantemente e assim, os transportes marítimos apresentam vantagens que decorrem da própria natureza que configura condições excepcionais para a chamada economia de escala (PEIXOTO, 1977). As demandas crescentes de alimentos para uma população mundial cada vez maior dão uma idéia do aumento que terá o transporte marítimo de cereais.

Assim, para atender toda a demanda que irá surgir nos anos vindouros, o transporte marítimo deve concentrar esforços para reparar a deficiência nos transportes que vem se acentuando nas últimas décadas, seja na construção de novos portos ou restauração dos existentes, na construção de estaleiros, na troca da frota mercante, treinamento de mão-de-obra ou até mesmo na busca da otimização dos atuais sistemas de controle de operação dos portos, dentre outros, no que pode constituir um dos principais obstáculos à expansão econômica do país.

### **2.3 Importância dos portos**

Na infra-estrutura do transporte marítimo, os elementos fundamentais são os portos e os terminais, estruturados com equipamentos para carga e descarga de mercadorias, de armazéns para estocagem e do que é chamado de "retroporto", que é a estrutura necessária para permitir a saída ou chegada das mercadorias na área portuária, compreendendo ainda, as vias de acesso rodo-ferroviárias, aquaviárias ou aéreas (SCHOELER, 2000).

Segundo Rodrigues (2003, p. 163), os portos são os pontos de integração entre os modais terrestre e marítimo, com a função adicional de amortecer o impacto do fluxo de cargas no sistema viário local, através de armazenagem e da distribuição física.

A posição geográfica do Brasil, sua continentalidade, sua configuração territorial e seu extenso litoral voltado para um único oceano dão aos portos brasileiros uma importância fundamental no quadro geral dos transportes no País.

Segundo Peixoto (1977), considerando os portos como peças essenciais dos transportes marítimos, além de uma constante atividade, não podem escapar de freqüentes ampliações e melhoramentos impostos pelo incremento do comércio, para atender ao crescente fluxo de troca de mercadorias e ao acostamento de maiores navios. O porto é o elo de conjugação entre o sistema de transporte terrestre e o sistema de navegação marítima. Aí se concentra um complexo sistema de circulação de bens, constituindo-se em pólo de atração para o desenvolvimento da atividade econômica.

No porto é que se movimentam cargas, consolidam-se e desconsolidam-se caixas, ocorrem os serviços da alfândega e a organização do transporte e assim, *“o porto é visto como uma porta de entrada, uma abertura para a constituição de negócios, criando um amplo campo de oportunidades industriais e comerciais”* (SILVA, 1999).

Vale (1993) diz que *“porto é comércio, é competição e é desenvolvimento”*, e em seguida defende que falta eficiência aos portos nacionais, necessitando que os participantes de todo o processo de concepção, execução e desenvolvimento se entendam ou se revelem como responsáveis, com vontade e disposição de mudar, ou como agentes de mudança, ou com a própria consciência de sua participação.

A administração portuária deve considerar a importância que os portos têm na atividade econômica, isto é, as atividades que ocorrem entre a produção das mercadorias e o consumo das mesmas, ou seja, que os portos fazem parte de uma distribuição global. Assim, as pressões para que os portos aumentem a produtividade, reduzam custos, mudem serviços, fazem parte da economia globalizada. Numa economia global radicalmente centrada na competitividade, não há como os elos frágeis entre produtores e consumidores suportarem portos ineficientes, caros e pouco produtivos.

Portanto, os portos devem funcionar como uma estrutura institucional que facilite os investimentos do setor privado através de operadores portuários, que permita aos seus usuários participação na sua administração, que opere com ampla autonomia gerencial, que racionalize a necessidade de mão-de-obra, que assegure decisões realistas de investimentos e que, estabeleça competição entre os portos e dentro do porto.

As mudanças tecnológicas vêm causando uma profunda reformulação do conceito clássico de porto. Com a utilização de contêineres, *pallets*<sup>2</sup>, sistema *roll-on-roll-off (Ro-Ro)*<sup>3</sup>, correia transportadora, esteira rolante, dutos de sucção para grãos e eletroímãs, entre outros, está provocando uma completa transformação no porto tradicional que, essencialmente, operava com carga geral não unitizada ou com carga ensacada.

Embora o porto clássico, com seus guindastes e empilhadeiras, ainda tenha aplicação em certos casos, ganha cada vez mais corpo o conceito de terminais especializados, com equipamentos e métodos de operação específicos para determinadas cargas. É cada vez mais freqüente o embarque através de navios *roll-on-roll-off*, que permitem aos veículos ingressar no navio rodando através de suas rampas, bem como de contêineres em navios especialmente construídos para esse tipo de transporte, com capacidade de milhares de TEUs<sup>4</sup>, onde os portos necessitam adaptar-se a essa nova realidade (SCHOELER, 2000).

Para adequar os portos antigos aos novos métodos de operação das cargas, são necessários grandes investimentos, com o propósito de reduzir a permanência do navio no porto, de forma a maximizar a sua utilização pelo armador e baratear as operações de carga e descarga através da mecanização. Onde os investimentos não ocorrem, a operação de carga e descarga dos navios é lenta. Os custos são altos, as perdas são elevadas, contribuindo para o encarecimento do sistema, e aumentando o preço tanto dos produtos exportados, tirando-lhes a competitividade no mercado internacional, como também dos produtos importados, provocando a desaceleração no desenvolvimento do país, em função dos elevados preços das máquinas e dos insumos para a produção nacional.

Para Schoeler (2000), geralmente, a diferença entre uma operação com lucro e uma que dá prejuízo é mínima e, portanto, há necessidade de esforços contínuos para a redução dos custos operacionais. Assim, conforme Silva (1999), os portos devem adotar uma nova função que é a de organizar e gerenciar fluxos contínuos de bens para a produção e o consumo, a partir de redes de empresas que se estendem pelos territórios. Captar os fluxos internacionais de mercadorias para estocá-las, transformá-las e distribuí-las exige uma conexão entre um número sempre crescente de indústrias e serviços e os portos são os lugares centrais dessa

---

<sup>2</sup> Plataforma fabricada de metal, madeira ou fibra, projetado para ser movimentado através de empilhadeiras, paleteiras, guindastes, carrinhos hidráulicos ou veículos similares, no intuito de facilitar o transporte e movimentação, armazenagem (BERTAGLIA, 2003).

<sup>3</sup> Navios em que a carga entra e sai dos porões e cobertas sobre rodas (automóveis, ônibus, caminhões) ou sobre veículos (geralmente carretas, traillers, estrados volantes), (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006).

<sup>4</sup> TEU (twenty-foot equivalent unit): contêiner de vinte pés; unidade equivalente a vinte pés (medida de padronização da contagem de contêineres: por exemplo um contêiner de 40 pés equivale a 2 TEUs), (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006).

conexão com a troca internacional, permitindo que cada país introduza, não apenas mercadorias, mas também as mais-valias resultantes da passagem das mesmas por essa conexão.

A globalização econômica gerou um forte aumento dos fluxos de mercadorias que circulam por navio de um continente para outro, abrindo novas perspectivas e aumentando a competitividade entre as nações. A concorrência entre os portos se dá sobre algumas frentes, dentre elas: na eficácia interna do porto, visto como instrumento capaz de fazer circular fluxos de mercadorias cada vez maiores em um tempo cada vez menor, e com custos sempre mais baixos e competitivos. Ainda defende que a eficiência interna do porto constitui hoje uma condição prévia de sucesso, sem a qual, não é possível competir com seus concorrentes.

Conforme cita Oliveira (2000):

*Na acirrada luta pelos mercados, que se trava em todos os Continentes, cada vez mais cresce em sua importância o item de serviços portuários. As empresas de comércio exterior, notadamente os exportadores, sabem que a colocação de seus produtos depende também da qualidade e dos custos das operações de carga e descarga.*

Assim, não basta ter um artigo de qualidade se o atraso no embarque ou descarregamento retarda a entrega do produto no mercado consumidor, ou se até mesmo o custo dos serviços portuários tiram a margem de competitividade (custos estes formados pelos impostos e tarifas além de salários aos portuários). Para atender de forma satisfatória às necessidades logísticas do comércio internacional, os portos devem oferecer as seguintes características:

- a) estar localizado fora do perímetro urbano das cidades para não prejudicar o fluxo urbano, permitindo o escoamento de cargas;
- b) dispor de acessos rodo-ferroviários, facilitando a fluidez do transporte;
- c) possuir águas profundas, naturais ou mantidas por dragagens, permitindo o acesso e atracação dos grandes navios;
- d) contar com o abrigo de obras de engenharia como molhes e quebra-mares que possibilitem a adequada proteção contra ventos e marés aos navios, sem alterar os fluxos de corrente e ciclos de onda da região;
- e) possuir grandes retro-áreas que possibilitem a transferência, armazenagem, o processamento de mercadorias longe dos berços de atracação;
- f) dispor de um sistema operacional integrado e equipamentos adequados, possibilitando a obtenção de produtividades compatíveis com o custo operacional

dos navios que o freqüentam e sistemas de controle eletrônicos ao longo do processo;

- g) manter mão-de-obra atualizada tecnologicamente e consciente de evitar avarias e remoções e,
- h) contar com eficiente sistema de comunicações com seus clientes.

O porto ideal seria aquele que maximizasse o desenvolvimento da nação, da região, valorizando os conceitos político-econômicos, urbanistas, humanos, sociais e do meio-ambiente; ou seja, aquele capaz de atender a navios de grande porte, com alto grau de mecanização, oferecendo fluidez ao transporte e elevada produtividade com nível de avarias reduzido, com total integração operacional, dispendo de comunicação eficiente com clientes e autoridades aduaneiras.

A Tabela 3 a seguir sintetiza as principais vantagens competitivas envolvidas na competição entre os portos:

<b>Facilidades marítimas e terrestres</b>	<b>Administração portuária</b>
Profundidades (calado <sup>5</sup> )	Estruturas enxutas
Número de berços	Estruturas voltadas para o cliente portuário
Especialização dos berços (terminais)	Atuação comercial
Áreas de estocagem	Forte marketing
Fatores de produção adequados	Preservação do meio ambiente
Custos operacionais	Parcerias privadas
Acessos terrestres adequados	Interfaces adequadas (autoridades e sociedade)

**Tabela 3 – Competição entre Portos: Vantagens Comparativas**  
**Fonte: Tovar e Ferreira (2006)**

Para Silva (1999) o século XXI, quanto à questão portuária se resumirá em uma única palavra: qualidade, ou seja, quem prestar o melhor serviço com o menor custo permanecerá no mercado. Desta maneira, os portos brasileiros terão que perseguir o padrão de tecnologia operacional da atividade modelando suas estruturas organizacionais para o atendimento a uma atividade cada vez mais comercial e competitiva. No entanto, se não forem mudados os padrões da atividade portuária brasileira deixaremos de pertencer ao chamado clube dos países em desenvolvimento, uma vez que essa atividade, pela nossa geografia continental, é fator primordial para o crescimento do país.

---

<sup>5</sup> Profundidade de um navio abaixo da linha de água, medida na vertical até à parte mais baixa do casco, hélices, outros pontos de referência (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006).

## 2.4 Panorama nacional × mundial

Há muito tem se falado em exportação, equilíbrio da balança comercial dentre outros assuntos do gênero e é sabido, como disse o Sr. Rubens Ricupero (ex-Ministro da Fazenda) que “o desenvolvimento do comércio internacional está ligado diretamente à questão portuária, uma vez que a maioria das mercadorias comercializadas no mundo transporta-se em navios e são movimentadas em portos” (OLIVEIRA, 2000).

Dizia em 1.972 o professor Gudin, citado em Oliveira (2000):

*O comércio internacional é um fator de prosperidade e de enriquecimento para os países que dele participam. Primeiro, porque eleva o padrão de vida; segundo, porque utiliza a capacidade ociosa da produção e, com o aumento do volume dessa produção, seus custos tendem a baixar; terceiro, porque incrementa o volume de emprego.*

Ainda no ano de 2000 uma pesquisa realizada com empresários brasileiros demonstrou que 93,50% das respostas reivindicavam a modernização dos portos, como forma de tentar angariar melhores condições competitivas ao negócio, uma vez que a exemplo de vários países é visível que a abertura ao mercado externo favorece diretamente a economia nacional. Exemplo disso é o caso da China × Brasil, conforme a Tabela 4:

<b>País</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>
<b>Brasil</b>	20	31
<b>China</b>	18	72

**Tabela 4 – Comparativo de exportações China × Brasil no período de 1980-1991 (em US\$ bilhões)**  
**Fonte: Oliveira (2000)**

Está explícito que as exportações chinesas evoluíram resultando em melhorias no índice de empregos e o nível de vida do povo chinês.

O que aconteceu na maioria dos países que tem superávit nas exportações foi a privatização dos portos, pois dessa forma foi possível investir fortemente em equipamentos e dar condições de trabalhar com ótimos navios, melhorando o nível de serviço. Já nos portos nacionais, o sonho de competitividade dos produtos brasileiros há tempos sofre a ação de ineficiência gerencial, além de custos portuários exorbitantes, o que representa a perda de bilhões de dólares nas exportações, inviabilizando a movimentação de cargas. Para este caso, o porto de Suape (PE) pode ser considerado uma exceção, pois parte das atividades foram privatizadas, conseguindo-se reduzir os custos portuários (maio de 1992), ou seja, enquanto

ali se pagava US\$ 92 pela movimentação de um contêiner, em Santos a mesma operação saía por US\$ 200.

A definição de contêiner segundo Oliveira (2000) é:

*... o nome como se identificam essas grandes caixas de aço, de 7 e 14 metros de comprimento, que hoje ocupam largas faixas dos portos mundiais. Servem elas para o transporte, seguro e praticamente inviolável, de até 50 toneladas de carga geral...*

É comum o interesse dos portos (nacionais e internacionais) pelos contêineres, os enormes cofres de aço, aptos a abrigar até 50 t de carga e a melhor forma de se transportar produtos de um país a outro. Segundo Silva (1999), a crescente containerização das cargas tem facilitado tecnologicamente o processo, com o uso intensivo de equipamentos automatizados, exigindo-se um desempenho mais qualificado do serviço portuário. Isto quer dizer que possuir mais guindastes, menos empregados e práticas de trabalho flexíveis aumentam a competitividade dos portos.

A incorporação no sistema dos contêineres resultou num aumento da produtividade, o que motivou uma perda volumosa dos postos de trabalho na área operativa da economia portuária. A integração de transporte multimodal, que trabalha com carga empacotada em contêineres desde o ponto de origem até o ponto de destino final elimina a necessidade de atividades tradicionais e com, isso, pode-se agregar mais valor ao serviço oferecido.

Como se trata de um alto volume movimentado de carga, os portos modernos têm introduzido equipamentos computadorizados e automatizados, além de pontes rolantes, que operadas por um único homem dispensam o trabalho de centenas de estivadores, diminuindo o custo dos serviços de forma drástica, podendo dar agilidade na operação. A Tabela 5 e o Gráfico 6 demonstram a movimentação de contêineres durante os anos de 1991, 1999, 2000 e 2006 em alguns dos principais portos do mundo:

Portos	Contêiner			
	1991	1999	2000	2006
Hong Kong	0,2	16,2	18,09	23,53
Brasil (geral)	0,8	1,48	1,52	5,24
Cingapura	6,3	15,9	17,08	24,79
Roterdã	3,1	6,4	6,2	5,86

**Tabela 5 – Movimentação de contêiner (em milhões)**  
**Fonte: Silva (1999), ISL Port (2004) e site dos portos**



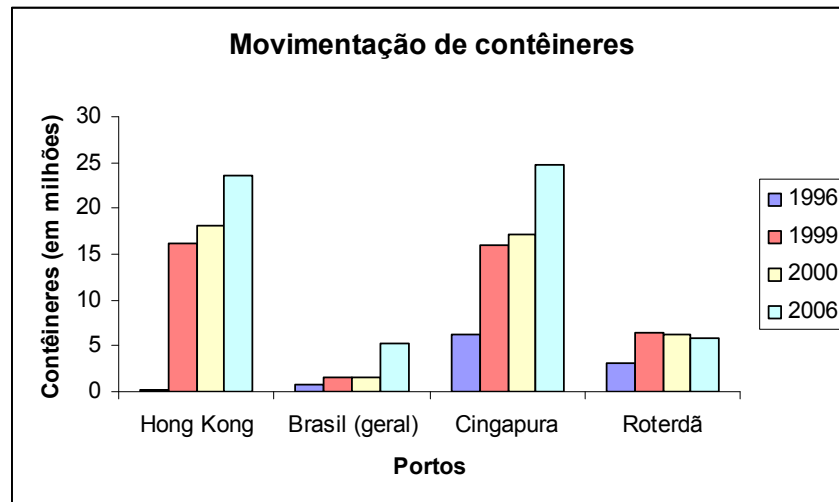


Gráfico 6 – Movimentação de contêiner

O que se pode verificar é que o Brasil tem apresentado um crescimento notável com relação à movimentação de contêineres, sendo que nos últimos seis anos, este crescimento foi de 555%, um salto muito maior que alguns dos renomados portos analisados, como o caso de Roterdã.

Até o início da década de 90 o porto de Roterdã ocupava a primeira posição na movimentação de contêiner, sendo posteriormente ultrapassado pelos portos asiáticos. A queda dos portos europeus e americanos é explicada pela perda de importância da rota de comércio do norte da Europa com a costa leste dos Estados Unidos, a mais importante do mundo nos últimos 15 anos, para outras rotas que fazem o comércio com a Ásia e também a uma grande utilização dos portos de transbordo (*transshipment*) no Mediterrâneo e Ásia (MARTINS & SILVA, 2001).

No ano de 2000, no porto de Roterdã, apenas um trabalhador comandava de sua cabine, com auxílio do computador e de controle remoto, não só as imensas pontes rolantes, como também dirigia os caminhões que transportam os contêineres. Nos portos nacionais, a mesma operação poderia demandar de 40 a 50 homens. Como resultado, a movimentação de contêineres no cais brasileiro custava pelo menos três vezes mais do que nos países industrializados, como a Holanda, Bélgica e Alemanha. Outro dado importante é que um litro de óleo diesel proporcionava o transporte, em navio, de 875 toneladas de carga por quilômetro, contra apenas 30 toneladas por caminhão e que, um “navio médio” operado por 60 homens podia transportar carga equivalente a 900 caminhões conduzidos por 1.800 homens.

No mesmo ano, em decorrência da falta de infra-estrutura adequada, aproximadamente 600 mil toneladas de fertilizantes deixavam de aportar no porto de Paranaguá (PR) e, algumas

vezes, os navios que traziam 900 mil toneladas ficavam até 30 dias no porto, ao custo médio diário de US\$ 10 mil, à espera de uma vaga para descarregar (OLIVEIRA, 2000). O custo do transporte/embarque da soja brasileira atingia a média de US\$ 69 por tonelada, ainda no ano 2000, enquanto que nos Estados Unidos, onde a mão-de-obra é mais cara, os preços destes serviços eram de US\$ 18 por tonelada, levando o Brasil à desvantagem competitiva.

Desde o período do governo do Presidente Itamar Franco na década de 90, a reforma portuária situava-se em primeiro lugar entre as modificações necessárias para o aprimoramento nacional; ou seja, era preciso modernizar os portos brasileiros de modo a torná-los semelhantes aos dos países mais adiantados, pois até então a regulamentação utilizada era a mesma de 60 anos atrás e os meios de transportes ainda eram dos mais antigos, enferrujados e obsoletos.

Em 1992 se falava que o problema maior dos portos brasileiros eram os mesmos estarem nas mãos do Estado, o qual por sua vez não dispunha de recursos para o reequipamento dos mesmos e que, a empresa privada não aplicaria um centavo sequer no setor enquanto não tivesse total controle dos serviços, de modo a operar os equipamentos com seus próprios operários ou avulsos à sua própria escolha.

Dentre os portos nacionais é grande a importância do porto de Itajaí (SC), que após a implantação e validação da Lei nº 8.630 de 25 de fevereiro de 1993 para a modernização dos portos, conseguiu melhorar a qualidade dos serviços além de diminuir custos (em 1993 o porto movimentou 1,8 milhão de toneladas com faturamento cambial de US\$ 1,5 bilhão). Sendo incluído à lista de aplicação da moderna orientação privatista em meados do ano 2000 e contando com o apoio de empresários, trabalhadores e autoridades locais, melhoraram alguns serviços aumentando o número de usuários, alguns até mesmo dos portos de Rio Grande e de Santos.

Para Silva (1999) a implantação da Lei nº 8.630 foi um fator que contribuiu de alguma maneira para a disputa de cargas entre os diversos portos nacionais, pois deu espírito de competição no sistema portuário, onde se buscava a redução de custos para poder se oferecer preços mais baixos além de maior agilidade nas operações de embarque.

Na opinião de Vale (1993) a Lei nº 8.630 instituiu um novo regime exploratório dentro do sistema portuário, mas não o organizou ou fixou os seus moldes, exatamente para que, retirados os entraves, pudessem ser criadas estruturas e relações novas, que gerassem um novo modelo de organização e de porto, de acordo com as condições reais existentes do roteiro estrutural de apoio do Órgão Gestor da Mão-de-obra do trabalho avulso – OGMO – e do Conselho de Autoridade Portuária – CAP.

Os portos que ainda permanecem sob controle da estatal Cias. Docas de certa forma saem prejudicados, pois essas estatais podem manipular e reduzir os preços dos serviços sem nenhuma regulamentação, uma vez que o prejuízo no final do exercício será sempre coberto pelo Governo e, em última análise, pelo contribuinte.

Pelos dados de 1993 na Tabela 6 pode-se perceber a discrepância de preços médios praticados para um metro cúbico embarcado nos portos de Roterdã, Santos e do Rio:

<b>Portos</b>	<b>Preço metro cúbico</b>
Roterdã	4,7
Rio	15
Santos	25

**Tabela 6 – Preço médio do metro cúbico do produto embarcado (em dólar)**  
**Fonte: Vale (1993)**

Ainda no ano de 2000 o porto privatizado de Buenos Aires movimentava 50 contêineres por hora contra apenas 10 no porto de Santos, com menor número de trabalhadores. Em conseqüência, o custo da operação de um contêiner no porto argentino caiu para US\$ 85, contra mais de US\$ 300 cobrados no porto santista. Neste mesmo período, sob o monopólio das estatais Cias. Docas, o Brasil continuava a manter os piores e mais caros serviços portuários do mundo (OLIVEIRA, 2000).

Cabe aqui a ressalva para o caso brasileiro, onde inexistindo infra-estrutura as pessoas e mercadorias não podem se movimentar com qualidade. Para o ano de 1992 armadores estrangeiros já esperavam ver o Brasil com serviços portuários a níveis internacionais de qualidade e preços a fim de se tornar viável as negociações. Um exemplo da ineficiência do sistema nacional pode ser visualizado no porto de Santos, o qual movimentou no ano de 2007 apenas 12,90% do volume movimentado pelo porto de Roterdã<sup>6</sup>, operando muitos trabalhadores, encarecendo as operações e inibindo a participação das empresas privadas, além de impedir a criação de empregos nas atividades do retroporto. É válido citar que embora o porto de Roterdã tenha um volume movimentado muito superior ao do Brasil, em número de contêineres movimentados, tanto o porto de Roterdã quanto a movimentação total

---

<sup>6</sup> É válido citar que em uma pesquisa realizada em mais de 500 empresas usuárias do porto de Roterdã descobriu-se que as características que o qualificavam como o melhor e mais eficiente porto do mundo eram: estabilidade econômica, administração, eficiência na movimentação de cargas, confiabilidade nos serviços, facilidades aduaneiras, conexão com a rede de transporte rodo-ferroviária, sistema de comunicação, proteção ambiental e segurança.

do Brasil assemelham-se, isto quer dizer que em Roterdã a movimentação de cargas acondicionadas em outros meios é bem representativa.

Enquanto no Brasil as condições de atendimento portuário continuavam precárias, é exemplo de gestão eficiente o governo chinês que, em 1992, preocupava-se com o tempo de descarregamento de um graneleiro, o qual demorava 26 dias, quando nos portos modernizados demorava em torno de 5 a 6 dias. Como o custo de um navio parado era de US\$ 10 mil a US\$ 15 mil por dia, era preocupante o arcaico sistema portuário e isso fez com que o governo se envolvesse na reestruturação do sistema portuário tornando-o o que é hoje, um dos melhores sistemas portuários do mundo.

O custo médio de embarque de uma tonelada de aço não plano no porto da Antuérpia (Bélgica) era de U\$4.50 no ano de 1993 enquanto em Santos era de U\$35.00. Para o embarque de uma tonelada de aço não plano em Roterdã utilizavam-se 30 trabalhadores e no Rio de Janeiro 73; o custo global de embarque de 1 contêiner no porto de Antuérpia era de U\$95.00 envolvendo 10 homens enquanto em Santos era de U\$526.00 envolvendo 35 homens. Na média, o custo de embarque de uma tonelada nos USA era de U\$20.00 enquanto no Brasil era de U\$ 65.00. O tempo de retardo (atraso) para carga e descarga de uma embarcação no porto de Roterdã não ultrapassava 87 minutos na média do ano, enquanto que no Rio de Janeiro, que reflete, neste caso, a média nacional, situava-se em torno de 528 minutos. Assim, aumentando os custos desnecessários reduzia-se o crescimento econômico do país.

