

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LEONARDO KOEHLER ALVES**

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO PARA MELHORAR O  
DESEMPENHO DA ALOCAÇÃO DE NAVIOS AOS BERÇOS DE  
ATRACAÇÃO EM PORTOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2016**

**LEONARDO KOEHLER ALVES**

**UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO PARA MELHORAR O  
DESEMPENHO DA ALOCAÇÃO DE NAVIOS AOS BERÇOS DE  
ATRACAÇÃO EM PORTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Everton Luiz de Melo

**PONTA GROSSA**

**2016**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO PARA MELHORAR O DESEMPENHO DA ALOCAÇÃO DE NAVIOS AOS BERÇOS DE ATRACAÇÃO EM PORTOS

por

LEONARDO KOEHLER ALVES

Este(a) trabalho de conclusão de curso foi apresentado(a) em 02 de dezembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel** em **Engenharia de Produção**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Everton Luiz de Melo  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Prof. Dr. Fabio José Ceron Branco  
Membro titular

---

Prof. Dra. Yslene Rocha Kachba  
Membro titular

## AGRADECIMENTOS

É difícil agradecer a todas as pessoas que de alguma maneira, nos momentos calmos e/ou nos apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida, portanto, primeiramente agradeço de coração a todos que estiveram comigo nessa trajetória. Desde já peço desculpas aos que não estão presentes entre essas palavras, mas certamente fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Everton Luiz de Melo, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, onde além de me orientar de maneira excelente ainda incentivou-me e apoiou-me nos momentos em que precisei. Sempre compreensível e não medindo esforços para ajudar no que fosse preciso é com certeza uma pessoa importante no presente trabalho.

Agradeço à minha mãe Valéria pelos incansáveis conselhos e também “puxões de orelha” durante toda a minha vida acadêmica. Não há palavras que descrevam meu orgulho em ter a senhora como mãe, e por isso, agradeço todos os dias por ter você comigo e pelo apoio dado em todas as decisões que tomo, sempre opinando com sabedoria, mas acima de tudo dando a liberdade da minha própria escolha.

Agradeço também à minha irmã Franciele por ser um exemplo de dedicação e esforço a ser seguido. Apesar das incontáveis brigas de irmãos estive sempre ao meu lado sofrendo junto com sua dissertação de mestrado e me mostrando que com vontade e muito estudo os trabalhos acadêmicos terminam. Agradeço também por toda a ajuda prestada para que pudesse finalizar esse trabalho da maneira mais correta possível.

Agradeço ao meu grande amigo Vitor Borsato que me acompanhou do início ao fim da graduação, seja nos momentos alegres e tristes, nas dependências e aprovações, nas festas e também nas obrigações. A quem chegou depois como meu querido amigo João Paulo Souza Perez também gostaria de agradecer por seu companheirismo de sempre. Obrigado por estarem sempre dispostos a ajudar e por terem me ensinado muitas coisas durante nossa graduação.

Aos meus amigos do vôlei foi um imenso prazer dividir as quadras com vocês e fazer parte de um time vencedor e respeitado nos campeonatos que disputamos, servindo de exemplo de dedicação, raça e união para as demais modalidades da nossa universidade.

Também parte dos amigos do vôlei, mas também dos amigos da vida gostaria de agradecer ao Vynycius Marra e ao Fernando Romanetto pela parceria formada e pela amizade que com toda certeza será longa.

Aos meus colegas de sala que com toda certeza serão ótimos profissionais e irão exercer com maestria todas as suas funções na carreira profissional.

Não poderia deixar de agradecer aos meus queridos professores que com muito zelo ministraram suas aulas da melhor maneira possível, transmitindo toda sabedoria e experiência para que pudesse ser um profissional qualificado. Em especial gostaria de agradecer a Prof. Dr. Joseane Pontes por estar presente do começo ao fim e principalmente por me ajudar a tomar decisões importantes ao final da graduação, com certeza suas palavras serão lembradas para sempre.

Agradeço também a minha querida amiga Marla Lisboa que me proporcionou a experiência incrível de um intercâmbio no Canadá. Sempre ao meu lado do início ao fim tenho a certeza que posso chamá-la de minha segunda mãe.