Em um documento publicado por Oliveira (2000) é possível se ter uma idéia de como o porto brasileiro já estava competitivamente atrás de alguns portos internacionais devido sua onerosa taxa de movimentação de contêiner. Outro exemplo de que no Brasil as condições de atendimento portuário continuavam precárias é a diferença de valores cobrados pela movimentação de um único contêiner frente aos portos de Antuérpia e Roterdã, conforme a Tabela 7:

<b>Portos</b>	<b>Preço</b>
Antuérpia	107
Roterdã	150
Santos e Rio de Janeiro	600

**Tabela 7 – Valor cobrado pela movimentação de 1 contêiner (em US\$)**  
**Fonte: Oliveira (2000)**

Diante das diferenças de gestão e operação dos portos nacionais e internacionais, Oliveira (2000) aponta que pelo descaso dos setores responsáveis pela expansão das

exportações, não houve modernização dos portos nacionais, a Marinha Mercante naufragou, a cabotagem não se sobressaiu e a construção naval tornou-se inviável no país, situação esta que o país vivencia na atual década.

Para reparar a situação em que se encontra o sistema portuário nacional é preciso uma reforma imediata que abranja tanto as tarifas portuárias praticadas, treinamento de mão-de-obra, formação e consolidação de parcerias estrangeiras além de investimentos em infraestrutura, dentre outros. É aqui que os portos devem se adaptar para atender navios maiores, oferecer equipamentos mais produtivos de carga e descarga ajustando-se às mudanças tecnológicas.

As interfaces entre produtores, importadores, exportadores, armadores, embarcadores, consignatários, despachantes, corretores, agentes de navegação, bancos, alfândegas, autoridades portuárias, marítima, de polícia, de saúde, de sanidade, operadores portuários e trabalhadores refletem uma fonte permanente de problemas, cuja solução está na aliança estratégica entre pessoas, empreendimentos e instituições, que levem à criação de sistemas eficientes de manuseio e distribuição de cargas (VALE, 1993). Só alcançando a satisfação de todos os interesses ou a coerência de todas as participações, é que se pode estabelecer a plenitude do desenvolvimento portuário.

A primeira questão para a Administração Portuária é saber que posição estratégica deve adotar para a sua exploração econômica, tendo em vista a adequação da força de trabalho, ou os seus recursos humanos e materiais, e a capacidade de produção de resultados satisfatórios, bastantes para alcançar os objetivos e prover suas necessidades. Essa avaliação é prioritária, com formação do perfil das tarefas a serem desenvolvidas e das equipes necessárias a esse desempenho, qualitativa e quantitativamente.

É preciso a participação governamental e de iniciativa privadas, ou da indústria ou do comércio, para dar apoio. De acordo com Vale (1993) a parceria precisa crescer na cultura nacional, ganhando enfoque novo na relação, agregando contribuição exploratória e de desenvolvimento à própria idéia do lucro, ou a qualquer interesse imediato. As parcerias são as seguintes:

*a) parceria política e mercadológica do porto com o governo, em seus vários níveis, cabendo à viabilização de grandes negócios ou de negócios continuados de transporte, com o envolvimento portuário e de interesse econômico regional ou nacional;*

- b) parceria econômica e comercial, com investimentos, do porto com empresas privadas, para a criação e exploração de novos serviços portuários ou de serviços automatizados, com a expansão e o desenvolvimento portuário, singular ou múltiplo;*
- c) parceria ou aliança de portos, governo e armadores para a racionalização das escalas marítimas e conformação do mercado nacional ou internacional, com maior eficiência, rotatividade dos navios e redução de custos e fretes;*
- d) projetos de governo e empresas com envolvimento do porto, para operacionalização de grandes pacotes de exportação ou de importação, ou para o transporte de grandes massas ou quantidades de produtos de concentração e distribuição em certos pontos estratégicos do território nacional;*
- e) parceria ou aliança do governo e o porto para a realização de estudos de racionalização, barateamento e viabilidade do transporte de produtos ou de mercadorias com o envolvimento e a participação portuária como alternativa de deslocamento para os mercados consumidores;*
- f) parceria ou aliança de portos com ou sem o envolvimento do governo para racionalização, barateamento e viabilidade da participação portuária diversificadas, com a complementaridade dos serviços portuários, com o objetivo de agilização da movimentação e desafogo dos portos de congestionamento de cargas;*
- g) projetos de apoio da Receita Federal ou da Receita Estadual a grandes linhas ou fluxos de transferência de riquezas, de elevado interesse econômico ou social, regional ou nacional, com o envolvimento e a participação portuária;*
- h) parceria ou aliança do governo federal ou do governo estadual com o envolvimento do porto, para a formalização de políticas gerais de transporte e de programas e políticas específicas de exploração portuária, assim como de todas as atividades industriais correlatas;*
- i) incentivo e prioridade dos benefícios fiscais dos governos aos portos de maior eficiência, competitividade e efetiva participação no processo de desenvolvimento, com apoio real à indústria, comércio e à economia;*
- j) programa governamental ou público de investimento sem discriminação, entre todos os portos e com a total isenção de procedimentos comerciais ou exploratórios, sem qualquer participação ou fator de desequilíbrio do mercado ou de comprometimento das competições real, saudável e responsável;*
- k) compatibilidade e integração dos projetos industriais e de transporte de grande porte, de políticas econômicas e de cooperação do crédito de bancos de*

*desenvolvimento, estaduais ou federais, sobretudo, do BNDES, à garantia e suporte do negócio, do investimento e do desenvolvimento portuário;*

*l) plano estratégico e programa múltiplo de ação conjunta de governos, porto e empresas, na exploração portuária em todo o setor ou serviço de transporte, concernentes ao processo industrial, comercial e econômico brasileiro, com uma visão nova do futuro e da globalização das economias, dos mercados e das relações continentais e intercontinentais.*

Os empreendimentos e os objetivos nacionais devem ser desenvolvidos com a participação de todos e assim, os portos não continuarão sendo pontos de estrangulamento da economia brasileira.

À administração portuária cabe prover os recursos materiais, humanos e tecnológicos para a movimentação de cargas, desenvolver alianças e mostrar a importância da qualidade do trabalho bem como cumprimento de metas, integrar e desenvolver mercados, fazendo parcerias, multiplicar e desenvolver os serviços portuários sempre aprimorando a qualidade, eficiência, produtividade, custos e preços.

Às empresas, clientes e usuários cabe buscar melhores alternativas de transporte e traslado de seus produtos e cargas incluindo o serviço portuário, buscar parcerias portuárias, apoiar e incentivar a eficiência e produtividade portuária, fazer análise crítica de procedimentos técnicos e apresentar propostas de melhorias.

Aos Sindicatos e Trabalhadores cabe desenvolver suas tarefas portuárias, apoiar alianças para viabilizar negócios de interesse econômico comercial e de consumo e de mercado, contribuir com a Administração do porto sugerindo alternativas de melhorias.

Portanto, seguindo o raciocínio de Vale (1993) o porto deve se adaptar às mudanças, tais como:

- a) expansão geográfica na influência dos centros de produção e consumo;*
- b) valor-volume-escala da carga movimentada;*
- c) qualidade e preço dos serviços;*
- d) agilidade operacional, com a preservação do fator tempo em sua ação e na comercialização dos produtos;*
- e) confiabilidade de suas operações e de sua movimentação de transferência;*
- f) follow up operacional, com eficiente sistema de informações e comunicações;*
- g) flexibilidade negocial e de regras operacionais;*
- h) boa infra-estrutura e infoestrutura, com facilidades físicas e telemáticas.*

Para o porto desenvolver sua operação com sucesso deve ter uma iniciativa rápida e prudente e ao mesmo tempo, de reorganização dos seus esforços e do seu trabalho. Para isso, cabe também ao governo federal os esforços de impedir a cartelização, identificar fluxos de transportes e cargas portuárias mais intensos, para racionalizar e apoiar a sua distribuição econômica com o desenvolvimento dos portos que possam ser aliados, evitando congestionamento de navios, criar facilidades públicas, estimular a competição, apoiar a eficiência e produtividade portuária, desenvolver lideranças com o envolvimento industrial e comercial, de exportação e importação, excluir a participação de dinheiro público em investimento ocioso. Ou seja, há uma necessidade crescente pela construção de novos portos e a amplificação e modernização dos portos existentes (PAQUETTE et al., 1982).

## **2.5 Considerações finais**

A contextualização dos transportes marítimos permitiu obter informações sobre sua posição perante o sistema de transporte de um modo geral, alertando para os problemas enfrentados, principalmente, no sistema nacional.

Alguns comparativos de preços e movimentação de cargas entre o sistema nacional e mundial expuseram a operação deficitária que há anos o Brasil vem apresentando, impedindo-o de avançar social e economicamente. Desta maneira, pretendeu-se explicitar a situação pela qual tem passado o serviço portuário para poder explorá-lo mais a partir deste ponto, apresentando um dos problemas operacionais enfrentados, conhecido como PAB.



## **3 OPERAÇÃO PORTUÁRIA**

### **3.1 Considerações**

Este capítulo se propõe a apresentar o sistema portuário de uma maneira mais enxuta, abordando o processo de operação, principais equipamentos utilizados e alguns dos problemas existentes do ponto de vista tático e operacional.

Alguns deles relacionam-se à definição de aquisição ou locação de equipamentos, ao dimensionamento de berços, à alocação dos equipamentos no pátio do porto e também, ao problema, foco desta pesquisa, de alocação de berços. Quanto a este último problema, pretende-se defini-lo, apresentando algumas das formulações matemáticas existentes, bem como algumas das técnicas propostas para sua resolução.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte - CNT (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006), os terminais portuários representam peça fundamental na logística das operações de comércio exterior e, portanto, sua operação deve ser ágil, segura e com fluxo contínuo de informações para assegurar o desempenho e competitividade do comércio internacional do País.

Assim, neste capítulo pretende-se minuciar sobre o funcionamento portuário, mais especificamente, o funcionamento operacional, incluindo as partes componentes de um porto, procedimentos, equipamentos utilizados e alguns dos problemas enfrentados, dentre eles, o PAB.

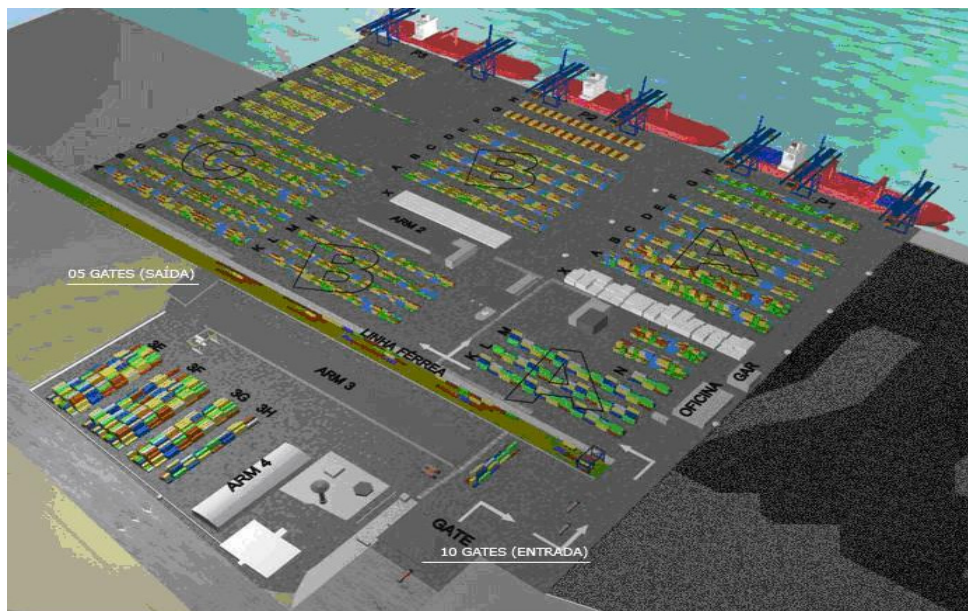
### **3.2 Descrição do processo**

A área do porto é composta pelas instalações portuárias, que compreendem ancoradouros, docas, cais, pontes e píeres de atracação e acostagem, terrenos, armazéns, edificações, vias de circulação interna. Também é composta pela infra-estrutura de proteção e acesso aquaviário ao porto, acessos terrestres, rodoviários e ferroviários; área de retroporto<sup>7</sup>; e equipamentos de movimentação de carga.

---

<sup>7</sup> Área geralmente instalada em terrenos próximos a um porto de mar aberto ou fluvial. Neste setor, são colocados os contêineres usados para carga e descarga de produtos que serão comercializados. A administração do setor é feita por particulares e há grande movimentação de máquinas e estivadores (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006).

A Figura 1 apresenta de forma compactada parte da área do porto de Santos (SP), para exemplificação, contendo os berços de atracação, os armazéns, portões de entrada e de saída, oficina, bem como pátio para contêineres.



**Figura 1 – Área portuária para exemplificação**  
**Fonte: Site Santos Brasil**

Conforme Souza (2002), basicamente, os procedimentos, desde a entrada do contêiner no porto até o embarque no navio, são os seguintes:

- a) ao chegarem ao porto, as carretas transportadoras apresentam-se no portão de entrada, quando são examinados os documentos da mercadoria e do veículo, sendo informado o local para a entrega do contêiner;
- b) em seguida, o setor de exportação faz a conferência dos dados da nota fiscal, do contêiner e seu conteúdo, dando entrada no Sistema Integrado de Comércio Exterior - SISCOMEX<sup>8</sup>;
- c) a partir daí, o veículo é encaminhado para o local de estocagem de contêineres. No caso de contêineres *reefer*<sup>9</sup> é feita sua ligação à tomada;
- d) durante a permanência no porto, o contêiner *reefer* tem sua temperatura e umidade controladas, além da vigilância permanente contra roubos e avarias de mercadorias;

---

<sup>8</sup> Sistema informatizado, por meio do qual é exercido o controle governamental do comércio exterior brasileiro. É uma ferramenta que permite um fluxo único de informações, agregando competitividade às empresas exportadoras, na medida em que reduz o custo da burocracia.

<sup>9</sup> Contêiner que possui sistema de refrigeração.

- e) com o contêiner estocado no porto, são realizados os procedimentos de liberação aduaneira e fitossanitária, os quais obedecem ao processo de parametrização efetuado pela Receita Federal, a partir de quando os contêineres são submetidos à inspeção segundo os canais verde, amarelo e vermelho;
- f) com a atracação do navio, já definido o plano de carregamento, ocorre a listagem dos contêineres prontos para embarque, feita pelo setor de exportação, considerando a regularidade da documentação e a passagem pela parametrização fiscal aduaneira;
- g) a expedição do contêiner para embarque através do transporte até o costado do navio ocorre, então, após a autorização expedida pelo setor de exportação;
- h) do costado, os contêineres são movimentados para bordo utilizando-se de equipamentos.

### **3.3 Equipamentos e *layout***

Devido aos altos custos envolvidos nas operações em terminais de contêineres e nos navios que os transportam, é fundamental que o tempo que o navio fique no porto seja o menor possível. Assim sendo, deve-se buscar a minimização dos tempos de espera por um cais, de atracação, de descarregamento, de carregamento e de saída, com o auxílio de bons equipamentos e *layout*.

Os equipamentos de movimentação de carga são importantes na eficiência das infraestruturas portuárias quando utilizados para o deslocamento de materiais de um ponto a outro por distâncias relativamente pequenas. Com o auxílio deles é realizado o trânsito da carga interna dos terminais, armazéns (carregamento e retirada dos caminhões, alocação e retirada das prateleiras), o embarque e desembarque dos navios e o transbordo entre modais de transporte.

Conforme Kozan e Preston (1999), os principais fatores que influenciam a performance de um terminal são: a área disponível, as estratégias de operação, *layout* físico, gerenciamento e práticas operacionais, confiabilidade dos outros modais que operam no terminal, ciclos de tempo de recebimento e entrega, equipamentos de movimentação e exigências dos clientes.

Thomaz et al.(1999) afirmam que dentre as diversas ações necessárias ao aumento da atratividade de clientes para um complexo portuário de terceira geração está a otimização do arranjo espacial dos seus múltiplos setores de atividades (industrial, serviços logísticos, habitacional, terminais multimodais) no sentido de minimizar deslocamentos internos

desnecessários ou demasiadamente longos, que se tornam fatores impedantes e agregam desutilidade à movimentação das mercadorias e aos usuários do complexo portuário, contribuindo para a queda da competitividade do porto em relação a seus componentes regionais.

Desta maneira, os próximos tópicos desta seção apresentam alguns dos problemas existentes na operação portuária.

### 3.3.1 Principais equipamentos utilizados

De acordo com a Pesquisa Aquaviária CNT (2006), o tipo de equipamento a ser utilizado em um terminal é determinado pelas características da carga a ser movimentada e das operações que realizam. Sua utilização possibilita maior agilidade às operações nos terminais e reduz a mão-de-obra necessária para as operações.

Kozan e Preston (1999) afirmam que isto depende da estratégia operacional do terminal, do espaço físico existente, do *layout* e do grau de padronização nos tamanhos e tipos de contêineres que ali circulam. Cada tipo de equipamento tem um diferente custo de capital, necessidades de espaço, propósitos de operação e exigências de reforço na pavimentação.

A quantidade e a qualidade dos equipamentos irão refletir diretamente na agilidade das operações e, conseqüentemente no tempo de atracação dos navios. No caso dos contêineres, por exemplo, que dependem exclusivamente de equipamentos para carga e descarga, se o tempo de atracação for baixo é porque os equipamentos são suficientes.

Equipamentos portuários utilizados na movimentação de carga geral fracionada e unitizada nas suas formas primárias restringem-se geralmente a empilhadeiras, na sua maioria com baixa capacidade (até 3 toneladas), e a guindastes de cais com capacidade inferior a 10 toneladas. Quando há movimentação de cargas pesadas, há a opção de utilização de guindastes sobre pneus ou de cábreas flutuantes. A produtividade obtida pelo conjunto de equipamentos, no entanto, é baixa, considerando-se também a variedade de formas, dimensões, volumes e pesos movimentados quando a carga é fracionada (GOEBEL, 1996).

A movimentação de contêineres caso não seja realizada de forma apropriada não permite a redução desejada nos custos. Equipamentos portuários para movimentação de contêineres são sofisticados e dispendiosos, e isto exige que a movimentação dessas unidades nos portos seja elevada, de modo a justificar a sua aquisição.

A maioria dos equipamentos é importada, embora empilhadeiras frontais, para movimentação de contêineres de 20 e 40 pés, já sejam fabricadas no Brasil. A relação de equipamentos inclui tanto aqueles destinados a terminais privativos, localizados na

retaguarda, cuja única função é retirar os contêineres de cima dos veículos e empilhá-los no pátio e vice-versa assim como unidades mais sofisticadas, que possuem elevada produtividade e são utilizadas apenas em portos com alta movimentação. A seleção adequada dos equipamentos, não só quanto ao número de unidades, mas também quanto ao tipo, depende de uma série de fatores específicos.

Em geral, os equipamentos são divididos de acordo com suas funções e características em equipamentos de faixa do cais e equipamentos de movimentação do cais-pátio de estocagem conforme descrito a seguir:

#### **- Equipamentos utilizados na faixa do cais (navio-cais-navio)**

De acordo com Martins e Silva (2001) as operações de carga e descarga dos cofres entre o navio e o cais podem ser eventualmente, feitas por guindastes na própria embarcação. Algumas vezes podem ser utilizados equipamentos dos navios como as pontes rolantes. Essa condição não é produtiva nos grandes portos e, assim, atualmente, os guindastes sobre pneus (*mobile cranes*) e os guindastes de pórtico sobre trilhos (*gantry cranes*) são os equipamentos mais utilizados para esta função. Estes podem se associar à garras, conhecidas como *spreaders* (quadros que se engatam nos cofres e os levantam).

#### **- Equipamentos utilizados entre a faixa do cais e as áreas de estocagem (cais-estocagem-cais)**

A movimentação dos contêineres é realizada com *reachstackers* e *toplifts* que são empilhadeiras próprias para a movimentação e o empilhamento frontal de contêineres; e os *transtainers*, que são guindastes montados sobre grandes pórticos que se movimentam sobre trilhos ou pneus, empilhando e transferindo os contêineres de um ponto a outro.

Outros equipamentos também são: guindastes, pórticos, sugadores, esteiras, paleteiras, tratores, caminhões. É válido salientar que o berço de atracação também pode ser considerado como sendo um equipamento, no qual os navios serão atendidos durante sua permanência no porto.

Para Goebel (1996) os *portainers*, no entanto, são equipamentos básicos de qualquer terminal marítimo de contêineres. Os equipamentos mais modernos desse tipo, ou seja, com mais de 90 metros de altura, controle remoto eletrônico e computadorizado, custam mais de US\$ 8 milhões. Os portos de Roterdã e Cingapura, os dois maiores do mundo, possuem cada um mais de 50 unidades desse tipo, mas há que se atentar para a diferença significativa quanto

ao número de contêineres movimentados anualmente nesses portos em comparação com os principais portos brasileiros - Santos e Rio de Janeiro.

Considerando-se que os mesmos possuem alto valor, deve-se haver um planejamento bem elaborado sobre a quantidade de equipamentos a serem adquiridas para efetuar as atividades da melhor maneira possível, reduzindo-se tempo de operação bem como custos incorridos dessas atividades.

### 3.3.2 Problema de aquisição e/ou locação de equipamentos

Os primeiros contratos de *leasing*<sup>10</sup> datam da época colonial norte-americana, onde o operador possuía a posse e o uso do casco e mastro, porém providenciava todos os demais equipamentos para a viagem.

De acordo com Souza e Famá (1997) a grande expansão do *leasing* ocorreu nas décadas de 50 e 60, onde as empresas compreenderam que para sobreviver, necessitavam crescer e inovar. Avanços tecnológicos em maquinaria e equipamentos eram, na maioria das vezes, a única alternativa num mercado cada vez mais competitivo, porém a aquisição destes exigia grande quantidade de capital, e em alguns casos, com grande risco de obsolescência rápida.

Rolin (1974) diz que o *leasing* é um financiamento destinado a oferecer aos comerciantes e industriários um meio de conseguir um equipamento, arrendando-o em vez de comprá-lo. Esta operação é realizada por sociedades que compram o bem, seguindo as especificações do futuro usuário, arrendando-o durante o prazo estipulado e mediante a percepção de contraprestações, fixadas em contratos e que deve reservar ao arrendatário uma opção de compra do bem ao término do período.

Em se tratando de equipamentos e maquinaria de alto valor monetário, o *leasing* apresenta-se como uma boa vantagem à empresa arrendatária, pois este tipo de negociação permite:

- a) a expansão ou modernização de uma empresa ou instalação de uma nova unidade industrial, sem a necessidade imediata de imobilização de capitais próprios, substituindo-se as amortizações devidas no caso de compra, pelo pagamento de contraprestações do arrendamento;

---

<sup>10</sup> O termo vem do verbo *to lease* e pode significar o processo de arrendamento, ou pode ter o sentido substantivo de arrendamento enquanto contrato de *leasing* (SOUZA e FAMÁ, 1997).

- b) conciliar as atividades econômico-financeiras da empresa com os naturais reflexos sociais, políticos e jurídicos, elevando ao alcance o termo financiar;
- c) eliminar a diminuição de algumas deficiências e pontos de estrangulamento existentes;
- d) promover investimentos produtivos, permitindo à empresa o uso de equipamentos necessários para seu funcionamento, ou para a expansão de suas atividades, permitindo acompanhar o progresso tecnológico e aumentar a real produtividade, sem comprometer o grau de imobilização de capitais próprios;
- e) agir no sentido de auxiliar a redução de possíveis condições de desigualdade das empresas nacionais, no que diz respeito ao seu reaparelhamento operacional às condições modernas de produção;
- f) executar programas prioritários, ampliando e fortalecendo as empresas nacionais;
- g) criar e expandir o desenvolvimento do mercado.

Um dos principais aspectos a ser chamado atenção nos contratos de *leasing* é o custo de arrendamento, pois nele estão inseridos os custos financeiros, administrativos, taxas, margem de lucro do arrendador e os riscos da operação. Para Souza e Famá (1997), na decisão de realizar um contrato de leasing um risco que deve ser considerado é a incerteza do retorno do investimento estimado pelo fluxo de caixa projetado. Assim, as principais decisões financeiras envolvidas estão relacionadas com os seguintes fatores:

- a) decidir se o equipamento deve ou não ser adquirido pela empresa, considerando o custo de oportunidade do investimento da empresa;
- b) descontar os futuros pagamentos do leasing ao custo de oportunidade de financiamento, a fim de determinar o preço de compra equivalente;
- c) eliminar as despesas de juros inseridas em cada contraprestação paga de arrendamento;
- d) subtrair o valor atual da dedução da depreciação equivalente;
- e) avaliar o benefício fiscal em decorrência da contraprestação ser dedutível para efeito de imposto de renda.

A forma mais prática seria escolher o equipamento que trará mais lucro à empresa independentemente de sua aquisição ou arrendamento. Deve-se confrontar o *leasing* financeiro com a compra de recursos próprios ou recursos de terceiros, e aquela proposta que apresentar o menor custo deverá ser selecionada pela empresa para adquirir o bem.

Conforme a Associação Brasileira de Tecnologia para Equipamentos e Manutenção – SOBRATEMA (Revista M&T, 2007), a decisão de comprar ou locar será determinada pelo período de uso e o tipo de equipamento necessário. Dependendo do perfil do empreendimento, a mobilização de máquinas de menor porte por períodos superiores a 12 meses pode tornar sua compra mais vantajosa, mas é preciso também avaliar o tipo de equipamento e sua taxa de ocupação futura diante da carteira de obras atual e dos projetos a serem executados pela companhia.

Uma vez definido que serão adquiridos os equipamentos cabe ao projetista dimensionar uma quantidade/frota flexível o suficiente para se manter com alta taxa de ocupação, o que resulta em menores custos para a empresa e ganho de competitividade. Para Martins e Laugeni (2006), a quantidade de equipamentos a ser utilizada depende de suas capacidades produtivas, do número de turnos e das especificações técnicas de cada equipamento.

Este raciocínio também se aplica ao porto, o qual deverá avaliar a situação individualizada de cada equipamento, veículo e máquina, considerando a taxa de ocupação dos mesmos, para tomar sua decisão de compra ou de locação.

### 3.3.3 Problema de alocação de equipamentos aos serviços do porto

Segundo Corrêa e Corrêa (2004), conforme o tipo do sistema produtivo há um conjunto de decisões a serem tomadas, podendo ser muito complexo dentro da área de gestão da produção e operações. Isso se deve principalmente ao volume de diferentes variáveis que podem estar envolvidas e a sua capacidade de influenciar os diferentes e, às vezes, conflitantes objetivos de desempenho do sistema produtivo. Assim, as decisões decorrentes da programação da operação tornam-se um problema combinatório de tal ordem que soluções intuitivas são inadequadas pelas limitações humanas de administrar informações.

Os centros de trabalho (área ou setor de um negócio, com equipamentos especializados) podem ser organizados e agrupados de várias formas: de acordo com a função, numa configuração chamada funcional ou *job shop*<sup>11</sup>, ou de acordo com a seqüência

---

<sup>11</sup> Chamam-se *jobs* as atividades a serem feitas. Para problemas de uma única máquina (*single-machine-problems*), todos os *jobs* devem ser processados nela. A máquina pode processar uma tarefa por vez. Quando várias máquinas podem fazer os mesmos processos das tarefas, chamamos de máquinas paralelas (*parallel machines*). Um *job* pode ser processado em alguma das máquinas, e uma vez processado por uma máquina, está completado. O termo *flow shop* consiste de diferentes máquinas. Cada *job* deve ser processado por cada máquina exatamente uma vez. Porém, todas as tarefas possuem o mesmo roteamento, ou seja, elas devem visitar as máquinas na mesma ordem.



de atividades que o produto (neste estudo, o serviço) produzido requer, numa configuração chamada por produto ou em linha.

O processo de decidir que tarefa realizar primeiro em determinado centro de trabalho (equipamento) é denominado seqüenciamento ou definição de prioridades. Regras ou disciplinas de seqüenciamento são as regras utilizadas na obtenção dessa definição de prioridades. Estas podem ser simples ou mais complexas, levando em conta mais ou menos variáveis. Tais regras levam em conta informações como:

- a) tempo de processamento da ordem no centro de trabalho sendo seqüenciado (ex: tempo de processamento de um contêiner em um transtainer);
- b) data prometida de entrega do serviço;
- c) momento de entrada do serviço;
- d) momento de entrada do serviço no centro de trabalho;
- e) importância do cliente solicitante da ordem;
- f) tempo de operação restante - tempo somado de processamento nas operações que ainda precisam ser feitas na ordem;
- g) outros.

A forma com que se sequenciam as ordens de produção em sistemas *job shop* é influenciadora do desempenho da operação em termos de aspectos que têm repercussão estratégica como:

- a) percentual de ordens de produção completadas no prazo;
- b) tempo médio de ‘atravessamento’ da ordem – o tempo médio que as ordens permaneceram na unidade produtiva;
- c) níveis de estoques em processo na unidade produtiva;
- d) níveis de utilização de recursos – percentual do tempo durante o qual os recursos estão sendo efetivamente utilizados;
- e) outros.

Um *schedule*/agendamento é criado para um conjunto de *jobs*/tarefas (como o caso de alocar um trator para transportar um contêiner do armazém ao navio onde será embarcado), mas enquanto eles estão processando, mais *jobs* chegam. De fato, se uma tarefa pequena tem

---

Um *job shop* é mais geral que um *flow shop*; onde cada *job* deve ter um único roteamento. Já os *open shops* são *job shops* nos quais as tarefas não possuem roteamento especificado (SIPPER e BULFIN, 1998).

uma longa data para liberação, a máquina (neste caso, o trator) deveria estar disponível aguardando para processar aquela tarefa por primeiro, enquanto uma tarefa longa com data de liberação mais curta deveria ser completada antes da data de liberação da tarefa menor (SIPPER e BULFIN, 1998).

Supondo que a única tarefa disponível tenha um longo tempo de processamento, mas várias pequenas tarefas chegam um período de tempo mais tarde, deveria não se programar/agendar nenhuma tarefa, deixando a máquina disponível, até que as tarefas menores chegassem. Assim, deveria agendar as tarefas menores por primeiro, seguida da tarefa longa, e reduzir o fluxo de tempo. Uma heurística óbvia é agendar tarefas curtas e posteriormente as longas, o que não garante a solução ótima, mas minimiza o fluxo de tempo.

Para atender às novas demandas em um sistema, deve-se observar se há recursos disponíveis para serem utilizados no seu processo. A complexidade do planejamento da operação está na busca da utilização ideal de recursos.

Desta forma, é necessária uma estratégia que permita o planejamento da utilização dos recursos no atendimento às demandas das atividades, de forma descentralizada e distribuída; a contribuição para a satisfação dos objetivos e restrições temporais e de custos globais ao sistema como um todo; e a especificação de forma consistente da estrutura funcional e organizacional de um setor de um sistema de operação.

De acordo com Ogliari et al. (2005) durante o processo de operação ocorre o consumo de materiais e a utilização de recursos de produção. Para atender novas demandas de produção deve-se observar se há recursos disponíveis a serem utilizados, considerando seus limites de capacidade, os tempos de execução de cada atividade relacionados aos recursos utilizados, o tempo de preparação dos recursos (*set up*), o período de entrega (término) de cada serviço e o sincronismo temporal na alocação destes recursos.

Os recursos de produção são máquinas, equipamentos e mão-de-obra existentes no sistema produtivo, neste caso, o sistema portuário, e possuem capacidade limitada tanto quanto à quantidade disponível, como quanto às suas funcionalidades e capacidade produtiva. No caso da operação portuária, pode-se dizer que os navios compartilham recursos de produção (que são limitados e possuem restrições quanto a sua utilização) para a manipulação de suas cargas, podendo ocorrer um tempo de espera para que um navio seja beneficiado por um recurso de produção.

Como exemplo pode-se citar o caso de um guindaste em particular, que opera grandes volumes de carga. Uma vez que há mais de um navio requisitando sua utilização deve haver um planejamento de uso, prévio, para fazer com que o tempo de espera para a utilização do

equipamento seja mínimo, não atrasando o serviço total do restante dos navios e também, que o equipamento permaneça o menor tempo possível ocioso.

#### 3.3.4 Problema de dimensionamento de berços

Conforme Paquette et al. (1982), a taxa de carregamento e descarga depende de:

- a) *tipos de cargas;*
- b) *tipo de embarcação e tamanho (especialmente, o número de comportas);*
- c) *disponibilidade e tamanho da equipe de estivadores;*
- d) *grau de mecanização e métodos de manipulação de cargas.*

De acordo com Jansson e Shneerson (1982), historicamente, o desenvolvimento de muitos portos podem ser divididos em duas eras: expansão da capacidade pelo aumento no número de berços, seguido dos anos recentes, pela era do aumento da capacidade dos berços.

Uma vez que não se consegue mais aumentar a capacidade de um dado berço em função da profundidade das águas e outros aspectos, opta-se por construir novos berços, quando possível, para aumentar a capacidade de operação do porto, uma vez que as atividades de carga e descarga representam um ponto de gargalo.

Assim, para Paquette et al. (1982), no planejamento do tamanho do porto deve-se avaliar o volume de comércio presente e futuro e tipos de navegação que serão praticadas. Essa informação essencial permite ao porto planejar para estimar o número, tipo e tamanho dos navios a serem acomodados nos berços. A previsão de movimentação de fretes para um dado porto também deve incluir uma avaliação dos existentes e futuros níveis de atividades em manufatura, mineração, agricultura e silvicultura.

No planejamento dos portos, os engenheiros devem obter previsões confiáveis do número e tempo de distribuição da movimentação de navios na ordem de antecipar o número de berços requeridos. Portanto, adequadas dimensões para canais e berços devem ser estipulados para permitir segurança, ativa movimentação dos navios e atracação; além disso, suficiente praça para manobra também deve ser estipulada para carregamento e descarregamento de navios e também para abastecimento e suprimento dos mesmos.

A profundidade do berço e a abordagem do canal devem ser suficientes para permitirem o completo carregamento de navios para navegar seguramente em águas profundas. Obviamente, a profundidade requerida do berço depende principalmente da distância vertical entre a linha da água e a quilha dos navios usando o porto.

De acordo com a Pesquisa Aquaviária (2006) tanto os berços como os canais de navegação precisam ser dragados periodicamente para manter as profundidades de calado e navegação, garantindo a movimentação dos navios adequados a cada tipo de carga e com plena ocupação. Não basta a dragagem ser realizada periodicamente em apenas um deles (berços ou canais), pois o calado de ambos deve estar apto ao porte dos navios que acessam os terminais por meio dos canais de navegação e que atracam nos berços.

A necessidade de espaço para navios varia em grande parte dependendo do método de atracação e assim, para minimizar a ação das ondas dentro do porto, a entrada do porto deve ser a mais estreita possível, de modo que permita uma navegação segura e que não cause correnteza excessiva. Assim, a largura da entrada necessária naturalmente será influenciada pelo tamanho do porto e dos navios que o utilizam. Como regra, a largura da entrada deve ser aproximadamente igual ao comprimento do maior navio que utiliza tal porto.

Terminais que acomodam navio-tanque e outros navios de carga variam amplamente quanto ao berço e espaço requerido para atracação. Não existem padrões para berços e dimensionamento do porto, e os espaços vão depender também dos procedimentos de manipulação de cargas e equipamentos. O comprimento do berço deve ser igual ao comprimento do navio, mais um pequeno espaço entre os navios adjacentes e o espaço para as linhas dos navios. A forma e extensão da área do ancoradouro serão dependentes principalmente de cinco fatores: o número máximo de navios a serem atendidos, o tamanho dos navios, o método de atracação, necessidade de mobilidade, condições topográficas do local proposto.

Uma vez definidas as características físicas do terminal portuário, deve-se ter em mente que o mesmo deverá ser hábil para realizar no mínimo três funções principais conforme as orientações de Paquette et al. (1982):

- a) carregar/descarregar cargas de navios com eficiência e rapidez;
- b) prover adequado sistema, temporário e de longo prazo, de armazenagem para cargas que chegam e partem;
- c) prover conexões, seja ferroviária ou rodoviária, para movimento do frete dentro e fora da área do porto.

Enquanto a capacidade prática do porto pode ser limitada por alguma dessas funções, a primeira é geralmente o fator de controle. Portanto, a capacidade de operação será essencialmente o produto da taxa de manipulação de cargas (t/dia/berço ocupado) e o número e o grau de utilização dos berços.

Jansson e Shneerson (1982) afirmam que dependendo da distribuição estatística da taxa de chegada de navios (número de navios por período de tempo) e do tempo de serviço (atendimento) é possível determinar o número de berços requeridos usando a solução analítica da Teoria das Filas<sup>12</sup> (AGERSHOU, 2004).

Para Memos (2004), o parâmetro chave no *design* de um porto de cargas gerais é o número de berços. Este parâmetro depende principalmente da carga anual que circula pelo porto e do nível pré-determinado de serviço oferecido aos navios pelo terminal. E assim, a autora expressa o número de berços  $n$  em:

$$n = \frac{Q}{24.k_o.q.p.r.N} \quad (1)$$

onde  $Q$  é o fluxo anual estimado de cargas (em toneladas),  $k_o$  é o fator de ocupação do berço,  $q$  é a tonelagem média manipulada por uma equipe por hora,  $p$  é a fração de tempo durante o qual os berços estão operando (por exemplo: se o total de trabalho diário em horas é de 16 sobre 6 dias na semana, este fator pode ser  $16 \times 6 / 24 \times 7 = 0,572$ ),  $r$  é o número médio de equipes carregando e descarregando um navio de tamanho mediano (depende do tipo de carga e do tamanho do navio), e  $N$  é o número de dias de operação do berço em um ano (dias em que o berço está disponível para receber um navio e não quando está fechado para manutenção).

Tendo calculado o número de berços do terminal, o comprimento do berço é calculado com base no comprimento do navio projetado para ser recebido no terminal. O comprimento do berço é calculado como sendo 20% maior que o comprimento do navio. A largura do cais deve incluir, tipicamente, pelo menos a largura de 2 navios projetados.

Um problema encontrado na gestão de um porto é determinar as datas em que uma determinada “facilidade” (instalação, equipamentos, etc) deve ser expandida de modo a minimizar uma função de custo, dentro de um período de tempo pré-fixado.

Seja o terminal portuário especializado destinado ao manuseio de minérios, fertilizantes ou cargas frigorificadas, as “facilidades” são agrupadas em torno dos “berços de atracação<sup>13</sup>”, que constituem posições ao longo dos quais os navios são atracados para carregar e descarregar a mercadoria (NOVAES, 1978).

---

<sup>12</sup> Para maiores esclarecimentos sobre a Teoria das Filas ler NOVAES (1975).

<sup>13</sup> A CNT define berço como sendo o “o espaço destinado ao navio em um cais no qual ele pode operar em segurança”.

Cada berço dispõe de equipamentos específicos para o manuseio da carga para o qual é apropriado: transportadoras, etc., além dos equipamentos que são utilizados na atracação propriamente dita: cabos, defensas, etc.

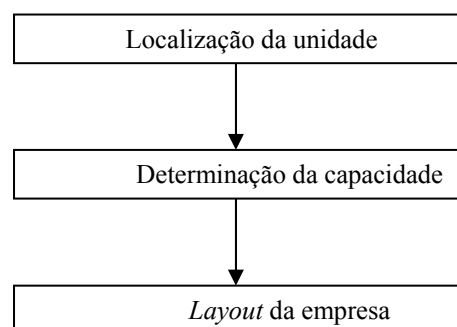
Assim, conhecida a demanda ao longo do tempo, o problema de otimização é definir as datas em que deverão estar em funcionamento novos berços em paralelo aos existentes, de modo a minimizar uma determinada função de custo. Na literatura de Pesquisa Operacional a maioria dos problemas deste tipo são resolvidos com Programação Dinâmica, porém Novaes (1978) aplica métodos diretos de otimização com claras vantagens computacionais.

Plumlee, Nicolaou, Fratar in Plaquette et al. (1982) afirmam que os gerentes na maioria dos portos buscam reduzir os custos através de uma eficiente utilização dos recursos incluindo recursos humanos, berços, área destinada aos contêineres, guindastes para movimentação dos contêineres e vários outros equipamentos. E, dentre todos estes recursos, os berços são os mais importantes recursos e um planejamento e agendamento dos berços melhora a satisfação dos consumidores e aumenta a movimentação nos portos, conduzindo a um melhor rendimento no porto.

Portanto, não se deve esquecer de que para se dimensionar os berços deve ser levada em consideração a movimentação de cargas em um dado período, a taxa de crescimento da demanda (se houver), capacidade dos equipamentos para carga e descarga de mercadorias bem como definição dos turnos de trabalho, além do tempo de permanência dos navios no píer.

### 3.3.5 Problema de *layout* do porto

A seqüência lógica a ser seguida para o *layout*<sup>14</sup> é mostrada no Fluxograma 1.



**Fluxograma 1 – Seqüência lógica para obtenção de *layout***  
**Fonte: Martins e Laugeni (2006, p. 136)**

---

<sup>14</sup> Termo inglês para designar o desenho da distribuição física dos equipamentos, estoques, escritórios, entre outros (Martins e Laugeni, 2006).

Inicialmente define-se a localização de uma unidade, em seguida deve-se determinar sua capacidade, na seqüência utilizá-la como dado inicial para a definição do *layout*.

Na elaboração do *layout*, algumas considerações práticas devem ser feitas. Inicialmente, por exemplo, planejar o todo e depois as partes e planejar o ideal e depois o prático. O primeiro item a ser determinado na elaboração do *layout* é a quantidade que será produzida, movimentada, operada, a qual será importante para o cálculo do número de máquinas, equipamentos, da área de estoque, entre outros. Com o número de equipamentos determinado, deve-se estabelecer o tipo de *layout*, considerando o processo e o tipo de equipamentos que serão utilizados.

Para as operações de carga e descarga acontecerem com eficiência, existe uma série de equipamentos que precisam estar disponíveis e, condições que precisam ser cumpridas, dependendo do *layout* utilizado. No caso do *layout* onde são utilizados caminhões e empilhadeiras, são necessários caminhões para transportar os contêineres entre as áreas de cais e armazenagem, equipamentos para carregar e descarregar os caminhões, espaços disponíveis nas áreas de armazenagem, pessoal para retirada de mercadoria dos navios, além de outros detalhes (FERNANDES, 2001).

Outro *layout* é aquele que utiliza *transtainers* para realizar o carregamento e descarregamento de caminhões. Portanto, pode-se notar uma grande quantidade de fatores que compõem o sistema portuário, de forma que dimensionar cada um dos sub-sistemas torna-se uma tarefa dispendiosa.

Apesar de haver pouca bibliografia existente no Brasil sobre o assunto, foram encontrados alguns exemplos de modelos desenvolvidos com o objetivo maior de otimização de pátios de contêineres em terminais portuários. Evidentemente, cada um destes modelos possuía características peculiares de desenvolvimento e aplicação. Na seqüência, apresentam-se alguns deles.

Conforme as afirmações de Thomaz et al.(1999) de que a otimização do arranjo espacial dos seus múltiplos setores de atividades minimizam deslocamentos internos, os autores citados acima elaboraram um modelo de otimização de *layout* de complexos portuários com estrutura bloco-angular baseado na análise de conglomerados e no algoritmo Dantzig-Wolfe o qual foi aplicado ao caso do Complexo Industrial Portuário do Pecém por Souza (2002).

Outro trabalho realizado no Brasil, que também buscava a otimização em pátios de contêineres foi concebido por Cruz e Pereira (1994) onde, através da utilização dos conceitos da inteligência artificial, elaborou-se um programa para determinação do local no pátio do

terminal para o qual um contêiner seria direcionado levando em consideração o navio a ser embarcado, características do contêiner, da carga e a possível data de chegada deste navio. Segundo os autores, o maior controle que se obteve com a aplicação do programa desenvolvido, permitiu uma redução no tempo de operação dos navios, vantagens comerciais resultantes do aumento da confiabilidade da operação executada e informações mais precisas a serem utilizadas pelo terminal, apesar da falta de equipamentos modernos e da mão-de-obra pouco qualificada.

Os clientes do terminal portuário têm como exigências: confiabilidade nos tempos de entrega (que não devem ter atrasos), segurança da carga e capacidade de monitoramento, através de tecnologias de informação, de todo o processo (localização do contêiner, tempo previsto de chegada, etc.). Assim, os contêineres devem estar localizados de uma maneira que minimize o tempo total de sua movimentação, respeitando as restrições quanto a equipamentos e espaço físico.

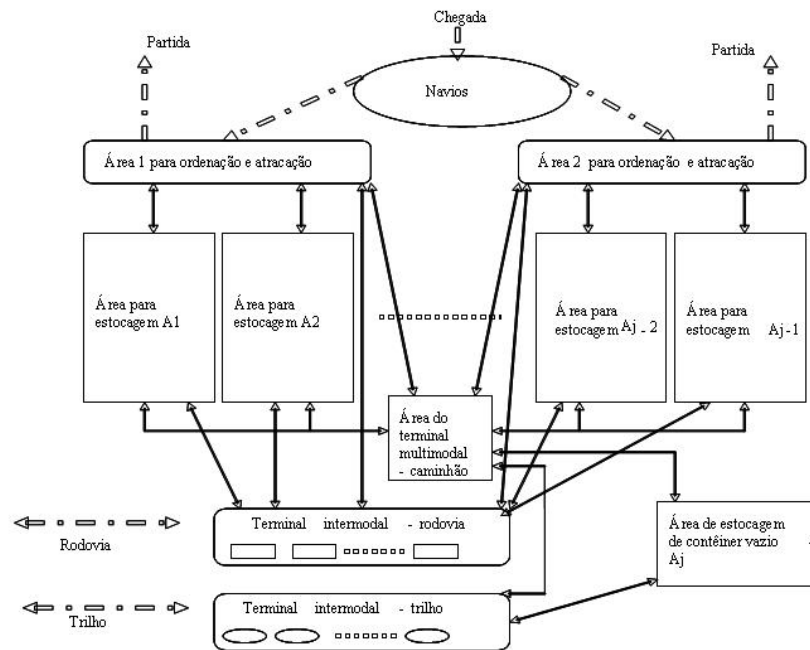
Buscando otimizar o tempo de carregamento dos navios, Kim e Young (1999) elaboraram um algoritmo de roteamento que minimiza a distância percorrida pelos *straddle carriers*<sup>15</sup> que levam os contêineres desde o pátio até o cais de embarque do navio. Com este algoritmo, os autores alcançaram uma redução no tempo de carregamento dos navios devido a maior eficiência na seqüência de operações.

Outro estudo que merece destaque é o realizado por Kozan e Preston (1999) que, utilizando técnicas de Algoritmos Genéticos, elaboraram um modelo que visa reduzir os tempos de manuseio e transferência de contêineres no pátio e ainda o tempo total do navio no porto devido à maior velocidade das operações. Os autores realizaram uma aplicação prática do modelo criado para o caso do Porto de *Fisherman Islands*, Austrália, alcançando resultados muito bons quanto à redução do tempo que os navios ficavam no porto e quanto ao número de manuseios sofridos pelos contêineres no pátio. O Fluxograma 2 apresenta o layout proposto pelos autores.

---

<sup>15</sup> Equipamento semelhante a um pórtico móvel; guindaste para transporte de contêineres.





**Fluxograma 2 – Layout de um terminal multimodal de contêiner**  
**Fonte: Kozan e Preston (1999)**

Souza (2002) propõe em seu estudo um modelo de localização otimizada de cargas unitizadas em pátios portuários, com ênfase para os contêineres *reefer*, tendo como variável de decisão o tempo total de deslocamento destas cargas dentro de um porto.

Todos os modelos citados, nacionais e internacionais, são referências importantes, os quais demonstram a importância de um estudo de *layout* portuário, para o ganho de competitividade na atividade.

### 3.4 Problema de alocação de berços – PAB

Dentre os vários problemas que ocorrem em um porto, o PAB merece ser tratado detalhadamente a fim de que possa ser interpretado e encontrada uma solução viável para sua resolução.

De acordo com Nishimura et al. (2001), em sua maioria, os berços nos grandes portos são arrendados, ou seja, alugados pelos operadores dos navios para o processamento de contêineres para alcançar maior produtividade. Enquanto isso é justificado no caso de uma rigorosa manipulação de um grande volume de contêineres com um grande número de navios aportando, isto pode não resultar em custos econômicos se estas quantidades não forem suficientes, pois parte do aumento dos custos é resultante da sobrecapitalização do porto para cargas de volumes, relativamente, pequenos.

Neste contexto, é interessante limitar o número de berços operantes. A alocação de berços neste sistema, isto é, a atribuição de berços aos navios que aportam para a manipulação de cargas, torna-se importante na minimização do tempo de realização desta tarefa; devido o tempo de manipulação para um navio específico não ser necessariamente o mesmo para cada berço.

#### 3.4.1 Definição do problema

Os navios que chegam ao porto irão atracar no berço mais conveniente, ou em um berço livre que possa recebê-los. Caso não haja berços livres adequados à operação do navio em questão, este navio irá para uma fila de navios aguardando atracação. Deste modo, o tempo que o navio fica aguardando um berço de atracação em fila é o parâmetro que se utiliza como principal nível de serviço na área portuária (FERNANDES, 2001).

Os armadores não desejam que seus navios fiquem retidos em filas, pois tais tempos diminuem o número de viagens que seus navios podem fazer, reduzindo sua rentabilidade. Os operadores de terminais ou agenciadores de cargas também não têm interesse em longas esperas em fila, já que os navios propiciam retorno financeiro se estiverem transportando cargas e não parados esperando sua vez de ser atendido.

Conforme Kim et al. (2003), os gerentes nos portos geralmente programam (agendam) o uso dos berços com o uso do método intuitivo da tentativa e erro com o amparo de um quadro de programação ou uma interface gráfica de usuário em um sistema computacional. Portanto, este trabalho pretende maximizar a utilização do cais atendendo as várias restrições existentes, para uma melhor atracação dos navios nos berços, utilizando uma abordagem analítica.

Conforme Guan et al. (2004), considera-se o problema de alocar espaço nos berços para navios em terminais portuários, como sendo o problema de alocação de berços. Na definição de Moon (2000) o problema consiste em determinar o momento da atracação e as posições de cada navio no terminal portuário. O planejamento da atracação dos navios atribui embarcações da superfície a um berço antes de sua entrada no porto ou, reatribui navios que já estão no porto.

Uma vez que o plano de atracação está aprovado, mudanças são inevitáveis. De acordo com Brown et al. (1997), requisição de mudanças para serviços, atrasos e chegadas antecipadas dos navios são eventos rotineiros e eles requerem revisões freqüentes no plano aprovado. Por ser alta a freqüência de revisões torna-se necessário um planejamento da

alocação de berços computadorizado a fim de se evitar enganos e conseqüentemente, atrasos e custos provenientes destes (BROWN et al., 1994).

Devido o espaço dos berços ser muito limitado e milhares de contêineres serem manipulados diariamente, uma efetiva alocação de berços torna-se crítica para o eficiente gerenciamento do tráfego de contêineres. Um típico berço de um terminal portuário pode acomodar múltiplos navios ao mesmo tempo (Guan et al., 2004). Quando não existe espaço disponível no berço, o navio precisa aguardar para atracar e, este tempo deve ser o menor possível, pois o navio parado desnecessariamente gera atrasos nos prazos de entrega, além de custos extras (Pesquisa Aquaviária CNT, 2006).

Por simplicidade, Guan et al. (2004) denominam a soma do tempo de espera e o tempo de processamento (atendimento) de um navio como seu *tempo de fluxo*, o que também é encontrado na literatura como janela de atracação. Por janela de atracação entende-se o espaço de tempo disponível no terminal marítimo para que os navios façam atracação, carga e descarga e desatracação. A disponibilidade de janelas de atracação em um porto, assim como o tempo de carga e descarga determina o tempo que o navio vai ficar operando no porto.

Conforme Moon (2000), cada navio requer uma quantidade específica de espaço no berço durante certo período de tempo determinado para descarregar e carregar contêineres. Neste processo, diversas variáveis devem ser consideradas, as quais incluem a duração e o momento de chegada de cada navio, o número de contêineres para descarregar e carregar, e a localização da estocagem de contêineres a serem carregados nos respectivos navios para deixarem o porto.

Brown et al. (1994) complementam as variáveis existentes sugerindo as limitações de comprimento do berço, profundidade no berço e força dos cabos utilizados. Nishimura et al. (2001) faz um alerta para que o navio ao qual está se planejando a atracação não exceda a profundidade da água do berço ao qual foi atribuído.

Uma vez determinadas as restrições as quais se deseja considerar, deve-se levar em conta que quando a taxa de chegadas<sup>16</sup> de navios é alta ou quando ocorrem chegadas inesperadas, isso pode tornar impossível o término dos serviços para todos os navios no tempo previamente planejado. Assim, a partida de alguns navios pode ser atrasada. Neste caso, há operadores de terminais portuários que geralmente possuem diferentes prioridades para diferentes tipos de navios, onde pode haver penalizações de custo para os mesmos (KIM et al., 2003).

---

<sup>16</sup> A taxa de distribuição de chegadas pode ser obtida em NOVAES (1975).

Contudo, a posição de atracação é também uma variável de decisão muito importante pelas seguintes razões. Os contêineres a serem carregados em navios geralmente chegam ao porto alguns dias antes da chegada dos navios no porto. Assim, se um navio é atracado em uma localização próxima ao local de armazenagem dos contêineres a serem carregados no navio, o custo de entrega dos contêineres pelos caminhões ou outro equipamento de transporte interno no porto, pode ser minimizado tendo em vista que a distância percorrida será inferior à distância caso o local de armazenagem dos contêineres se posicionasse distante do berço de atracação.

De acordo com Kim et al. (2003), a localização da atracação de menor custo do navio é a posição no cais em que o centro do navio coincida com a coordenada média dos contêineres de longo curso que já se encontram no pátio e serão carregados para dentro do navio. Assim, algumas localizações de atracação podem ser preferidas em detrimento a outras localizações devido a fatores tais como: contratos de longo período que especificam o uso dos berços com transportadores, o mínimo espaço requerido para um navio e diferentes níveis de ondas de acordo com as localizações no cais.

### 3.4.2 Formulação matemática do PAB

No levantamento bibliográfico realizado foram encontradas diversas maneiras para a formulação matemática do Problema de Alocação de Berços, cada qual considerando suas variáveis de decisão.

Dentre as formulações, destaca-se a de Imai et al. (2001), a qual foi desenvolvida primeiramente para o modelo estático, ou seja, quando se considera que todos os navios já chegaram ao porto, para posteriormente efetuar a alocação de cada um deles em um dos berços disponíveis, sempre respeitando as restrições; sejam elas: temporais, de comprimento do berço-navio, de profundidade berço-navio, dentre outras.

Posteriormente os autores resolveram o mesmo problema utilizando o modelo dinâmico, no qual se considera que é sabido antecipadamente o momento de chegada de cada navio e que, os mesmos não chegam ao porto antes dos berços aos quais serão atribuídos, estarem disponíveis.

Na formulação do PAB estático definem-se, então, as variáveis binárias  $x_{ijk}$  para especificar se o navio  $j$  é para ser atendido como o  $k$ -ésimo navio no berço  $i$ . Como a variável  $x_{ijk}$  é restrita aos valores 0-1, o PAB estático pode ser formulado como um problema de atribuição inteiro tridimensional como segue:

$$\text{Minimize } \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T - k + 1) \cdot C_{ijk} + S_i - A_j\} \cdot x_{ijk} \quad (2)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in O, \quad (4)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O, \quad (5)$$

Onde:

$i (= 1, \dots, I) \in B$	conjunto de berços,
$j (= 1, \dots, T) \in V$	conjunto de navios,
$k (= 1, \dots, T) \in O$	conjunto de ordens de serviço,
$S_i$	momento quando o berço $i$ se torna disponível para o planejamento da alocação de berços,
$A_j$	momento de chegada do navio $j$ ,
$C_{ij}$	tempo de manipulação gasto pelo navio $j$ no berço $i$ ,
$x_{ijk}$	1 se o navio $j$ é atendido como o $k$ -ésimo navio no berço $i$ 0 em caso contrário.

Os conjuntos de navios e de ordens de serviço têm o mesmo número de elementos  $T$  devido a solução factível possuir todos os navios atendidos em um berço particular.

A função objetivo (2) minimiza a soma dos tempos de espera e de manipulação de cada navio. O conjunto de restrições (3) garante que cada navio deve ser atendido em algum berço em uma ordem de serviço (ordem de atendimento). O conjunto de restrições (4) garante que cada berço atenda no máximo um navio por vez. E, considerando que o sistema é estático,  $S_i \geq A_j$ , ou seja, os navios sempre chegarão antes do momento de liberação do berço.

Na função objetivo, o tempo de manipulação  $C_{ij}$  é ponderado por  $(T - k + 1)$ . Isto resulta da observação de que o tempo de manipulação  $C_{ij}$  de um navio específico atendido no berço  $i$  contribui para o tempo de espera dos navios a serem atendidos no mesmo berço depois dele. Em outras palavras, o tempo de espera de um dado navio é representado pelo tempo de manipulação acumulado de seus predecessores. De acordo com a formulação, é possível que a alocação de um navio não seja necessariamente programada em ordem consecutiva.

No caso do PAB dinâmico considera-se que todos os navios, enquanto seus momentos de chegada são conhecidos antecipadamente, não chegam ao porto antes do  $S_i$  do berço alocado.

Deste modo, o problema pode ser formulado como segue:

$$\text{Minimize } \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T - k + 1) \cdot C_{ijk} + S_i - A_j\} \cdot x_{ijk} + \sum_{i \in B} \sum_{j \in W_i} \sum_{k \in O} (T - k + 1) \cdot y_{ijk} \quad (6)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in B, k \in O, \quad (8)$$

$$\sum_{l \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{ilm} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i) \cdot x_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in W_i, k \in O, \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O, \quad (10)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O \quad (11)$$

Onde:

$P_k$  subconjunto de  $O$  tal que  $P_k = \{p / p < k \in O\}$ ,

$W_i$  subconjunto de navios com  $A_j \geq S_i$ ,

$y_{ijk}$  intervalo de tempo disponível do berço  $i$  entre a partida do  $k$ -lésimo navio e a chegada do  $k$ -ésimo navio quando o navio  $j$  está sendo atendido como o  $k$ -ésimo navio.

A função objetivo (6) minimiza o tempo total de espera e de manipulação para cada navio. As restrições (9) garantem que os navios devem ser atendidos depois de sua chegada.

Considera-se que  $C_{ij}$ ,  $S_i$  e  $A_j$  têm valores inteiros, e as variáveis  $y_{ijk}$  podem possuir valores inteiros para indicar a relação de precedência entre uma chegada de um navio no porto e o atendimento deste. Assim,  $y_{ijk}$  é simplesmente definido como a diferença de tempo entre o início do atendimento do navio  $j$  e a partida de seu predecessor imediato.

Posteriormente foi proposta uma heurística para o problema, devido o mesmo não poder ser resolvido em tempo polinomial, empregando o método da otimização do sub-gradiente, baseado na relaxação Lagrangeana do problema original - PAB dinâmico.

### 3.4.3 Técnicas propostas para resolução do PAB

A maioria dos estudos dos portos foca a atenção nos problemas estratégicos e táticos. Como a maioria dos berços é operada por companhias de navegação particulares, poucos estudos têm sido conduzidos na alocação de berços (Imai et al., 2001). De acordo com Dai et al. (2004) o que existe é um grande volume de estudos de aplicações da pesquisa operacional sobre operações de contêineres.

Brown et al. (1994, 1997) tratam o problema de alocação de berços em portos navais. Os autores identificam o conjunto ótimo de atribuições navio-a-berço que maximiza a soma dos benefícios por navios enquanto no porto. O planejamento de berços em portos navais tem diferenças importantes de um planejamento de berços em portos comerciais. Segundo Imai et al. (2001), nos portos navais a troca de berços ocorre para serviços próprios, ou seja, um novo navio que chega deve ser atribuído a um berço onde outro navio já esteja atracado. Este tratamento é improvável em portos comerciais. Deste modo, trocas de berços bem como outros fatores menos relevantes para portos comerciais são considerados em Brown et al., tornando o problema deles impróprio para portos comerciais.

Nos estudos de Lim (1998), onde foram utilizados dados históricos do Porto de Cingapura, o problema foi transformado numa versão restrita do problema bidimensional de empacotamento e foi apresentado um grafo que demonstrou o problema sucintamente.

Tong, Lau e Lim (1999) em Dai et al. (2004) resolvem o problema de alocação de berços usando a abordagem de otimização por colônia de formigas, mas o foco do trabalho é minimizar o comprimento do cais requisitado.

Moon (2000) em uma tese não publicada utilizou a programação linear inteira para a resolução do problema com o auxílio do *software* LINDO<sup>®</sup>. O tempo computacional do LINDO<sup>®</sup> aumentava rapidamente quando o número de navios se tornava maior que 7 e o horizonte de planejamento excedia 72 horas. Assim, conclui-se que era inviável a aplicação do modelo à resolução de grandes problemas e, um algoritmo heurístico para o problema de alocação de berços foi sugerido e comparado com o desempenho da técnica de otimização, de onde se pôde tirar a conclusão de que ambos os métodos tiveram soluções similares.

Nishimura et al. (2001) propõem um modelo para o PAB dinâmico considerando o atendimento de múltiplos navios, ao mesmo tempo, em um mesmo berço. Aplicam para tal, algoritmos genéticos onde se empregam dois diferentes tipos de representações para os cromossomos. Este trabalho foi comparado com o trabalho realizado por Imai et al. (2001) e foi tirada a seguinte conclusão: os resultados foram melhores com a aplicação do método da

relaxação Lagrangeana (no trabalho de Imai et al (2001)), embora as diferenças não sejam significativas. Anteriormente ao trabalho de Nishimura et al. (2001), Chan et al. in Nishimura et al. (2001), haviam desenvolvido uma heurística baseada em algoritmo genético para o problema de alocação de berços com múltiplas restrições de atracação de navios relaxadas.

A pesquisa de Park e Kim (2002) formulou o problema com a programação inteira mista, o qual foi resolvido com um pacote comercial (LINDO<sup>®</sup>). Na seqüência, a formulação foi convertida em outra programação linear inteira onde se resolveu o problema pelo modelo da relaxação Lagrangeana com a técnica de otimização do sub-gradiente. As soluções obtidas em ambos os casos foram semelhantes, embora o tempo computacional consumido pelo método do sub-gradiente tenha sido inferior.

Imai et al. (2003) propõem uma solução para o problema com o objetivo de minimizar o tempo total de serviço, diferenciando as prioridades aos navios pela variação dos seus tempos de serviços (incluindo o tempo de espera para um berço disponível) na solução. Neste estudo a prioridade é avaliada pelo tempo de serviço resultante para cada navio. Assim, o propósito do estudo é modificar a formulação existente para o PAB em Imai et al. (2001) na ordem de tratar os navios que estão chegando ao porto com várias prioridades de atendimento. Primeiramente examinam a resolução do problema com o método do sub-gradiente usando as técnicas da relaxação Lagrangeana e, posteriormente, propõem uma heurística baseada em algoritmos genéticos.

Kim e Moon (2003) tentaram evoluir na resolução do problema de alocação de berços a partir do estudo de Moon (2000) que tinha como objetivo determinar o momento de atracação e as posições de cada navio no terminal portuário. Para isso, testaram o mesmo modelo de programação linear inteira mista de Moon (2000) comparando-o com um algoritmo de *simulated annealing*<sup>17</sup>, encontrando soluções aproximadas, porém o tempo computacional obtido com este método esteve dentro dos limites esperados.

Park e Kim (2003) apresentam um modelo de programação inteira sugerindo um procedimento de solução com duas fases. A primeira fase determina a posição de atracação e o momento para cada navio bem como o número de guindastes atribuídos a cada navio em cada segmento de tempo. A técnica de otimização do sub-gradiente é aplicada para obter uma solução próxima da ótima na primeira fase. Na segunda fase, uma programação (agendamento) detalhada para cada guindaste do cais é construída baseada na solução encontrada na primeira fase. A técnica de programação dinâmica é aplicada para resolver o

---

<sup>17</sup> Uma meta-heurística para otimização que consiste numa técnica de busca local probabilística, e se fundamenta numa analogia com a termodinâmica.



problema desta segunda fase. Os tempos de computação encontrados para a resolução dos problemas foram satisfatórios.

Dai et al. (2004) resolvem o PAB como um problema de empacotamento retangular, usando um algoritmo de busca local.

Na pesquisa de Guan e Cheung (2004) duas formulações matemáticas são consideradas. Uma delas baseia-se no procedimento de busca em árvore e a outra é usada para desenvolver um limite inferior que possa acelerar o procedimento da busca em árvore. Na seqüência implementaram uma heurística. Os resultados obtidos com o método de solução exata não foram muito satisfatórios para os problemas de grande porte, porém a performance da heurística foi boa, quando a amostra do pior caso apresentou erro em torno de 25%.

Segundo os autores Mulato e Oliveira (2006), a maioria das empresas no Brasil trabalham sem uma sistemática de agendamento com hora e docas marcadas, de modo que o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido (*First In-First Served*). Em um estudo de caso, os autores apresentam algumas empresas nacionais que passaram a utilizar o *software* MONILOC<sup>®</sup>, de origem nacional, para efetuarem o agendamento antecipado de docas para carga e descarga. O pacote busca otimizar variáveis pouco exploradas na gestão tradicional de logística e transportes, tais como o agendamento de docas e seu monitoramento, balanceamento do fluxo dos veículos e a minimização dos chamados “tempos mortos” (esperas, filas, carga e descarga).

### **3.5 Considerações finais**

Considerando a existência de uma bibliografia enxuta para o PAB, ainda é possível citar outros estudos de relevância de Imai et al.(1994) e Imai et al. (2005).

Apesar de existirem diversas maneiras de se resolver o problema de alocação de berços, a literatura mais próxima da linha de estudo deste trabalho é a série de artigos de Imai et al. (2001) e Nishimura et al. (2001), onde os autores, de uma maneira concisa, abordam o problema sugerindo uma técnica de resolução eficiente e de fácil implementação.

## 4 PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DO PAB

### 4.1 Visão geral do método proposto

No intuito de encontrar soluções que conduzam a um melhor aproveitamento dos recursos, menores custos e alto desempenho, surge o conceito de otimização, o qual envolve um mecanismo de análise de decisões complexas, envolvendo seleções de valores para variáveis, com o simples objetivo de quantificar a performance (desempenho/rendimento) e medir a qualidade das decisões. A intenção é encontrar a melhor solução, respeitando as restrições impostas no problema.

Raramente se consegue representar um problema real devido à dificuldade em se descobrir todas as interações entre variáveis e restrições. Dessa forma, a formulação para um problema real de otimização geralmente não passa de uma boa aproximação, que exige conhecimento teórico e conhecimento em modelagem para capturar dados essenciais ao problema. Também se faz necessário um bom julgamento na interpretação dos resultados. E assim, satisfeitos estes quesitos, a otimização pode ser utilizada como uma ferramenta fundamental para análise de problemas reais.

Semelhante à série de estudos de Imai, Nishimura e Papadimitriou (2001, 2003), o intuito desta pesquisa é propor uma ferramenta alternativa para a resolução do problema de alocação de berços, considerando o sistema como sendo dinâmico, ou seja, enquanto alguns navios estão sendo atracados e suas cargas estão sendo manipuladas, outros navios estão chegando ao porto para serem atendidos o mais breve possível.

Como o número de berços, bem como, de equipamentos disponíveis no porto é limitado, é necessário agilidade no atendimento dos navios para que possam ser liberados o mais breve possível permitindo, desta forma, que novos navios sejam atendidos. Para isso necessita-se de um bom planejamento de alocação de berços, o qual seja flexível para encaixar-se às necessidades diárias de alterações no plano de atracação.

Esse conceito também é válido nas pesquisas de Imai et al. (2001, 2003), porém algumas restrições que são consideradas importantes na tomada de decisão quanto à melhor alocação dos berços, não estão implementadas nos métodos que foram utilizados na literatura encontrada.

Como exemplo, não é considerado o custo de estadia de um navio no porto (o custo da diária) o que leva-nos a crer que todos os navios devem possuir o mesmo porte, não importando a ordem de atendimento dos navios.

Outra diferença entre o modelo proposto e o modelo de Nishimura et al. (2001) é que neste trabalha-se com a divisão do problema em  $n$  subproblemas (SUBs) de alocação de berços em termos de fator temporal, conforme a Figura 2.

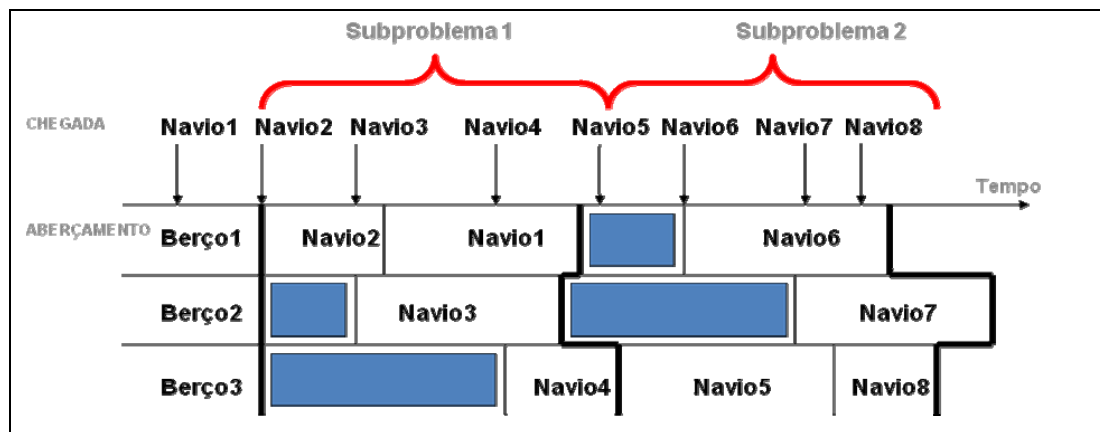


Figura 2 – Programação de atracação (NISHIMURA et al., 2001)

Após a liberação de todos os berços, o primeiro subproblema é resolvido pelo algoritmo genético. Herdando a solução do primeiro SUB (isto é, quando todos os berços estiverem livres novamente), o próximo SUB é resolvido. O processo se repete até que todos os SUBs tenham sido resolvidos, entretanto a solução final pode ser afetada pelas soluções intermediárias. No PAB isto não ocorre, uma vez que é considerado um único problema, contendo todos os navios para atracação.

Outra diferença do trabalho de Nishimura et al. (2001) é a forma de se caracterizar um cromossomo. Neste trabalho analisa-se um a um dos genes, escolhendo a melhor atracação individual, para posteriormente selecionar outro navio e escolher novamente qual a melhor posição de atracação. Assim, vai se formando uma seqüência de atracação, ou seja, um cromossomo. Na pesquisa dos autores citados, cria-se aleatoriamente uma seqüência de atracação de navios e, posteriormente analisa-se o *fitness* desta alocação.

Na prática sabe-se que um porto recebe embarcações de diversos portes, portanto, cobrando-se diferentes taxas de estadia. Em um levantamento realizado junto ao Porto de Itajaí (SC) obteve-se a informação de que a diária de um navio no porto situa-se próximo a US\$ 15.000,00. Desta maneira, provavelmente, será mais viável atender um navio de grande porte primeiramente, deixando os navios de pequeno porte em segundo plano, a fim de se evitar alto custo de permanência no porto.

Portanto, nesta pesquisa serão considerados alguns parâmetros julgados como sendo de grande relevância para a resolução do PAB, propondo-se um método de resolução de fácil implementação e que pode proporcionar bons resultados.

## **4.2 Parâmetros para resolução do PAB**

A fim de retratar o funcionamento portuário quanto ao plano de atracação é preciso determinar alguns parâmetros pertinentes ao problema para que o mesmo se aproxime ao máximo do problema real encontrado nos portos.

Como a operação é complexa, envolve custos de atracação e de movimentação de cargas e tarifas por utilização da infra-estrutura portuária. Também possui períodos de atracação próprios, ou seja, considera determinada quantidade de horas como sendo ‘um’ período de atracação e efetua cobrança de tarifas proporcional aos períodos utilizados por uma dada embarcação.

Na elaboração do plano de atracação também é necessário considerar algumas restrições como comprimento do berço e do navio, calado do navio, profundidade do berço, disponibilidade de equipamentos apropriados para cada tipo de embarcação em cada berço, período de manutenção de equipamentos, incluindo-se também a manutenção dos berços, produtividade de operação dos berços, volume de carga a ser movimentada por cada uma das embarcações, de modo a realizar a otimização do sistema, permitindo um bom planejamento de atracação e conseqüentemente a melhor solução para o PAB.

Os subitens a seguir, 4.2.1 a 4.2.3 propõem-se a descrever mais detalhadamente cada parâmetro considerado na operação portuária para a resolução do PAB.

### **4.2.1 Custos (navios e porto)**

O sistema portuário, por suas responsabilidades e atividades, envolve diversos custos em sua operação. Primeiramente, custos da construção do terminal, em seguida, custos com aquisição de veículos para o transporte de cargas, custos com aquisição de equipamentos, despesas com mão de obra, custos com combustíveis, energia elétrica, água. Enfim, há uma diversidade de custos a serem contabilizados durante a operação.

Porém, como o foco desta pesquisa é no problema de alocação de berços, apenas serão considerados os custos portuários operacionais, não se atendo aos custos de investimento, amortizações e custo de oportunidade.

Em pesquisas realizadas em alguns dos principais portos nacionais, detectaram-se algumas tarifas praticadas em comum. Segundo um relatório da revista do BNDES do ano de 2006, atualmente o estabelecimento dos valores tarifários é resultante de um acordo entre o governo federal, a administração do porto e o Conselho de Autoridade Portuária – CAP.

As despesas com movimentação de mercadorias incluem os custos de manuseio e, as tarifas portuárias, constando basicamente de despesas relativas aos serviços de carregamento e descarga, que correspondem aos custos relativos à remuneração dos trabalhadores portuários. As tarifas, constantes das despesas de movimentação, equivalem aos pagamentos realizados às administrações dos portos pelos operadores portuários, armadores ou donos de mercadorias, decorrentes do uso de instalações públicas e equipamentos. As despesas com entrada e saída dos navios compreendem os pagamentos feitos pelo armador do navio ou seu agente para fazer face, por exemplo, aos serviços de praticagem<sup>18</sup>, lanchas, rebocadores e taxas de atracação ou acostagem.

A mão-de-obra continua sendo responsável por grande parte dos custos portuários. O item manuseio, que corresponde ao uso da mão-de-obra, ainda representa mais de 70% das despesas dos serviços portuários nos principais terminais de contêineres de Santos e do Rio de Janeiro.

Para o desenvolvimento desta dissertação consideraram-se as tarifas de atracação e de movimentação de cargas, as quais foram julgadas como sendo de maior impacto na formação do custo operacional portuário.

A tarifa de atracação é cobrada por metro linear de cais ocupado por embarcação atracada e por período ou fração de horas. Alguns portos adotam a nomenclatura ‘período’ para designar uma certa quantidade de horas corridas desde o momento de atracação do navio em um dado berço, até sua liberação do mesmo. Por exemplo: o porto de Santos utiliza como sendo ‘um’ período, seis horas corridas. Assim, se um navio permanecer atracado em um certo berço por sete horas, estará pagando a tarifa de atracação referente a dois períodos, pois ultrapassou o limite de seis horas de um único período.

Esta tarifa é diferente, em alguns casos, de berço para berço. Assim, para o armador, convém atracar o navio em um berço cujo custo operacional seja inferior aos demais.

A tarifa de movimentação de cargas é cobrada em função do movimento realizado pela embarcação. Esta tarifa pode ser cobrada tanto por toneladas movimentadas, como por

---

<sup>18</sup> O serviço de praticagem é definido como o "conjunto de atividades profissionais de assessoria ao Comandante, requeridos por força de peculiaridades locais, que dificultem a livre e segura movimentação da embarcação, e é constituído do Prático, da lancha de prático e da Atalaia (Estação de Praticagem)". Fonte: site Rio Pilots.

contêineres, porém deve-se definir o critério de cobrança no ato da negociação entre o armador e o porto.

Estas duas tarifas são consideradas as principais tarifas cobradas pela utilização da infra-estrutura portuária, havendo ainda as tarifas cobradas pela utilização da infra-estrutura terrestre e por serviços gerais.

A tarifa cobrada pela utilização da infra-estrutura terrestre envolve custos pela movimentação de carga a granel, carga líquida, sólidos, também pelo metro quadrado ou fração de área arrendada por mês, por área coberta ou descoberta para execução dos serviços eventuais que não envolvam movimentação de mercadorias. Também há um custo por tonelada movimentada de peças sobressalentes, material de bordo, mantimentos, água, combustíveis, lubrificantes, ou qualquer outro tipo de bem ou de carga em volume ou a granel, destinados à aplicação na própria embarcação ou consumo de bordo próprio, de sua tripulação ou passageiros.

Com relação aos navios, como não é foco desta pesquisa, não será considerado o custo de aquisição dos mesmos, porém será abordado apenas o custo do navio parado (o qual envolve depreciação, juros, pessoal e custo de oportunidade), pois no momento em que está parado, atracado, está deixando de trafegar e conseqüentemente de aumentar sua receita. Assim, o que se espera, é que os navios permaneçam o mínimo de tempo possível atracados e para que isso aconteça o porto deve possuir um sistema operacional eficaz a fim de concretizar a movimentação de cargas e liberação do navio no menor prazo.

#### 4.2.2 Restrições

Uma vez que se procura otimizar o sistema operacional portuário, com menor tempo de operação de embarque e desembarque, redução da utilização de mão de obra, redução do número de berços utilizados através do ganho em produtividade dos equipamentos, é certo que os custos operacionais serão reduzidos. No entanto, é necessário avaliar previamente algumas restrições que podem afetar diretamente a execução da operação no porto.

Dentre as diversas restrições influentes no processo decisório de atracação de certo navio, destacam-se:

- a) restrição temporal;
- b) restrição de calado;
- c) restrição de comprimento;
- d) restrição de equipamentos;
- e) restrição de agendamento de navios.

Com relação à restrição temporal é preciso considerar o momento de chegada de um navio no porto, bem como o momento de liberação dos berços. Por liberação de berço, entende-se o momento em que um navio deixa um berço, liberando-o para receber outro navio. Na prática, os portos consideram um intervalo de tempo entre o momento de liberação do berço e uma nova atracação no mesmo. Este intervalo é utilizado para se preparar o berço para a atracação seguinte, seja retirando ou reposicionando equipamentos, realocando mão de obra, etc. O porto de Itajaí considera este intervalo como sendo de duas horas.

A restrição de calado é responsável em avaliar se a profundidade do berço é superior ao calado do navio para que permita uma navegação sem problemas. Normalmente o valor do calado do navio representa 70% do valor da profundidade do berço, isto para maior segurança na atracação.

A restrição de comprimento deve verificar se o comprimento do berço é superior ao comprimento do navio para que permita o navio atracar no mesmo. Alguns portos também levam em conta esta restrição para analisar a possibilidade de atracar mais de um navio em um mesmo berço e com isso ganhar na produtividade.

Quanto aos equipamentos, é preciso avaliar se os prováveis berços (os quais já atenderam as restrições anteriores) a receberem um dado navio possuem equipamentos apropriados para a operação de carga e descarga de mercadorias. Supondo que certo berço atendeu as restrições de comprimento e profundidade e, também está desocupado, já considerado o período de intervalo necessário entre a liberação de um navio e a atracação de outro; ainda assim, é necessário verificar se neste berço constam equipamentos aptos a atenderem as necessidades do navio candidato à atracação, pois dependendo da espécie de mercadoria, diferentes equipamentos serão exigidos. Para este estudo foi considerado que todos os berços possuem equipamentos disponíveis para qualquer tipo de navio a ser operado.

A restrição de agendamento, nesta pesquisa, tem o intuito de garantir que o escalonamento dos navios ocorra de duas formas possíveis: por menor data de liberação dos navios ou por menor custo de alocação. Em alguns casos, e dependendo do tipo de mercadoria a ser manipulada, é conveniente efetuar a operação de carga/descarga no menor período de tempo possível; principalmente em casos de produtos perecíveis, onde o fator tempo tem papel fundamental no prazo de validade dos mesmos, mesmo que para isso a alocação tenha um custo superior.

Já em outros casos, geralmente para produtos não perecíveis, como minérios, ferro, alumínio, é mais conveniente garantir que a alocação tenha o menor custo possível para não encarecer a mercadoria. Assim, provavelmente, o navio irá permanecer em espera para

atracação por um período de tempo maior, porém com um custo de alocação provavelmente inferior ao custo que teria caso optasse por alocar pela menor data de liberação. Cabe citar que para este estudo, foi considerado ainda um terceiro método de agendamento semelhante ao segundo método, diferenciando-se no fato de que esse efetua uma multiplicação adicional pelo tempo que o navio permanece no porto.

#### 4.2.3 Variáveis de decisão (quando e onde alocar cada navio)

A administração do porto, tendo em seu poder uma lista de navios a atracar em um dado período de tempo, uma semana, uma quinzena ou um mês, deve realizar o plano de atracação, ou seja, criar um *scheduling*/agendamento dos navios de modo a garantir que todos os navios sejam atendidos no menor período de tempo ou menor custo possível. Para isso é necessário averiguar se todas as restrições são satisfeitas para o escalonamento se iniciar.

O plano de atracação deve ser capaz de alocar os berços aos navios da melhor maneira possível, ou seja, determinar em ‘qual’ berço deverá atracar cada navio, bem como ‘o momento’ de atracação, analisando se houve tempo de espera por parte de cada navio, contabilizando custos, de modo a otimizar a operação do sistema portuário.

Como a atividade portuária envolve a chegada e saída diária de diversos navios (porto de Roterdã, recebe em média 60 navios), bem como a utilização de vários berços (Roterdã atua com cinco áreas para atracação mais duas áreas para atracação de emergência), o *scheduling*/agendamento dos navios muitas vezes pode ser moroso, necessitando utilizar-se da Tecnologia de Informação (TI).

### 4.3 Algoritmo heurístico de alocação

Conforme escrito no item 1 deste capítulo, esta pesquisa busca propor um método de fácil implementação e que pode proporcionar bons resultados para a resolução do PAB. Portanto, um algoritmo heurístico é sugerido para a alocação dos navios aos berços.

Inicialmente se propõe um algoritmo simplificado que seja capaz de analisar uma lista de navios (cada qual contendo informações de momento de chegada, calado, carga, comprimento e tarifas diferenciadas), e uma lista de berços (momento de liberação, intervalo, profundidade, comprimento, produtividade, tarifas) para em seguida, verificar se as restrições impostas pelos mesmos são satisfeitas e, posteriormente, alocar cada navio em um dado berço.



A lista de navios a serem atracados, não necessariamente é informada conforme o horário de chegada e assim, o algoritmo tem como critério para alocação verificar o último momento de liberação de um dado berço, somar o período de intervalo a ser considerado (de duas horas, no caso do porto de Itajaí), para em seguida alocar um navio neste dado berço.

Supondo uma lista com dois navios a serem atracados, conforme a Tabela 8:

Identificação do Navio	Comprimento	Calado	Carga	Momento de Chegada	Custo de ficar Parado
n1	220	14	150	18/8/2007 17:00	2.000,00
n2	210	14	125	18/8/2007 12:30	1.700,00

Tabela 8 – Exemplo de lista de navios a serem atracados

Fonte: do autor

E uma lista de dois berços existentes, conforme a Tabela 9:

Identificação do Berço	Comprimento	Profundidade	Produtividade (contêiner/hora)	Momento de Liberação	Tarifa de Atracação	Tarifa de Movimentação (por contêiner)
b1	260	16	50		2,50	45
b2	250	13	45		2,30	45

Tabela 9 – Exemplo de lista de berços a serem ocupados

Fonte: do autor

Ao se efetuar o agendamento dos navios, percebe-se que o berço b2 não atende a restrição de calado, pois ambos os navios necessitam de 14 metros para atracação e o berço b2 possui apenas 13 metros de profundidade. Deste modo, ambos terão de ser atendidos pelo berço b1, o qual atende as restrições de comprimento e profundidade.

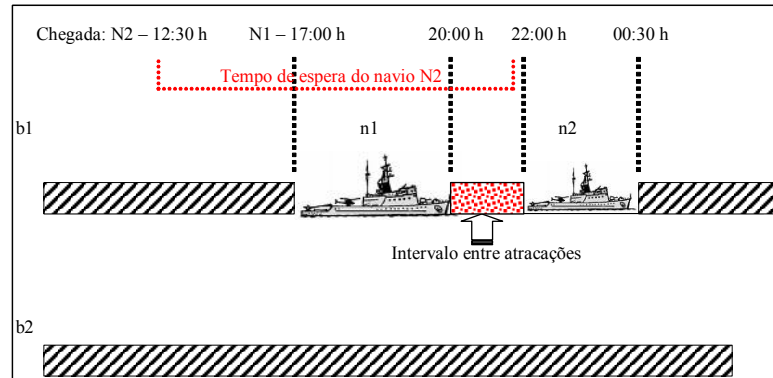
Como a lista de navios inicia-se pelo navio n1 cujo momento de chegada é às 17:00 h, este deverá ser o primeiro navio a ser alocado. É válido citar que este é o critério considerado nesta pesquisa, podendo ser alterado de autor para autor, ou seja, poderia inicialmente ser ordenada a lista de navios conforme o momento de chegada, para posteriormente realizar-se o escalonamento.

Neste exemplo também é considerado o momento de liberação de ambos os berços como sendo livre para efetuar o escalonamento a qualquer momento, ou seja, um navio pode ser atracado em qualquer um dos berços a partir do momento de sua chegada (isso se as restrições forem satisfeitas).

Parte-se então, do navio n1 que tem seu momento de chegada às 17:00 h. Como já foi citado, será atendido pelo berço b1, no exato momento de sua chegada. Como possui 150 toneladas de mercadoria a ser descarregada e o berço b1 possui uma produtividade de 50 contêineres/hora, este navio n1 levará 3 horas para ser atendido, portanto, encerrando suas

atividades no porto às 20:00 h. A partir deste momento é acrescido o período de intervalo de duas horas (neste exemplo) para que o berço receba o tratamento necessário a estar apto a receber o próximo navio, por volta das 22:00 h.

Neste horário, o navio n2 atraca no b1 para ser atendido e, possuindo 125 toneladas para serem manipuladas, encerrará seu atendimento às 00:30 h, liberando o berço neste momento. Assim, pode-se concluir que o navio n1 não teve tempo de espera e o navio n2 teve um tempo de espera de 9:30 h, conforme a Figura 3.



**Figura 3 – Atendimento de navios pela seqüência N1 – N2**  
**Fonte: do autor**

Para calcular o custo total da alocação (CA), considera-se:

$$MinCA = \sum_{i \in N} \sum_{j \in B} \left\{ \left[ (E_i + A_{ij}) \cdot CP_i \right] + (C_i \cdot TMov_j) + \left[ (L_i \cdot TAtrac_j) \cdot P \right] \right\} \cdot x_{ij} \quad (12)$$

Sujeito à:

$$\sum_{i \in N} (L_j - L_i) \cdot x_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in B \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N} (D_j - D_i) \cdot x_{ij} \geq 0 \quad \forall j \in B \quad (14)$$

$$Mcheg_i + \sum_{i \in N} A_{ij} \cdot x_{ij} - Mlib_j \geq 0 \quad (15)$$

Onde:

CA: é a função objetivo do custo de alocação;

$E_i$ : tempo de espera do navio  $i$ ;

$A_{ij}$ : tempo de atendimento do navio  $i$  no berço  $j$ ;

$CP_i$ : Custo do navio  $i$  parado;

$Mcheg_i$ : momento de chegada do navio  $i$ ;

$Mlib_j$ : momento de liberação do berço  $j$ ;

$L_i$ : comprimento do navio  $i$ ;

$L_j$ : comprimento do berço  $j$ ;

$D_i$ : calado do navio  $i$ ;

$D_j$ : profundidade do berço  $j$ ;

$T_{Atrac_j}$ : tarifa de atracação cobrada pelo berço  $j$  ao navio  $i$ ;

$C_i$ : carga do navio  $i$ ;

$T_{Mov_j}$ : tarifa de movimentação cobrada pelo berço  $j$  ao navio  $i$ ;

$P$ : número de períodos executados;

$x_{ij}$ : variável binária do tipo 0-1, onde assume o valor 1 caso o navio  $i$  tenha sido atendido no berço  $j$  e assume o valor 0 em caso contrário;

$N = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ , representa o conjunto de navios;

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ , representa o conjunto de berços.

A equação (13) representa a restrição de que o comprimento do berço  $j$  deve ser maior que o comprimento do navio  $i$ ; a restrição (14) indica que o calado do navio  $i$  deve ser menor à profundidade do berço  $j$  e, a restrição (15) indica que o momento de atracação e atendimento do navio  $i$  deve ser superior ao momento de liberação do berço  $j$ , ou seja, um navio não pode ser atracado e atendido por um dado berço antes deste ser liberado do atendimento ao navio anterior.

Portanto, o custo total desta alocação é de \$ 29.500,00. Se a lista de atendimento iniciasse pelo navio N2, o qual seria atendido primeiramente, o custo total de alocação seria de \$ 23.700,00, pois os navios permaneceriam menos tempo no porto, não havendo tempo de espera por nenhum navio, conforme mostra a Figura 4.

Como consequência resulta em um custo de tempo parado inferior ao da primeira alocação, ou seja, neste caso a redução de custo seria de aproximadamente 20%.

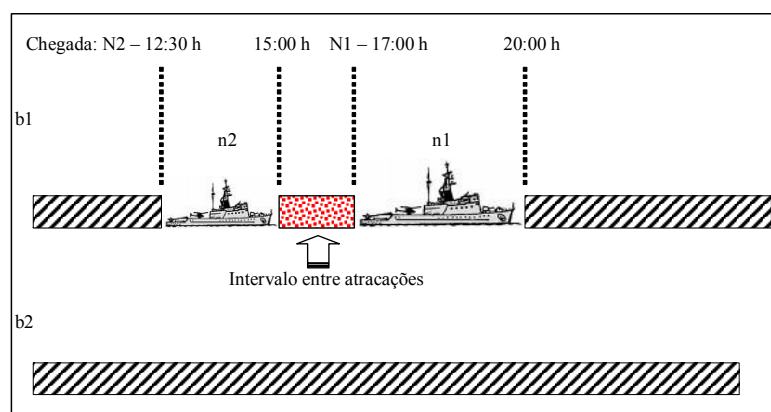


Figura 4 – Atendimento de navios pela seqüência N2 – N1

Fonte: do autor

Devido ao fato do custo variar muito de uma seqüência de alocação à outra, faz-se necessário avaliar as diversas possibilidades de seqüências que podem existir e, para que esta busca não seja exaustiva, propõe-se um algoritmo de busca genética para realizar a análise das possíveis seqüências de alocação.

#### **4.4 Algoritmo de busca genética**

Em se tratando de problemas complexos, nem sempre os métodos de procura encontram a melhor solução. Existem métodos variados, cada qual sendo melhor para cada classe de problemas.

Conforme Soares (1997), um procedimento para a escolha do método é realizar um amplo estudo sobre os algoritmos de otimização, verificando-se a característica de atingir mais vezes a solução global por número de execuções. Esse é um fator de medida da potencialidade dos algoritmos e, dentre os métodos mais eficazes, encontram-se os Algoritmos Genéticos - AG. Os AG são aplicados como uma técnica de procura randômica que vêm sendo usados ultimamente por um grande número de adeptos (DÁVALOS & STANGE, 1994).

São algoritmos de busca baseados em técnicas de seleção natural, ou seja, numa determinada população, quando há escassez de recursos, sejam eles comida, espaço ou outro recurso essencial, os indivíduos mais fortes dominam os mais fracos e sobrevivem. Isso acontece porque, dentre as características imprescindíveis à competição, esses seres possuem algumas mais acentuadamente presentes que os outros. Por herança, estas características provavelmente passarão para seus descendentes e, assim eles terão grandes chances de se saírem também vencedores.

Por outro lado, fortes indivíduos podem surgir da exploração de uma outra característica ainda não desenvolvida na população. Se a natureza tentasse descobrir essas novas características através da seleção dos mais aptos e do cruzamento dentro de um mesmo grupo, certamente não teria sucesso, visto que depois de muitas gerações, todos compartilhariam praticamente o mesmo código genético. Para contornar o problema a natureza insere material genético diferente através do processo conhecido como mutação. Se este ser que sofreu mutação, estiver tão capacitado à sobrevivência quanto os atuais, suas chances são grandes no futuro processo de seleção.

Assim, Soares (1997) questiona: se esse processo funciona tão bem na natureza, por que não funcionaria em sistemas artificiais? Foi desta maneira que John Holland e seus alunos

da Universidade de Michigan, no ano de 1975, procuraram implementar algo semelhante para sistemas artificiais. Nessa comparação, descreve-se o problema (ambiente de sobrevivência) sob forma de uma função matemática, em que as ‘estruturas’ (indivíduos) mais fortes obterão valores mais altos de função. Assim cada indivíduo corresponde a uma possível solução. Então trabalhando com um grupo de indivíduos simultaneamente, verifica-se a potencialidade de cada um em relação ao grupo, tentando selecionar os mais aptos para o cruzamento. Depois de se efetuar o cruzamento, cada gene de cada indivíduo estará sujeito a uma eventual ação da mutação. Logo, os AG baseiam-se nos processos naturais de seleção, cruzamento e mutação. Esses processos são conhecidos como operadores genéticos.

Para manter a analogia são usados nos sistemas artificiais, os termos pertinentes à genética natural. Dessa forma, um indivíduo ou estrutura corresponde a uma concatenação de variáveis ou cadeias de caracteres (cromossomos), onde cada caractere (gene) encontra-se em uma dada posição (locus) e com seu valor determinado (alelo). Um sinônimo de indivíduo em genética natural é genótipo e a sua estrutura decodificada é o fenótipo. Ou seja, significa um conjunto de parâmetros ou um ponto solução no espaço de procura. A partir do fenótipo, o potencial de sobrevivência pode ser obtido através da avaliação da função desempenho. Termos como reprodução, cruzamento, mutação, população estão ligados diretamente ao indivíduo. Em genética, outro conceito importante é o de epistasia, que significa a dominância de um gene sobre outro gene de par diferente. Em sistemas artificiais, este termo é utilizado para definir algum tipo de não linearidade do problema tratado.

Para Tcholakian e Stange (1994) os AG diferem basicamente de outras técnicas de busca em:

- a) considerarem uma população de pontos, e não um só;
- b) são independentes do domínio do problema;
- c) trabalham com *string* de caracteres, geralmente em código binário, para representar um conjunto de parâmetros, e não os parâmetros em si mesmos;
- d) usam regras probabilísticas para guiar a busca, e não regras determinísticas;
- e) usam um método indutivo, e não dedutivo, porque procuram soluções através da justaposição de suspeitas;
- f) são relativamente imunes à alta dimensionalidade, mínimo local e ruídos;
- g) só necessitam informação concernente à qualidade da solução produzida por cada conjunto de parâmetros, (informação da função objetivo), e não como os métodos de otimização, que requerem informação da derivada, ou completo conhecimento dos parâmetros e estrutura do problema.

De acordo com Tcholakian e Stange (1994), nos AG cada ponto do espaço solução é considerado como um cromossomo ou um indivíduo. O conjunto de cromossomos forma o que é chamado de população. Os indivíduos da população evoluem de geração em geração por meio de operações entre os cromossomos, como as operações de seleção, *crossover* e mutação.

Acompanhando as ilustrações a seguir é possível compreender a analogia entre os sistemas natural e o artificial:

Um gene:



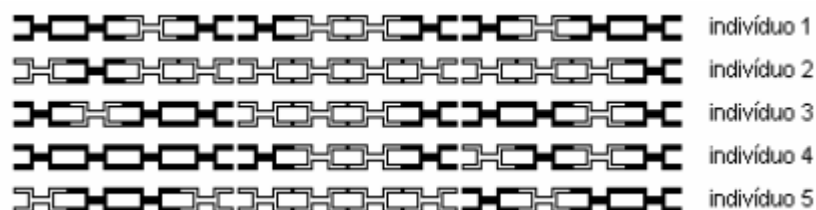
Cromossomo de quatro genes:



Para um problema com três variáveis, o indivíduo é concatenação de três cromossomos, assim um possível cromossomo seria:



Como os AG trabalham com grupos de indivíduos, uma possível população seria:



A obtenção da população de  $p+1$ , a partir da população  $p$  se realiza da seguinte maneira:

- a) uma vez representados os indivíduos, calcula-se o valor que representa a capacidade do cromossomo, com respeito ao problema a resolver, isto é, a adequação do indivíduo ao meio ambiente. Essa medida de capacidade é chamada *fitness*;
- b) essa medida é importante, porque cromossomos com *fitness* baixos, terão menos possibilidades do processo evolutivo. Assim, a escolha dos cromossomos mais adequados está em função do *fitness*, e é realizada pelo operador de seleção;
- c) os cromossomos são selecionados aos pares, para efetuar-se o cruzamento entre eles e obter dois descendentes. Essa operação é realizada em função de uma probabilidade de cruzamento, que determina o lugar físico do cromossomo em que

se produz o corte. Assim, os dois cromossomos intercambiam suas partes cortadas, formando dois descendentes;

- d) em cada descendente obtido, pode-se aplicar a operação de mutação, em função de uma probabilidade de mutação. Essa operação é aplicada a cada posição física do cromossomo. Em cromossomos codificados binário, o operador muda zeros por uns e vice-versa.

Na seqüência apresenta-se a estrutura de um AG.

#### 4.4.1 Estrutura básica do algoritmo proposto

Os AG apresentam-se de maneira semelhante à natureza sendo que seus passos principais são os seguintes:

*Gerar uma população inicial*

*Verificar o fitness dos indivíduos da população*

**Repetir**

*Selecionar ancestrais da população*

*Realizar o crossover entre os ancestrais selecionados*

*Realizar mutação nos descendentes gerados*

*Verificar os fitness dos descendentes gerados*

*Substituir indivíduos da população pelos descendentes*

**Até que se encontre uma solução satisfatória**

Sendo assim, nos próximos itens desta seção serão discutidas: a caracterização do cromossomo, geração de uma população inicial, técnica de seleção, operação de *crossover* e de mutação considerados nesta pesquisa.

#### 4.4.2 Caracterização do cromossomo

Para Mayerle (1996) é no cromossomo que se encontram armazenadas as características das soluções pesquisadas na busca. Segundo Goldberg e Luna (2000), um cromossomo é definido normalmente como um vetor de componentes.

Assim, para o PAB, um cromossomo pode ser representado por uma seqüência de navios, os quais carregam consigo os valores das variáveis:

$$\text{Cromossomo} = \{N3_1, N2_2, N1_3, \dots, Nn_k\} \quad (13)$$

onde  $Nn_k$  representa o  $k$ -ésimo navio da lista, sendo que cada navio ocupa uma posição nesta lista (por exemplo: o navio N3 ocupa a posição 1 na lista).

#### 4.4.3 Geração de uma população inicial

Uma população inicial é formada, em princípio, através de algum mecanismo de avaliação de performance (GOLDBARG & LUNA, 2000). Os indivíduos são codificados numa seqüência finita de navios e assim, cada componente da seqüência é dito um gene, o qual está associado a uma variável do problema.

Esta avaliação de performance, mais conhecida como *fitness* (e representada por  $f_n$ ), representa a capacidade do indivíduo em adaptar-se ao meio ambiente. No caso dos AG, quando aplicado a problemas de otimização combinatorial, sua medida relaciona-se com o valor da função objetivo, o qual pode ser calculado conforme a expressão apresentada em (12).

Considerando que para o PAB deseja-se encontrar o menor valor para a função objetivo, a medida do *fitness* deve ser considerada de modo que quanto menor o seu valor, maior é sua capacidade de adaptação.

#### 4.4.4 Técnica de seleção

Para ordenar os indivíduos da população durante o processo de busca é utilizada a medida de *fitness* calculada por (12), conforme já citado. A ordem é dada pela seguinte maneira:  $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$ . E, deste modo, o primeiro indivíduo da população apresenta o melhor desempenho, enquanto que o último indivíduo apresenta o pior desempenho de toda população. Desta maneira o método escolhe sempre os indivíduos com melhores desempenhos fazendo com que se reproduzam.

#### 4.4.5 Operação de reprodução ou *crossover*

O operador de *crossover*, ou cruzamento, é considerado a característica fundamental dos AG. Pares de genitores são escolhidos aleatoriamente da população e, baseado na aptidão, são formados novos indivíduos a partir da troca de material genético. Deste modo, os descendentes serão diferentes de seus pais, mas com características genéticas de ambos os genitores (PACHECO, data desconhecida).

Holland, o idealizador dos AG, propôs o cruzamento com um único ponto de corte. Depois disto apareceram outras formas de cruzamento, como de 2 a n pontos de corte e o cruzamento uniforme. Além desses tipos, Soares (1997) ainda apresenta o cruzamento entre vários indivíduos simultaneamente (CEVI) e o cruzamento por variável (CPV). A seguir,



apresentam-se alguns dos métodos utilizados, sendo considerados para a exemplificação, como casal de cruzamento, dois indivíduos:

1 - 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0  
 2 - 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0

*Cruzamento com n pontos de corte*: os locais do corte são escolhidos aleatoriamente. Se algum ponto for sorteado mais de uma vez, não se procura por outro. Assim, os locais de corte do indivíduo variam de 1 a L-1, sendo L o comprimento total do indivíduo. Então, supondo que se esteja trabalhando com 4 pontos de corte, e que os escolhidos sejam 2, 4, 6 e 8, tem-se:

Intervalo de cortes

1 -	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
2 -	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0

Assim, substituindo-se os valores obtidos no intervalo dos cortes, com os valores do indivíduo 1 migrando para o indivíduo 2 e vice-versa, obtém-se:

1 - 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0  
 2 - 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0

*Cruzamento por variável (CPV)*: o cruzamento terá um ponto de corte por variável. Apesar da idéia deste tipo de cruzamento parecer bastante natural, pouco se encontra na literatura, porém Soares (1997) a utilizou em sua dissertação.

Encontra-se na literatura ainda o *cruzamento uniforme*, *cruzamento entre vários indivíduos (CEVI)*, e também métodos conhecidos como operadores de recombinação, projetados para problemas de ordenação, como arranjos e permutações. Nestes casos, deve-se evitar que o cruzamento introduza repetição de variável num mesmo indivíduo.

*Cruzamento parcial (PMX\_Partially Matched Crossover)*: deste tipo de *crossover* participam dois indivíduos que geram outros dois. Há necessidade de dois pontos de corte que são escolhidos aleatoriamente. Esses dois pontos definem uma seção em que os alelos pertencentes a ela trocarão de posição com os provenientes do parceiro. O casal abaixo apresenta o procedimento:

1 - 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0  
 2 - 2 8 5 7 6 9 0 1 4 3

Com o corte ocorrendo nas posições 3 e 5, troca-se o conteúdo dentro desta faixa:

1 -	1	2	3	7	6	6	7	8	9	0
2 -	2	8	4	5	9	0	1	4	3	

Os alelos fora da faixa repetidos são substituídos pelos respectivos alelos fornecidos ao outro indivíduo, finalizando o processo. Assim:

1 - 1 2 3 7 6 5 4 8 9 0

2 - 2 8 6 4 5 9 0 1 7 3

*Cruzamento seqüencial (OX – Order Crossover)*: Considere os mesmos indivíduos do caso anterior (*PMX*), bem como os mesmos pontos de corte.

1 - 1 2 3 | 4 5 | 6 7 8 9 0

2 - 2 8 5 | 7 6 | 9 0 1 4 3

Observa-se que os indivíduos 1 e 2 trocarão os alelos dentro da faixa. Do ponto de vista de cada indivíduo, os alelos a serem recebidos são marcados por uma letra H, como se observa:

1 - 1 2 3 | 4 5 | H H 8 9 0

2 - 2 8 H | 7 6 | 9 0 1 H 3

A partir do segundo ponto de corte, os alelos não marcados com H, deslizam preenchendo os espaços dos alelos marcados com H. Os próximos passos referem-se apenas ao indivíduo 1 para facilitar a compreensão:

1 - 2 3 4 | 5 H | H 8 9 0 1

1 - 3 4 5 | H H | 8 9 0 1 2

Finalmente, substitui-se os Hs pelos alelos recebidos:

1 - 3 4 5 | 7 6 | 8 9 0 1 2

Procedendo da mesma forma obtem-se o segundo indivíduo.

Os resultados dos métodos *PMX* e do *OX* são semelhantes, porém com objetivos diferentes: o *PMX* procura respeitar a posição absoluta dos alelos enquanto o *OX* busca respeitar a posição relativa.

*Cruzamento cíclico (CX – Cycle Crossover)*: este método não necessita de pontos de corte, uma vez que é dependente apenas das posições dos integrantes do cruzamento. Considere o casal de indivíduos:

1 - 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

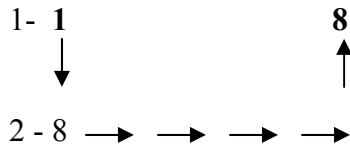
2 - 8 1 6 5 0 3 9 2 7 4

O processo se inicia quando se escolhe um dos indivíduos como sendo a estrutura básica do cruzamento, neste caso, considerando-se o indivíduo 1.

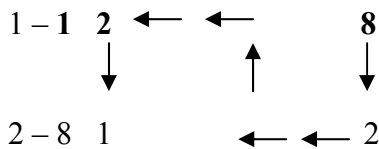
A seguir fixa-se seu primeiro alelo.

1 - 1

Verificando o segundo indivíduo do cruzamento, nota-se que o alelo correspondente ao primeiro é o alelo 8. Esse será o próximo a ser fixo, porém no segundo indivíduo resultante. Depois disso fixa-se esse alelo no indivíduo resultante 1, como segue:



A partir deste ponto o processo se repete até que o alelo respectivo ao indivíduo 2 já tenha sido usado.



Para concluir, trocam-se as partes não fixas entre os indivíduos 1 e 2. Assim:

$$\begin{array}{cccccccccc}
 1- & \mathbf{1} & \mathbf{2} & 6 & 5 & 0 & 3 & 9 & \mathbf{8} & 7 & 4 \\
 2- & 8 & \mathbf{1} & \mathbf{3} & \mathbf{4} & \mathbf{5} & \mathbf{6} & \mathbf{7} & \mathbf{2} & \mathbf{9} & \mathbf{0}
 \end{array}$$

Como se percebe, são várias as regras existentes para se efetuar o cruzamento de indivíduos e assim, para o problema desta pesquisa optou-se por utilizar como regra, a média das posições ocupadas pelos indivíduos nos cromossomos.

Considerando dois cromossomos:

$$\begin{array}{l}
 C1 - \{n3_1, n2_2, n4_3, n1_4\} \\
 C2 - \{n2_1, n4_2, n1_3, n3_4\}
 \end{array}$$

Faz-se as médias das posições ocupadas por cada indivíduo nos dois cromossomos:

- n1: ocupa as posições 4 e 3, portanto a média é 3,5;
- n2: ocupa as posições 2 e 1, portanto a média é 1,5;
- n3: ocupa as posições 1 e 4, portanto a média é 2,5;
- n4: ocupa as posições 3 e 2, portanto a média é 2,5;

Em seguida, ordena-os em uma lista em ordem crescente e, quando haver empate, escolhe-se aleatoriamente qualquer um deles para ocupar a posição:

$$\begin{array}{cccc}
 1,5 & \leq & 2,5 & \leq & 2,5 & \leq & 3,5 \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 n2_1 & - & n3_2 & - & n4_3 & - & n1_4
 \end{array}$$

Como houve empate entre as médias dos indivíduos n3 e n4, optou-se por inserir na lista, na segunda posição, o navio n3 e na sequência o navio n4.

Para outros esclarecimentos sobre operadores de *crossover*, recomenda-se a leitura de Soares (1997).

#### 4.4.6 Operação de mutação

Após a realização do *crossover*, a mutação toma espaço. Isto para prevenir que as soluções encontradas na população não se encontrem em ótimos locais do problema resolvido (OBITKO, 1998).

A mutação é um operador genético que tem a função de introduzir características novas ao indivíduo ou mesmo restaurar características que se perderam em operações, como por exemplo, no cruzamento (*crossover*). Para Soares (1997), se em uma população nenhum indivíduo possuir um valor que seria o ideal num determinado *locus gene*, então a recombinação e a seleção sozinhas não propiciariam o surgimento dessa característica na população. Além disso, a mutação possibilita restaurar genes que foram eliminados no processo de seleção em gerações anteriores.

Desta forma, a mutação assegura que a probabilidade de se chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca é zero, além de contornar o problema de máximos (ou mínimos) locais, pois com este mecanismo, altera-se levemente a direção da busca.

No sistema de um AG a mutação é um evento que possui uma probabilidade  $p_m$  para cada bit da cadeia de caracteres de todos os indivíduos da população, podendo se tornar um operador caro. A Tabela 10 abaixo apresenta um exemplo de mutação.

Descendente original 1	1101111000011110
Descendente original 2	1101100100110110
Descendente 1 após mutação	1100111000011110
Descendente 2 após mutação	1101101100110100

**Tabela 10 – Mutação**

Para problemas que envolvem ordenação e permutação (por exemplo o *Traveling Salesman Problem* – TSP) o operador mutação deve evitar que haja repetições de variáveis num mesmo indivíduo. A sequência a seguir representa um possível indivíduo para o problema de ordenação de 10 navios.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Se este indivíduo sofrer mutação na quarta variável, para qual valor a variável mudará? Alguns autores utilizam uma mutação chamada troca (*swap*), que ocorre numa probabilidade  $p_{swap}$ . Assim, escolhem-se duas variáveis e estas, trocam de posição.

No PAB, a mutação é realizada aleatoriamente após o *crossover*, sendo utilizada uma taxa de mutação, ou seja, uma probabilidade muito baixa de que este procedimento ocorra.

O operador mutação tem um importante papel na evolução da população (introdução e restauração de características), porém é considerado um operador genético secundário, devendo ocorrer com probabilidade baixa, atendo-se ao elevado custo computacional.

#### **4.5 Implementação do algoritmo proposto**

O modelo desenvolvido foi inspirado principalmente pelos estudos de Imai et. al (1994, 2001, 2003, 2005) e Nishimura et. al (2001), conforme já citados no item 3.4.3. Por se tratar de um algoritmo guloso e, considerando a dificuldade de se expressar o problema através das equações (12), (13), (14) e (15), o algoritmo da Figura 5 será utilizado para a resolução do PAB:

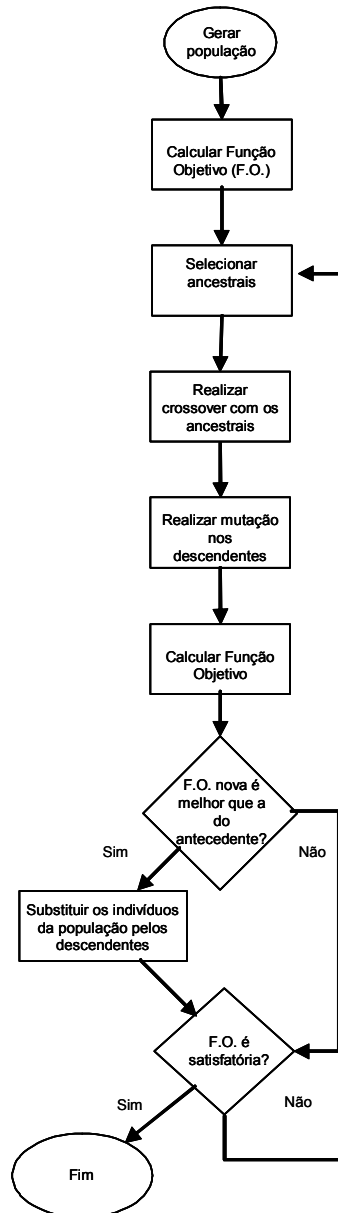


Figura 5 – Apresentação do algoritmo proposto

Convém apresentar que o cálculo da função objetivo se dá conforme a Figura 6:

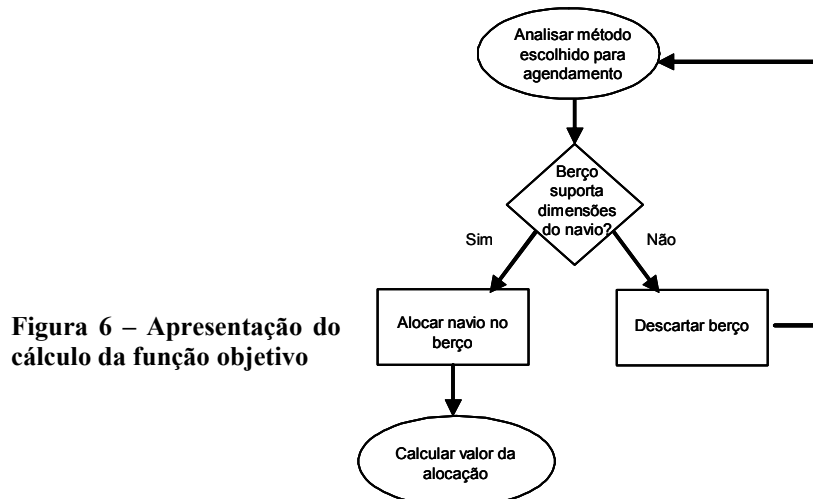


Figura 6 – Apresentação do cálculo da função objetivo

Para implementar o algoritmo proposto para a resolução do PAB, é proposta a elaboração de um *software* desenvolvido em *Delphi*<sup>®</sup> versão 7, para o qual será testado e analisado o comportamento das variáveis. A opção pela linguagem de programação *Delphi*<sup>®</sup> para elaborar o modelo foi feita em função de incluir diversas facilidades de simulação e possibilitar a representação de aspectos dinâmicos, onde se procurou implementar algumas variáveis – como a produtividade dos berços – com o objetivo de tornar o modelo mais aderente à realidade que se deseja representar.

O modelo foi idealizado para uso genérico e pode se adaptar a qualquer terminal portuário modificando-se alguns parâmetros.

#### **4.6 Considerações finais**

Ao final deste capítulo espera-se ter repassado de maneira concisa, os principais conceitos de um algoritmo genético bem como as considerações envolvidas na elaboração do método proposto para a resolução do PAB. E, na seqüência consta a análise dos resultados obtidos com este método.

## 5 RESULTADOS NUMÉRICOS

### 5.1 Indicadores de desempenho

Antes de se analisar os resultados obtidos com o método desenvolvido para solucionar o PAB, é necessário fazer algumas observações quando à metodologia, cálculos e dados utilizados para haver uma melhor compreensão da análise apresentada neste capítulo.

Na Figura 7 é possível visualizar a interface do *software* proposto de maneira a facilitar a compreensão de seu funcionamento:

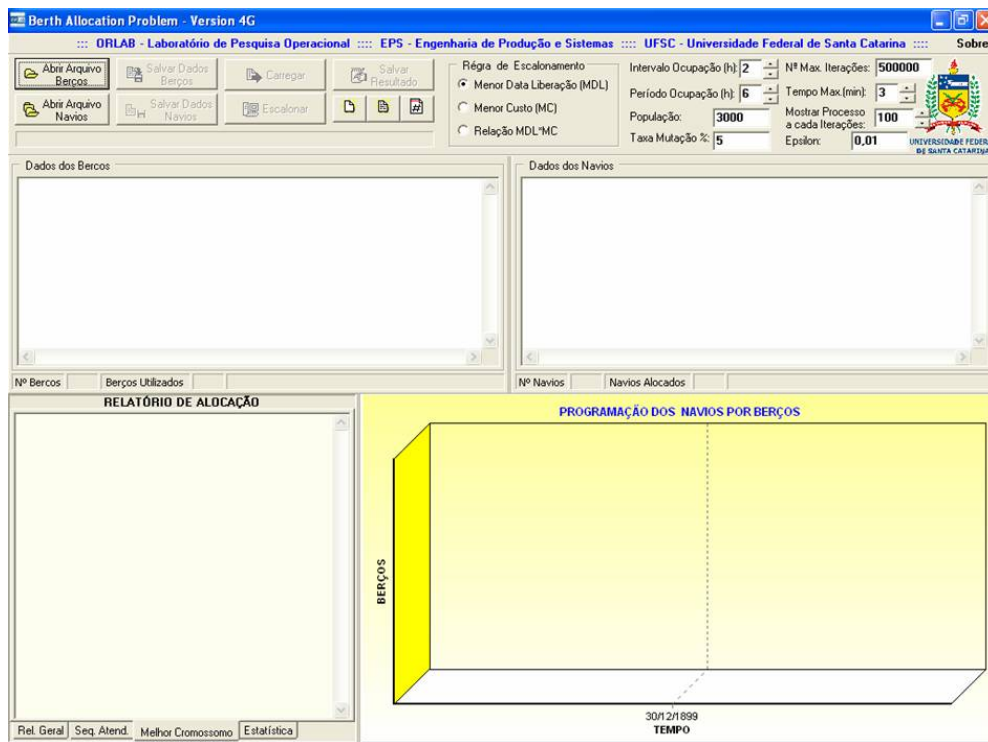


Figura 7 – Interface do *software* desenvolvido

Para utilizar o software é necessário inserir os arquivos que contém informações sobre os navios e berços (comprimento, calado, tarifas, momento de chegada, etc.) e determinar o intervalo de ocupação a ser considerado, ou seja, a quantidade de horas a serem consideradas como o tempo de intervalo entre a saída de um navio e a atracação de outro em um mesmo berço. Além disso, é necessário determinar o período de ocupação a ser considerado (conforme já explicado anteriormente, cada porto utiliza um valor de horas corridas para representar um período), determinar o tamanho da população com que se deseja trabalhar bem como a taxa de mutação a serem considerados.



Como critério de parada podem ser utilizadas três maneiras diferenciadas:

- a) número máximo de iterações alcançado;
- b) tempo máximo de computação alcançado e;
- c) valor de *epsilon*<sup>19</sup> alcançado.

Ainda há a opção de indicar a cada quantas iterações, o *software* deve mostrar os resultados do processo na tela. E, por fim, há três opções de métodos de resolução a serem escolhidos conforme indicado no item 4.2.2, os quais serão avaliados.

A metodologia do cálculo da função objetivo de cada um dos métodos é a seguinte:

#### **- Método 1: baseado na menor data para liberação dos navios**

Inicia com um valor para a Data de Saída Mínima dos navios como sendo infinito. Na sequência, determina o valor da Data de Saída que cada um dos navios teria, caso variassem o berço e o horário de atracação. Esta Data de Saída é encontrada através do máximo valor entre o momento de liberação do berço mais o intervalo de ocupação considerado e o momento de chegada do navio mais o tempo de atendimento deste. Se o valor encontrado para a Data de Saída for inferior ao valor da Data de Saída Mínima, este é substituído por aquele e repete-se o procedimento. Posteriormente, calcula o valor da função objetivo através da equação (12).

#### **- Método 2: baseado no menor custo de alocação dos navios**

Inicialmente assume um valor para o Custo Mínimo de alocação como sendo infinito. Em seguida, verifica para todos os navios o melhor Custo de alocação em cada um dos berços, através da equação (12). Se o valor do Custo encontrado for menor que o valor do Custo Mínimo, substitui-se este por aquele.

#### **- Método 3: baseado na relação entre o Método 2 e o tempo de permanência do navio no porto**

Este método assemelha-se ao método anterior, porém diferencia-se a partir do momento em que encontra o valor do Custo e ainda o multiplica pelo tempo total que o navio

---

<sup>19</sup>*Epsilon* é o parâmetro adotado para avaliar se o desvio obtido entre os fitness do pior e do melhor cromossomo é aceitável. O desvio é encontrado da seguinte maneira:

$$\text{Desvio} = (\text{Fitness Pior Cromo} - \text{Fitness Melhor Cromo}) / \text{Fitness Melhor Cromo}$$

Deste modo, se Desvio > Epsilon, o algoritmo continua.

permanece no porto (desde a chegada até a saída). O que se percebe é que este método potencializa o tempo, tentando buscar o equilíbrio entre o tempo de permanência de um navio no porto e o custo de alocação. Por este estudo ter caráter heurístico admitiu-se este método a fim de analisar seu comportamento.

Uma vez carregados os dados, executa-se o software e durante o processamento é possível acompanhar a curva de comportamento dos *fitness* do pior e do melhor cromossomo, bem como do desvio entre eles, além do número de iterações realizadas, o momento de início da computação e o tempo transcorrido desde então, conforme se visualiza na Figura 8:

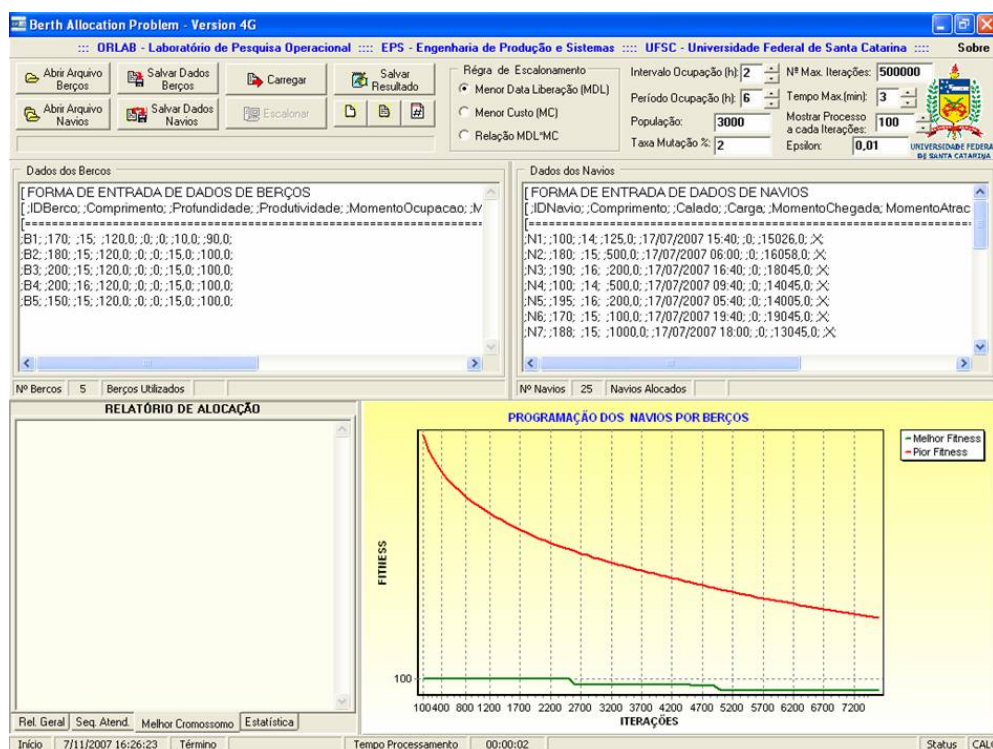


Figura 8 – Interface do *software* durante o processamento

Na seqüência, após o término do processamento, o escalonamento está realizado conforme a Figura 9:

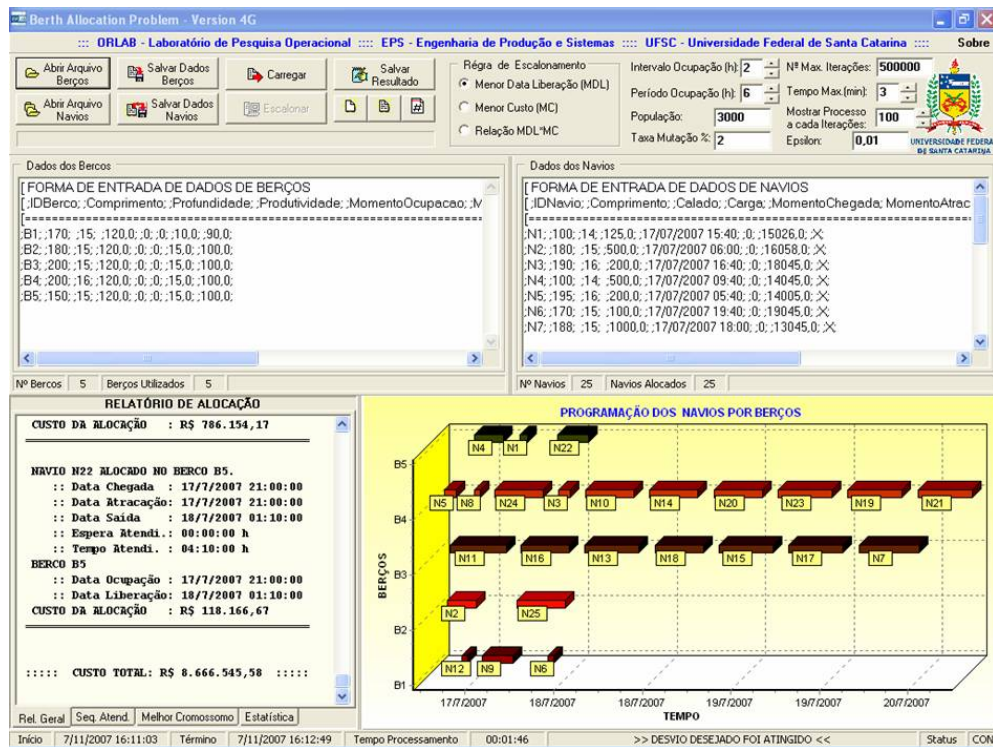


Figura 9 – Interface do software após término do processamento

A interface final obtida informa o tempo total de processamento e também o critério de parada que foi atingido por primeiro. No relatório de alocação, nesta mesma interface, é indicado em qual berço foi alocado cada um dos navios, contendo informações dos navios sobre as datas de chegada no porto, de atracação e de saída, além do tempo de espera pelo atendimento (quando houver) e o tempo total de atendimento, e o custo da alocação individual.

Quando algum navio não pode ser alocado, por não atender algumas das restrições, este é indicado no relatório e, no final do mesmo é apresentado o custo total da alocação realizada para uma dada programação desejada. Para facilitar a compreensão do escalonamento realizado, um gráfico do tipo *Gantt*<sup>20</sup> é gerado na tela indicando o momento de ocupação dos berços pelos navios.

Ainda para facilitar a análise do escalonamento, existem mais três relatórios simplificados os quais indicam a seqüência de atendimento dos navios, o melhor cromossomo encontrado pelo algoritmo e dados estatísticos de atendimento dos navios e ocupação dos berços, conforme, a Figura 10, Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

<sup>20</sup> Os gráficos de Gantt são ferramentas desenvolvidas por Henry Gantt que desenvolveu um método baseado em cronogramas representados graficamente para programar e controlar atividades na construção de navios em estaleiros que trabalhavam no esforço para a Primeira Grande Guerra Mundial (CORRÊA & CORRÊA, 2004).

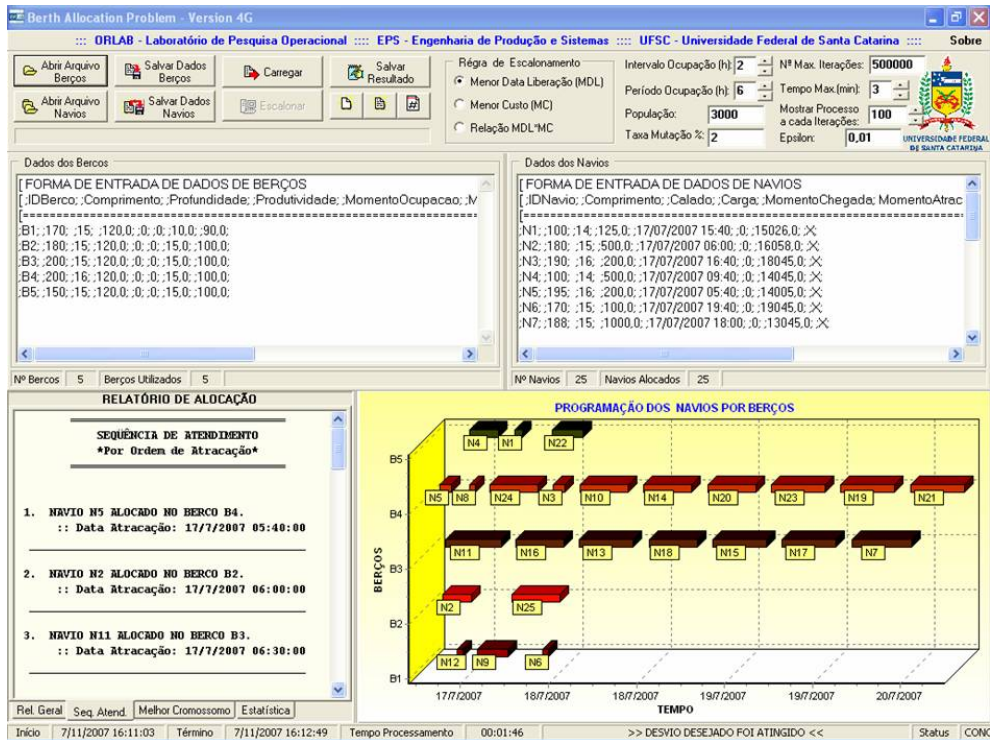


Figura 10 – Relatório da seqüência de atendimento dos navios

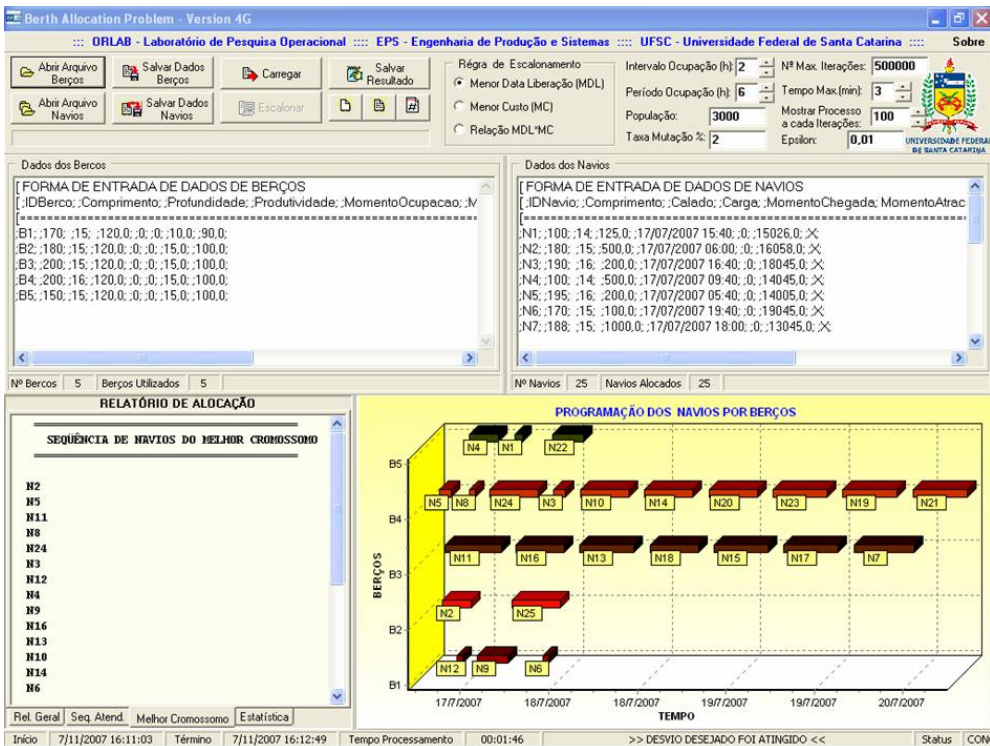


Figura 11 – Relatório do melhor cromossomo

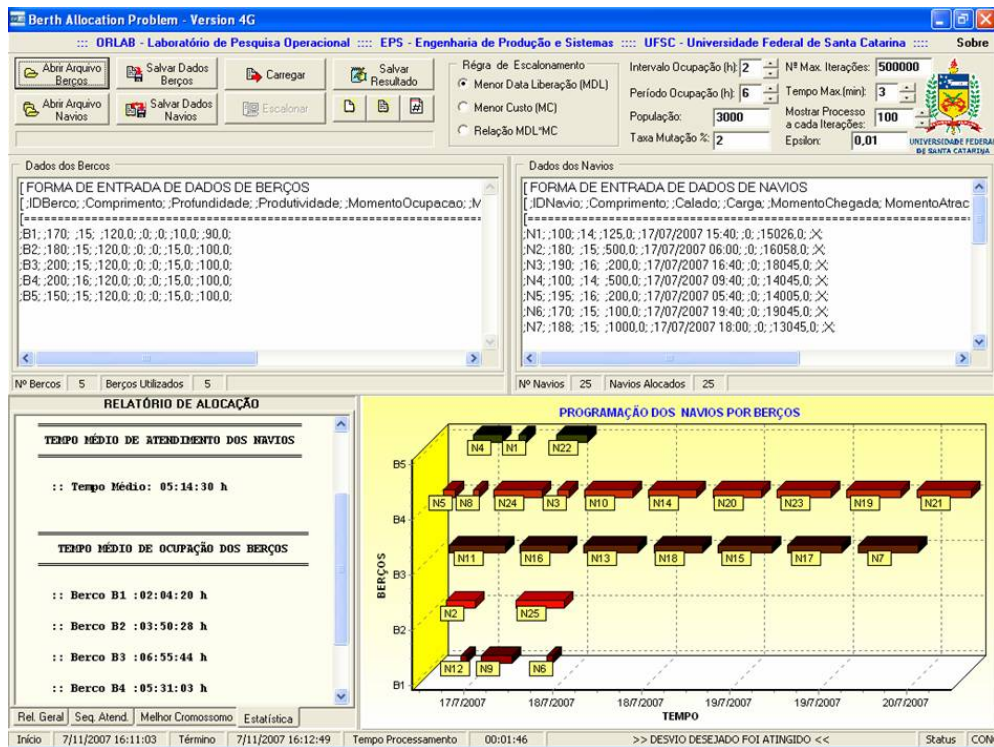


Figura 12 – Relatório estatístico

Uma vez estando explicado o funcionamento do *software* proposto, o item seguinte desta pesquisa tem o intuito de apresentar quais parâmetros foram considerados para a análise do mesmo.

## 5.2 Obtenção dos parâmetros para resolução do PAB

### 5.2.1 Dados simulados

O método proposto foi aplicado e analisado para alguns casos simulados, conforme a Tabela 11 a seguir:

Navios	Berços	Epsilon	Navios	Berços	Epsilon	Navios	Berços	Epsilon	Navios	Berços	Epsilon	Navios	Berços	Epsilon				
10	5	0,03	25	5	0,03	50	5	0,03	70	5	0,03	100	5	0,03				
		0,01			0,01			0,01			0,01							
		0,001			0,001			0,001			0,001							
		0,0001			0,0001			0,0001			0,0001							
	10	0,03		10	0,03		10	0,03		10	0,03		10	10	0,03	10	10	0,03
		0,01			0,01			0,01			0,01							
		0,001			0,001			0,001			0,001							
		0,0001			0,0001			0,0001			0,0001							
	15	0,03		15	0,03		15	0,03		15	0,03		15	15	0,03	15	15	0,03
		0,01			0,01			0,01			0,01							
		0,001			0,001			0,001			0,001							
		0,0001			0,0001			0,0001			0,0001							

Tabela 11 – Tabela demonstrativa dos testes simulados que foram realizados

Para todos os casos foram considerados para critério de comparação, uma população de 3.000 indivíduos e uma taxa de mutação de 2%, com intervalo de ocupação de 2 horas e período de ocupação de 6 horas e número máximo de iterações de 500.000.

Os testes foram realizados para os tempos fixos de processamento de 3, 5 e 10 minutos, variando-se também os 3 diferentes métodos, totalizando 540 casos analisados.

### 5.2.2 Dados reais

No intuito de avaliar o sistema proposto sob o ponto de vista da qualidade dos resultados obtidos, foi realizada a aplicação do *software* desenvolvido para o caso do Porto de Itajaí, o qual atualmente não possui uma ferramenta de otimização desta operação de alocação e, sim, utiliza o apoio do *software* Excel<sup>®</sup>.

Foi considerado para o teste, o período de 20 de novembro a 31 de dezembro de 2007, para o qual constavam 63 navios planejados para atracar no porto. Atualmente o porto opera 24 horas por dia durante 7 dias na semana, possuindo 3 berços para atracação.

É válido citar que o Porto de Itajaí possui um cais de 740 metros e não opera com berços de tamanho fixo. Na média seriam 3 berços de 246 metros cada, porém na prática este comprimento varia conforme o comprimento do navio que necessita atracação. Por exemplo: se o porto recebe um navio de 260 metros, irá utilizar os 246 metros do primeiro berço e mais 14 metros do segundo berço.

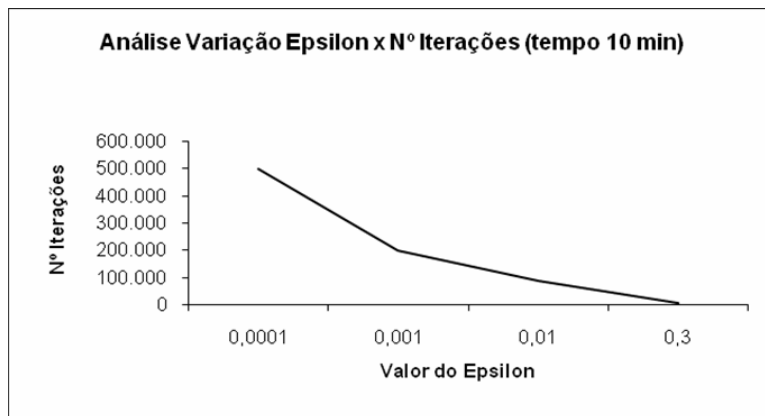
Assim, para a execução dos testes com os dados reais de Itajaí, foram descartados os navios de maior comprimento, uma vez que o *software* desenvolvido opera com berços individualizados e, considerando que não é muito freqüente a chegada de navios destes comprimentos maiores, o resultado do plano de atracação não será muito diferenciado do plano elaborado pelos funcionários do porto em questão.

## 5.3 Resultados obtidos

Devido à quantidade de simulações realizadas, foram priorizadas algumas análises com relação ao desempenho obtido pela ferramenta proposta. São elas:

- a) análise do número de iterações *versus* variação do *epsilon*;
- b) análise do número de iterações *versus* tempo máximo de processamento;
- c) análise da diferença do tempo de computação *versus* complexidade do problema e;
- d) análise do percentual de diferença de valores da função objetivo.

Com relação ao número de iterações *versus* variação do *epsilon*, percebe-se que os três métodos, apresentaram na maioria dos casos, uma curva decrescente, ou seja, à medida que se aumenta o valor de *epsilon*, reduz-se consideravelmente o número de iterações, sendo que entre os valores de 0,0001 e 0,001 a redução é mais representativa, conforme o Gráfico 7:



**Gráfico 7 – Comportamento variação do valor de *epsilon* versus número de iterações para o problema de 25 navios e 10 berços, resolvido pelo método 1.**

Quanto a análise do número de iterações *versus* tempo máximo de processamento solicitado, verificou-se que em 75,50% dos testes, houve divergência no número de iterações entre os métodos 1 e 2; ou seja, o método 1 realizou mais iterações do que o método 2 se comparado o mesmo intervalo de tempo. Este comportamento também se repete se comparados os métodos 1 e 3.

Nesta análise também se verifica que à medida em que há variação no número de navios para a mesma quantidade de berços (ex. 15 berços, variando o atendimento com 10, 70 e 100 navios), aumenta a diferença no número de iterações entre os métodos 1 e 2 e, métodos 1 e 3. Algo a dizer é que o comportamento entre os métodos 2 e 3 são bem semelhantes; tendendo a reduzir a diferença entre eles à medida que aumenta a complexidade do problema.

O Gráfico 8 mostra como se comportam na maior parte dos casos os 3 métodos quanto ao número de iterações realizadas por tempo fixo de análise. Para este problema foi determinado um tempo máximo de processamento de 3 minutos, porém ambos os métodos apresentaram resultado em 4 segundos:

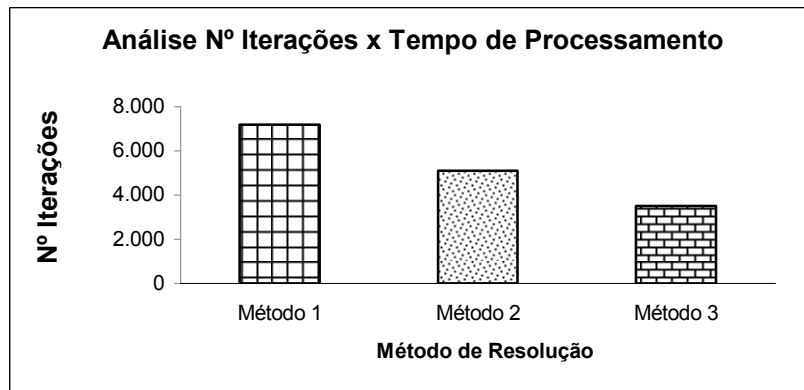


Gráfico 8 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 10 navios e 15 berços, com *epsilon* de 0,01.

É notório que a diferença entre os métodos 1 e 2 e, 2 e 3 está em torno de 30% e, que, o método 1 apresenta o dobro de iterações se considerado com o método 3.

À medida em que se aumenta a complexidade do problema, aumenta a diferença do comportamento entre os métodos, conforme o Gráfico 9 e o Gráfico 10.

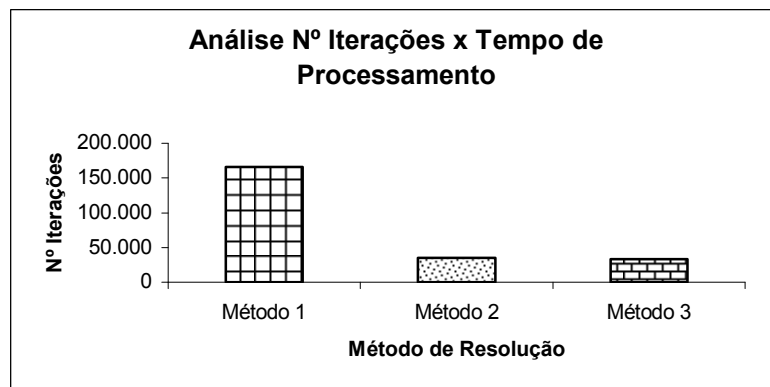
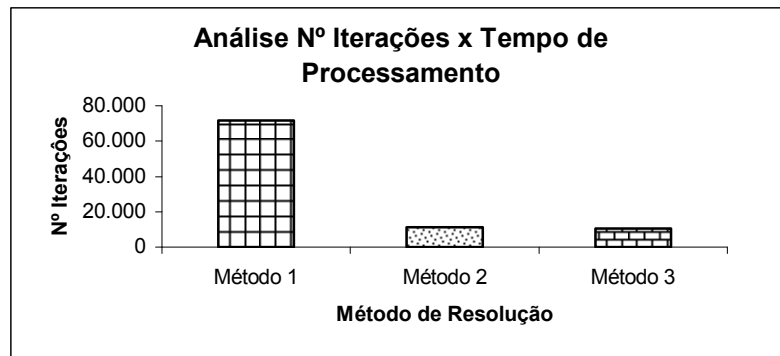


Gráfico 9 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 70 navios e 15 berços, para um tempo de processamento de 3 minutos, com *epsilon* de 0,01.

Para o problema do Gráfico 9, a diferença entre os métodos 1 e 2 foi de 78,79%, entre os métodos 2 e 3 de 6,27% e para os métodos 1 e 3 de 80,12%.

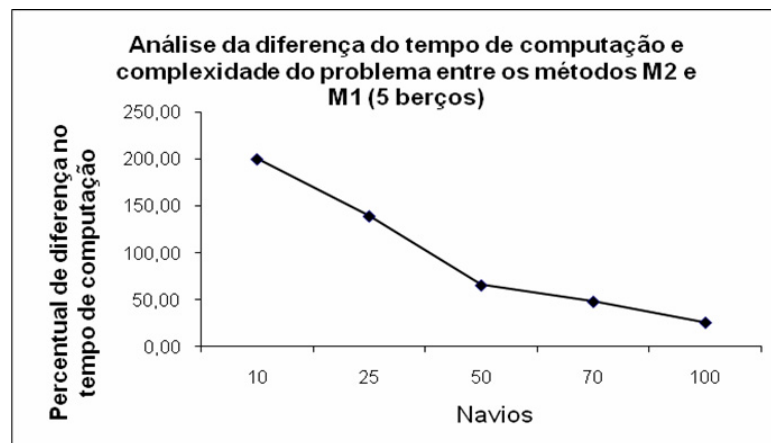
Aumentando-se o tamanho do problema, aumenta-se a diferença no comportamento dos métodos 1 se comparado aos demais métodos. Enquanto isso, para os métodos 2 e 3 a tendência é reduzir a diferença no comportamento. No Gráfico 10, tem-se que a diferença entre os métodos 1 e 2 é de 84,52%, entre os métodos 2 e 3 de 5,41% e entre os métodos 1 e 3 de 85,36%.





**Gráfico 10 – Análise do comportamento obtido em cada método na resolução do problema de 100 navios e 15 berços, para um tempo de processamento de 5 minutos, com  $\epsilon$  de 0,01.**

Na análise do tempo de convergência de resultados, conforme o Gráfico 11, percebe-se que ao aumentar a complexidade do problema, os três métodos tendem a gerar a solução ótima consumindo o mesmo tempo computacional.



**Gráfico 11 – Diferença no tempo de convergência entre os métodos 1 e 2.**

Com relação aos valores obtidos na função objetivo (custo de alocação) na maioria dos casos a diferença entre os métodos 2 e 1 assume o comportamento de uma curva crescente, ou seja, à medida que aumenta o número de navios, aumenta-se o valor da diferença percentual entre os métodos; ou seja, o valor da diferença do método 2 para o método 1 cresce consideravelmente, conforme se aumenta o número de navios. O Gráfico 12 demonstra o raciocínio:

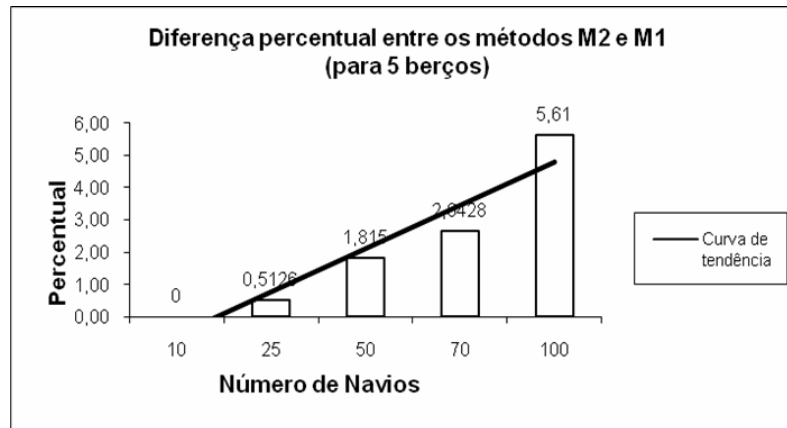


Gráfico 12 – Diferença percentual na solução ótima encontrada pelos métodos 1 e 2.

Neste caso, tem-se que quando o problema possui 100 navios, o método 2 apresenta resultados na função objetivo 5,61% superiores ao método 1. Como no problema desta pesquisa se deseja a minimização dos custos, quanto maior for o valor da solução encontrada, pior é o resultado.

Entre os métodos 3 e 2 se repete este comportamento. Devido os métodos 2 e 3 serem bem parecidos, quando se analisa o comportamento entre os métodos 1 e 3, também se verifica que aumentando o tamanho do problema, aumenta a diferença dos resultados obtidos.

#### 5.4 Análise dos resultados e conclusões

Quanto ao comportamento das simulações variando o valor de *epsilon*, pode-se afirmar que os resultados não se mantiveram muito estáveis porém, como era de se esperar, o que se repete na maior parte dos casos é a redução do número de iterações enquanto o *epsilon* varia de 0,0001 a 0,01, aumento o número de iterações quando *epsilon* assume valores próximos a 0,3 e, aumentando-o próximo a 1, o número de iterações reduz-se novamente, sendo resolvido o problema em menos de 100 iterações. Isto leva a crer que o número de iterações reduz-se conforme se aumenta o valor de *epsilon*, pois o valor do desvio (obtido pela diferença entre os valores dos *fitness* do pior e do melhor cromossomo) em poucas iterações alcança o valor pré-fixado do *epsilon*, requisitando menos iterações.

Quanto ao número de iterações e tempo máximo de processamento, conclui-se que o método 1 é menos pesado para realizar o processamento, uma vez que realiza mais iterações que os métodos 2 e 3. Devido os métodos 2 e 3 serem bem semelhantes, tendem a apresentar o mesmo comportamento quanto ao número de iterações para a busca da solução ótima.

Com relação aos resultados obtidos para o valor da função objetivo dos três métodos, era de se esperar que o método 2 apresentasse o melhor resultado para o custo de alocação,

pois este era seu intuito: alocar de modo a minimizar os custos, porém constatou-se que método 2 apresentou custo de alocação superior ao método 1 à medida que aumentava a complexidade do problema.

Para problemas pequenos de até 25 navios, o método 2 realmente se mostrou com custos inferiores ao método 1, porém para problemas com 50, 70 e até navios, apresentou resultados superiores. Assim, percebeu-se que: método 2 > método 1; método 3 < método 2 e método 1 < método 3, ou seja:

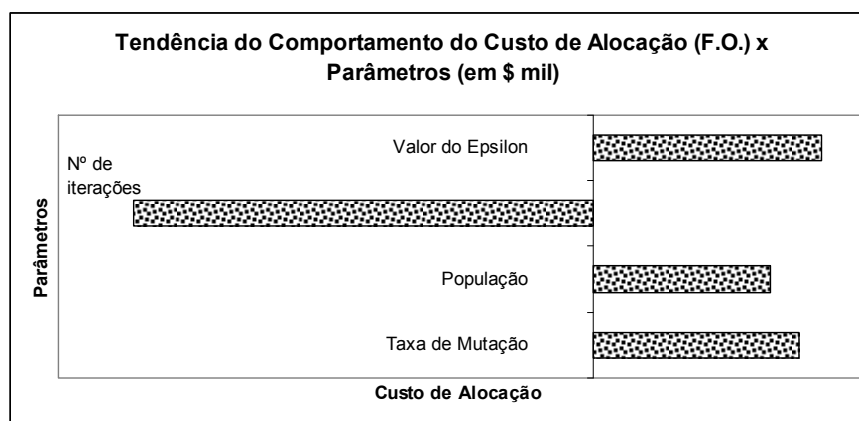
$$\text{método 1} < \text{método 3} < \text{método 2}$$

Isto não quer dizer que, por se tratar de um problema de minimização de custos, o método 1 apresenta-se aconselhável para uso. Esta decisão de melhor método é dependente do resultado que se busca: menor tempo de atracação dos navios ou menor custo de alocação.

Quanto à análise do tempo de convergência de resultados conclui-se que aumentando a complexidade do problema, os métodos tendem a apresentar comportamentos semelhantes, reduzindo-se a diferença entre os tempos computacionais e de resultado para a solução ótima.

No intuito de complementar a análise, foi realizada uma breve análise utilizando o *software* Estatística® onde foram analisados os mesmos parâmetros considerados nesta pesquisa.

Quanto ao valor de saída do custo de alocação, tem-se o seguinte comportamento conforme o Gráfico 13:



**Gráfico 13 – Análise de tendência do comportamento do custo de alocação versus parâmetros**

Interpretando-se o gráfico tem-se que variando os parâmetros entre um valor mínimo e um valor máximo, o custo de alocação (valor da função objetivo) obtido comporta-se da seguinte maneira: ao aumentar o valor de *epsilon* (por exemplo de 0,0001 para 0,03), o custo de alocação (da função objetivo) será incrementado; isto também vale para o acréscimo dado no tamanho da população e na taxa de mutação. O contrário acontece com o parâmetro

número de iterações, onde à medida que o aumentamos, o custo de alocação diminuiu, portanto, devendo estar à esquerda do valor zero do gráfico.

Quando se faz a análise para a reação do número de iterações, tem-se o comportamento conforme o Gráfico 14.

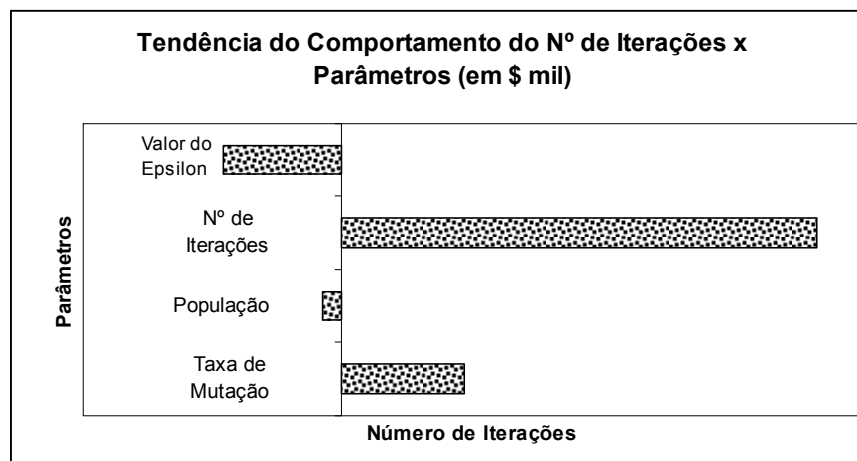


Gráfico 14 – Análise de tendência do comportamento do número de iterações versus parâmetros

Conclui-se que aumentando os valores dos limites máximos do número de iterações a serem realizadas e a taxa de mutação, o número de iterações obtidas será aumentado e, aumentando-se os valores de *epsilon* e o tamanho da população, farão o número de iterações reduzir.

Para finalizar, uma análise do tempo de convergência é realizada, conforme o Gráfico 15.

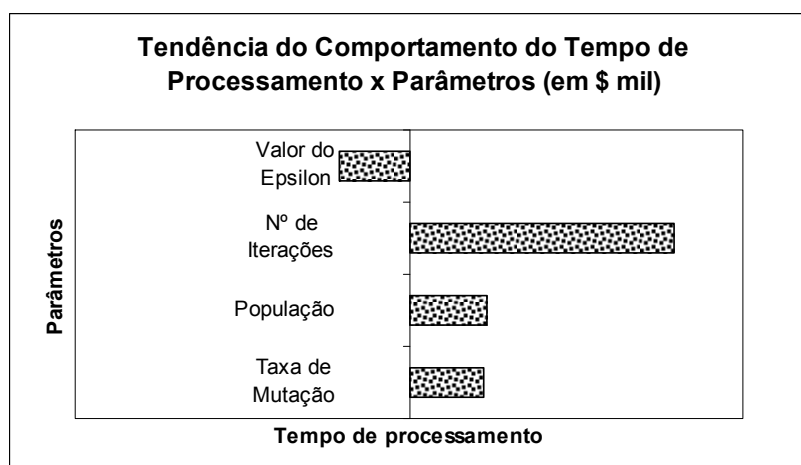


Gráfico 15 – Análise de tendência do comportamento do tempo de processamento versus parâmetros

Pode-se verificar que ao aumentar os valores dos limites máximos do número de iterações a serem realizadas, do tamanho da população e da taxa de mutação, haverá um aumento no tempo de processamento até que os resultados sejam convergidos e, aumentando o valor do *epsilon*, haverá uma redução no tempo de processamento.

A metodologia abordada pelo *software* utilizado para esta análise estatística, denomina-se Desenho Fatorial. De acordo com Box et. al (1978), para formar um desenho fatorial geral, é necessário selecionar um número fixo de ‘níveis’ para cada número de variáveis (fatores) e então realizar experimentos com todas as possíveis combinações. Deste modo será possível obter, com um menor número de experimentos, uma indicação da tendência dos resultados; o que se pôde comprovar nesta pesquisa, onde foram realizados apenas 16 experimentos utilizando esta metodologia e pôde-se chegar à mesma conclusão obtida com os testes anteriormente realizados.

Convém ainda citar que os testes realizados para o caso do Porto de Itajaí apresentaram-se satisfatórios pois foi possível alocar todos os navios planejados, e, em alguns casos houve divergência quanto ao tempo de permanência dos navios no porto, no sistema real, provavelmente devido a variáveis exógenas (tal como atraso na chegada), as quais não foram consideradas no *software* proposto.

Assim, foi realizada uma análise da diferença de alocação obtida entre o Porto de Itajaí e o proposto pelo PAB, conforme o Gráfico 16.

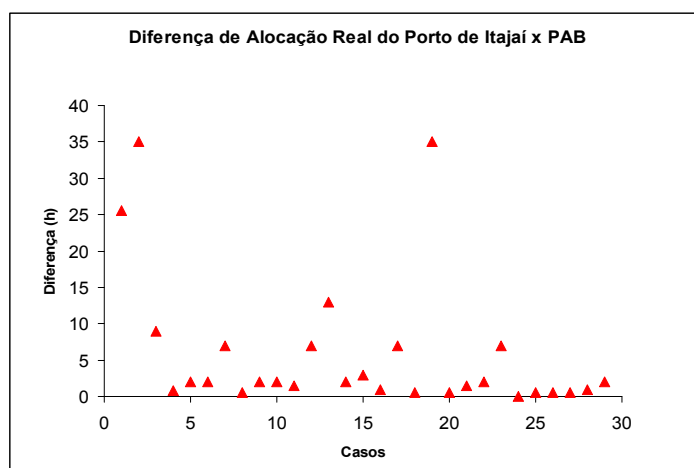
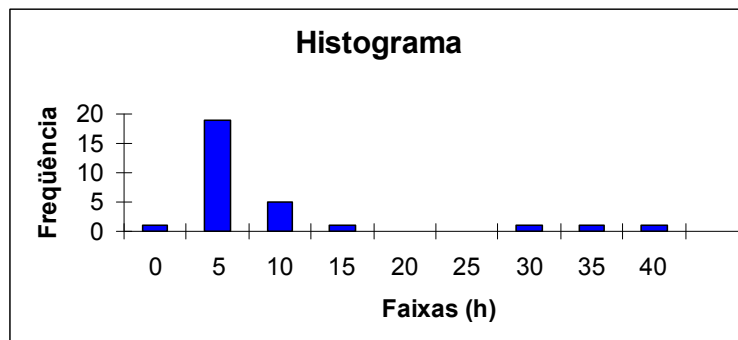


Gráfico 16 – Análise da diferença de alocação do Porto de Itajaí e o PAB

No gráfico apresentam-se os 30 casos para os quais foi analisada a diferença obtida entre o momento de atracação real do porto e do momento proposto pelo PAB. Pode-se perceber que para a maioria dos casos analisados, a diferença de alocação foi de até 5 horas de

antecipação na alocação proposta pelo PAB, ou melhor dizendo, o PAB adiantou em até 5 horas a maioria das atracções.

O Histograma 1 a seguir interpreta de um modo mais fácil o comportamento das alocações realizadas, onde aproximadamente 70% dos casos apresentaram uma diferença de alocação de até 5 horas.



**Histograma 1 – Frequência da diferença de alocação do Porto de Itajaí e o PAB**

Isto não garante a eficiência do método proposto se comparado com o sistema do Porto de Itajaí, pois para os casos testados no PAB, considerou-se que os berços estavam liberados no momento da realização do plano de atracção, sendo que na prática, em Itajaí, provavelmente havia outros navios ocupando os berços, atrasando a atracção dos navios considerados para esta análise. Porém, também não se descarta a importância do *software* proposto, uma vez que as atracções sugeridas ficaram próximas daquelas ocorridas na prática, alcançando o objetivo proposto, de redução de custos, bem como facilidade de elaboração do plano de atracção.

## 5.5 Considerações finais

Ao final deste capítulo espera-se ter apresentado de maneira prática e resumida os principais efeitos resultantes do algoritmo desenvolvido para a resolução do PAB, onde através de diversos testes foi possível chegar a resultados confiáveis quanto ao comportamento das variáveis e, desta forma, avaliar a validade do *software* proposto.

Os algoritmos genéticos mostraram-se uma ferramenta eficaz com grau de dificuldade de implementação relativamente baixo, comprovando-se útil para a resolução do problema desta pesquisa, podendo ser validado para uso nos terminais portuários.

Convém ainda citar que o modelo proposto não pôde ser comparado com os métodos implementados pelos autores utilizados como referência (Imai et. al (1994, 2001, 2003, 2005)

e Nishimura et. al (2001)), devido não ter sido possível conseguir os dados considerados para as simulações. No entanto, pode-se dizer que ambas as pesquisas se mostraram satisfatórias, possibilitando em um curto período de tempo elaborar um plano de alocação dos navios aos berços, contribuindo deste modo para a eficiência operacional portuária.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Conclusões

Sabe-se que a expansão e aperfeiçoamento dos sistemas de transportes contribuem para acelerar o desenvolvimento econômico; e o desenvolvimento econômico exige, por sua vez, como condição indispensável à continuidade do processo, a expansão e o aperfeiçoamento do sistema de transportes. Assim, frente à globalização da economia mundial, ocorre a necessidade das companhias brasileiras de navegação, num futuro próximo, redefinirem seus campos de atividade.

O que se percebe é que não é válido para os portos apenas ampliar a capacidade de transportar, renovar a frota, substituir as unidades obsoletas por unidades novas, rápidas e eficientes, mas faz-se necessário melhorar a qualidade dos serviços prestados pelo porto, no que diz respeito às atividades operacionais.

Em praticamente todos os locais, o congestionamento dos meios de transportes, incluindo o marítimo, aumentou de tal forma que há quem defenda que somente com grande disponibilidade de espaço e dispêndio de capital poderá tornar-se possível adaptar a capacidade das vias e de “nós de trânsito” à procura sempre crescente pelos transportes.

No entanto, o problema abordado nesta dissertação teve o intuito de mostrar que não é preciso grande dispêndio de capital para se resolver parte dos problemas operacionais detectados no sistema portuário, como o PAB. Através do uso das ferramentas de otimização foi possível propor um modelo computacional heurístico para auxiliar na tomada de decisão quanto à melhor alocação berço-navio a ser realizada, o qual teve um custo relativamente baixo para sua construção e mostrou-se viável para a elaboração do plano de atracação.

Para a elaboração desta dissertação foram apresentados alguns objetivos específicos e entende-se tê-los atingidos ao final da pesquisa, onde algumas contribuições teóricas e práticas foram relatadas.

Inicialmente foi relatado sobre diferentes experiências obtidas nos sistemas logísticos portuários, sejam elas nacionais ou internacionais, onde procurou-se alertar o leitor para os problemas relacionados ao transporte, mais especificamente ao marítimo, o qual ainda possui um sistema de gestão a ser incrementado de modo a tornar-se mais eficaz e rentável.



Também foi caracterizado o problema de estudo (PAB) detalhadamente, evidenciando sua importância para a melhoria na gestão operacional e, apresentado diferentes métodos encontrados na literatura que buscam solucionar este e outros problemas operacionais.

Na seqüência foi apresentado, testado e avaliado o modelo que havia sido proposto, o qual se mostrou prático e intuitivo para se operar, eficaz na alocação dos navios aos berços e com um tempo de computação relativamente baixo. Os algoritmos genéticos apresentam a vantagem de serem ágeis e flexíveis perante outros pacotes de programação não linear.

Isto mostra que a ferramenta proposta pode ter grande aplicação no sistema gestor portuário, facilitando o trabalho dos operadores logísticos, os quais realizam, na maioria das vezes, manualmente a elaboração do plano de atracação. Além disso, também propicia a redução dos erros cometidos durante esta atividade, uma vez que esta passa a ser informatizada.

## **6.2 Recomendações**

Alguns portos ainda operam na carga e descarga para diferentes tipos de mercadorias, sejam elas: contêineres (refrigerados ou não), carga à granel ou carga líquida porém há uma tendência de, em cada região, especializar-se em determinado segmento do mercado para facilitar as operações. Com isso é de se recomendar para futuros estudos a inserção dessa variável para a escolha do melhor porto/berço a ser escolhido para atracação de um dado navio.

Outra sugestão para futuros estudos é a inclusão de outros parâmetros de decisão de alocação tais como:

- a) disponibilidade de equipamento no berço a receber um dado navio para a manipulação da carga;
- b) distância a ser percorrida pela carga desde o navio até o armazém ou até o meio de transporte que será utilizado posteriormente ou, vice-versa, dentre outros.

Ao considerar a disponibilidade de equipamento adequado para a manipulação de uma dada carga de um navio, aproxima-se o modelo proposto da operação real. Esta ampliação permite tornar o problema mais variável, podendo também considerar a possibilidade de movimento dos equipamentos de um berço a outro no intuito de facilitar a operação.

Ao incluir o valor do deslocamento realizado pela carga, associado a um custo de movimentação, no sentido armazém-navio ou vice-versa, procura-se considerar um fator importante na composição do custo total de alocação, uma vez que estando a carga distante do local de seu destino, necessitará de maior tempo de deslocamento, atrasando sua manipulação

e consumindo maior quantidade de combustível, por exemplo, se for o caso de utilizar um caminhão para a realização de seu transporte.

Também é recomendado alterar o algoritmo proposto para permitir a atracação de mais de um navio em um mesmo berço para otimizar o espaço disponível, realizando uma maior quantidade de testes práticos, a fim de se aumentar a confiabilidade sobre o sistema.

## 7 REFERÊNCIAS

1. AGERSHOU, Hans. **Planning and Design of Ports and Marine Terminals**. ISBN 10: 0727732242. American Society of Civil Engineers (Thomas Telford Ltd.), 2004.
2. APPLGATE David L., BIXBY Robert E., CHVÁTAL Vasek, COOK William J. **The Traveling Salesman Problem: A Computational Study**. New Jersey: Princeton University Press, 2006.
3. BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial. Transportes, Administração de Material e Distribuição Física**. Tradução por Hugo T. Y. Yoshizaki. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1993.
4. BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2003.
5. BOX, George E. P., HUNTER, William G., HUNTER, J. Stuart. **Statistics for experimenters: an introduction do design, data analysis, and model building**. John Wiley & Sons, Inc., 1978.
6. BROWN, Gerald G., LAWPHONGPANICH, Siriphong, THURMAN, Katie Podolak. Optimizing ship berthing. **Naval Research Logistics**, v. 41, 1-15, 1994.
7. BROWN, Gerald G., CORMICAN, Kelly J., LAWPHONGPANICH, Siriphong, WIDDIS, Daniel B. Optimizing submarine berthing with a persistence incentive. **Naval Research Logistics**, v. 44, 1997.
8. CAIXETA, J. V. GAMEIRO, A. H. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001.
9. CALMON, A. Portos Brasileiros. **Revista Veja**, 2001. p. 130-131
10. CORRÊA, Henrique L., CORRÊA, Carlos A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2004.
11. CORTES, Maria Bernadete de Sousa. **Algoritmos genéticos em problemas de programação não linear contínua**. Tese de Doutorado-UFSC. Florianópolis, 1996.
12. CRUZ, M. M. C., PEREIRA, A. L. **A pré-estivagem de contêineres em terminais especializados: o estado da arte**. Anais do VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, v. 1, p. 335-343. Rio de Janeiro, 1994.
13. DAI, Jim, LIN, Wuqin, MOORTHY, Rajeeva, TEO, Chung-Piaw. **Berth allocation planning optimization in container terminal**.  
Disponível em:  
<http://www.bschool.nus.edu.sg/staff/bizteocp/berthplanningjuly2004.pdf>  
Acesso em: 03/05/07.

14. DÁVALOS, Ricardo Villarroel, STANGE, Plinio. **Uma comparação entre otimização global via algoritmos genéticos e via Gams**. Anais do congresso XXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 696-701. Florianópolis, 1994.
15. FERNANDES, Marcelo Gomes. **Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.
16. GOEBEL, Dieter. **Logística - Otimização do transporte e estoques na empresa**. Estudos em Comércio Exterior vol. I nº 1 – jul/dez 1996 (ISSN 1413-7976).
17. GOLDBARG, Marco César. LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
18. GRACIANO, Marcio Lucas. **Transporte, Integração e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, Serviço de Documentação, 1971.
19. GUAN, Yongpei; CHEUNG, Raymond K. The berth allocation problem: models and solutions methods. **OR Spectrum**. v. 26, 75-92, 2004.
20. IMAI, Akio, NAGAIWA, Ken'Ichiro, TAT, Chan Weng. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. **Journal of Advanced Transportation**. v. 31, n. 1, 75-94, 1994.
21. IMAI, Akio, NISHIMURA, Etsuko, PAPANIMITRIOU, Stratos. The dynamic berth allocation problem for a container port. **Transportation Research Part B**. v. 37, 401-417, 2001.
22. IMAI, Akio, NISHIMURA, Etsuko, PAPANIMITRIOU, Stratos. Berth allocation with service priority. **Transportation Research Part B**. v. 37, 437-457, 2003.
23. IMAI, Akio, SUN, Xin, NISHIMURA, Etsuko, PAPANIMITRIOU, Stratos. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. **Transportation Research Part B**. v. 39, 199-221, 2005.
24. JANSSON, Jan Owen, SHNEERSON, Dan. **Port economics**. October, 1982. ISBN-10: 0-262-10025-8. ISBN-13: 978-0-262-10025-0.
25. KIM, Kap Hwan, MOON, Kyung Chan. Berth scheduling by simulated annealing. **Transportation Research Part B**. v. 37, 541-560, 2003.
26. KIM, Kap Hwan, YOUNG, K. K. Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm. **Computers Industrial Engineering**. v. 36, n. 1, 109-136, Jan. 1999.
27. KOZAN, E., PRESTON, P. Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals. **International Transactions in Operational Research**, v. 6, 311-329, 1999.
28. LIM, Andrew. The berth planning problem. **Operations Research Letters**. v. 22, 105-110, 1998.

29. MANTELI, W. **Portos brasileiros: Muito a fazer, apesar dos avanços**. Revista Tecnológica, Agosto 2001, pp. 28-30.
30. MARTINS, Petrônio Garcia, LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
31. MARTINS, Marcelo Jaques, Silva, Renato Luis Cordeiro da. **Aspectos atuais da movimentação de contêineres: análises e perspectivas**. Projeto final do curso de graduação em engenharia civil. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
32. MAYERLE, Sérgio Fernando. **Um sistema de apoio à decisão para o planejamento operacional de empresas de transporte rodoviário urbano de passageiros**. Tese de Doutorado-UFSC. Florianópolis, 1996.
33. MEMOS, Constantine D. **Port Engineering**. Port Planning. J. Wiley & Sons, 2004.
34. MOON, K. C. **A mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning**. Brain Korea 21 Logistics Team, July, 2000.
35. MULATO, Fabrício Mello, OLIVEIRA, Marcio Mattos Borges de. O impacto de um sistema de agendamento antecipado de docas para carga e descarga na gestão da cadeia de suprimentos. **Revista Produção Online**. v. 6, n. 3, p. 96, set./dez., 2006.
36. NISHIMURA, Etsuko, IMAI, Akio, PAPADIMITRIOU, Stratos. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. **European Journal of Operational Research**. v. 131, 282-292, 2001.
37. NOAVES, Antônio Galvão. **Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos**. São Paulo: Editora da USP, Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.
38. NOVAES, Antônio Galvão. **Métodos de otimização: aplicações aos transportes**. Edgard Blücher: Transesp, 1978.
39. NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
40. OBITKO, Marek. Website tutorial. **Genetic algorithms with Java examples**. 1998.
41. OGLIARI, Ivair, BAGATINI, Daniela D. S., FROZZA, Rejane. Processo de alocação de recursos utilizando sistema multiagente. XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. 1066-1069, 22-29/jul., 2005.  
Disponível em: <http://www.unisinos.br>. Acesso em: 24/05/07.
42. OLIVEIRA, Carlos Tavares de. **Modernização dos portos**. 3. ed. São Paulo: Aduaneira, 2000.
43. PACHECO, Marco Aurélio Cavalcanti. **Algoritmos genéticos: princípios e aplicações**. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada. Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Fonte desconhecida.

44. PAQUETTE, Radnor J., ASHFORD, Norman J., WRIGHT, Paul H. **Transportation engineering: planning and design**. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., 1982.
45. PARK, K. T., KIM, Kap Hwan. Berth scheduling for container terminals by using a sub-gradient optimization technique. **Journal of the Operational Research Society**. V. 53, 1054-1062, 2002.
46. PARK, Young-Man, KIM, Kap Hwan. A scheduling method for berth and quay cranes. **OR Spectrum**. v. 25, 1-23, 2003.
47. PEIXOTO, João Batista. **Os transportes no atual desenvolvimento do Brasil**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1977.
48. **Pesquisa Aquaviária CNT: Portos Marítimos: Longo curso e cabotagem**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte: 2006.
49. RIOS, Leonardo Ramos. MAÇADA, Antônio Carlos Gastaud. **Seleção de variáveis para medir a capacidade de um terminal de contêiner**. Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (2002).
50. ROLIN, Serge. **El Leasing**. Ed. Pirâmide. Madrid, 1974.
51. SCHOELER, SADI. **A movimentação de cargas pesadas em portos brasileiros: dificuldades e perspectivas**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina , PPGEP, 2000.
52. SILVA, Gerardo. COCCO, Giuseppe. **Cidade e portos: os espaços da globalização**. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.
53. SIPPER, Daniel. BULFIN, Robert L. Jr. **Production: Planning, Control and Integration**. McGraw-Hill International Editions, 1998.
54. SOARES, Gustavo Luís. **Algoritmos genéticos: estudo, novas técnicas e aplicações**. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.
55. SOUZA Milanez Silva de. FAMÁ, Rubens. **Leasing como instrumento de desenvolvimento econômico**. Cadernos de Pesquisa em Administração, v. 1, n. 4, p. 62-76. São Paulo: 1º sem/1997.
56. SOUZA, Fabio Abreu Freitas. **Elaboração de um modelo de localização de cargas unitizadas agroindustriais em pátios portuários: aplicação ao caso do terminal portuário do Pecém**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2002.
57. TCHOLAKIAN, Aran B., STANGE, Plinio. **Um algoritmo para a construção de funções de pertinência via algoritmos genéticos**. Anais do congresso XXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 111-116. Florianópolis, 1994.
58. THOMAZ, A. C. F., ARRUDA, J. B. F., JÚNIOR, E. F. N. **Um modelo para construção de cenários para alocação ótima de terminais terrestres e empreendimentos industriais e de serviços em complexos portuários de terceira geração**. Anais do XIII

Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, v. 1, p. 459-469. São Carlos, 1999.

59. TOVAR, Antonio Carlos de Andrada. FERREIRA, Gian Carlos Moreira. **A infraestrutura portuária brasileira: O modelo atual e perspectivas para o seu desenvolvimento sustentado.** Revista do BNDES, v. 13, n. 25, p. 209-230. Rio de Janeiro: jun. 2006.
60. VALE, Manuel Alves do. **Portos: Abertura e Modernização.** Imbituba, 1993.
61. VALENTE, Murillo Gurgel. **A política de transportes marítimos do Brasil.** Serviço de documentação do Ministério dos Transportes, 1972.
62. WEBER, Hans Hermann. **Introdução à Pesquisa Operacional.** João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1979.

**sites:**

- Anuário Estatístico dos Transportes.  
<http://www.geipot.gov.br/anuario2001/complementar/tabelas/722.xls>  
Acesso em: 04/05/07.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 25/09/07.
- ISL Port: [http://www.isl.org/products\\_services/publications/pdf/SSYB\\_348.pdf](http://www.isl.org/products_services/publications/pdf/SSYB_348.pdf). Acesso em 29/05/07.
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior:  
<http://www.aprendendoaexportar.gov.br> . Acesso em 10/05/07
- Ministério dos Transportes: <http://www.tranporte.gov.br>. Acesso em 24/09/07
- Porto de Cingapura: <http://www.mpa.gov.sg>. Acesso em 28/07/07.
- Porto de Hong Kong: <http://www.mardep.gov.hk>. Acesso em 28/07/07.
- Porto de Roterdã: <http://www.portofrotterdam.com>. Acesso em 28/07/07.
- Revista M&T: <http://www.sobratema.org.br> . Ed. 99, fev. 2007. Acesso em 15/05/07.
- Rio Pilots: <http://www.riopilots.com.br>. Acesso em 03/09/07.
- Santos Brasil: <http://www.santosbrasil.com.br>. Acesso em 11/05/07