Enfim, agradeço a todos que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa e deste sonho de me tornar Engenheiro de Produção.

## RESUMO

ALVES, Leonardo Koehler. **Utilização de métodos de otimização para melhorar o desempenho da alocação de navios aos berços de atracação em portos.** 2016. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

Este trabalho aborda um problema do sistema portuário denominado Problema de Alocação de Berços (PAB). Dado um conjunto de berços de atracação e um conjunto de navios que precisam atracar, o PAB consiste em definir em que berço e em qual ordem cada navio deve ser alocado. O objetivo do presente trabalho é avaliar diferentes regras de priorização, empregadas em heurísticas construtivas, que possam ser utilizadas para a resolução do problema, obtendo soluções satisfatórias que atendam às necessidades dos clientes e do porto. O objeto de estudo foi o Corredor de Exportação do porto de Paranaguá-PR, a partir do qual foram coletados dados que subsidiaram os experimentos. Utilizando as filas de espera de tal porto foram elaboradas sete instâncias para o problema, as quais foram resolvidas através de quatro regras de priorização. Os resultados foram avaliados segundo três diferentes critérios: atraso, espera máxima e espera total dos navios. As análises indicam que a aplicação de diferentes regras de priorização pode permitir a obtenção de melhorias significativas, como reduções da ordem de 5% no tempo de espera total dos navios.

**Palavras-chave:** Problema de Alocação de Berços. Portos. Otimização. Regras de priorização.

## ABSTRACT

ALVES, Leonardo Koehler. **Using optimization methods to improve performance allocating ships to berths in ports**. 2016. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Federal Technology University of Paraná. Ponta Grossa, 2016.

This work addresses a problem of the port system called Berth Allocation Problem (BAP). Given a set of mooring berths and a set of ships need to dock, the PAB is to define where the cradle and in what order each vessel must be allocated. The objective of this study is to evaluate different prioritization rules employed in constructive heuristics that can be used to solve the problem, obtaining satisfactory solutions that meet customer needs and harbor. The study object was the Export Corridor of port of Paranaguá PR, from which we collected data that supported the experiments. Using queues from that port seven instances were prepared for the problem, which were resolved by four rules of prioritization. The results were evaluated according to three different criteria: delay, expected maximum and expects full of ships. The analyzes indicate that the application of different prioritization rules can allow achieve significant improvements, such as about 5% reductions in total waiting time for ships.

**Keywords:** Berth Allocation Problem. Ports. Optimization. Priority Rules.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Regras de Priorização.....	34
Quadro 2 – Diferença entre método indutivo e dedutivo.....	36
Quadro 3 – Ordenação Final Tempo de Processamento.....	46
Quadro 4 – Alocação Inicial do Berço 1.....	47
Quadro 5 – Alocação Inicial do Berço 2.....	47
Quadro 6 – Alocação ao Berço 2.....	47
Quadro 7 – Alocação ao Berço 1.....	47
Quadro 8 – Final da Alocação no Berço 1 e 2.....	48
Quadro 9 – Ordenação Final Data de entrega.....	48
Quadro 10 – Alocação de Navios nos berços.....	48
Quadro 11 – Alocação de Navios nos berços.....	49
Quadro 12 – Ordenação da regra SPT.....	49
Quadro 13 – Ordenação da regra EDD.....	50
Quadro 14 – Ordenação da regra LS.....	51
Quadro 15 – Espera máxima e Espera total.....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de produto exportado em 2011.....	20
Tabela 2 - Países importadores de produtos brasileiros em 2011 .....	22
Tabela 3 - Navios, tempo de processamento e datas de entrega.....	46
Tabela 4 – Número de navios e berços em cada instância .....	53
Tabela 5 – Atrasos totais para ordenação decrescente .....	54
Tabela 6 – Atrasos para ordenação crescente .....	55
Tabela 7 – Espera Máxima e Espera Total do Porto .....	56

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Layout Porto.....	28
Figura 2 - Tempo Total de Espera .....	29
Figura 3 – Passos do Trabalho .....	38
Figura 4- Layout Complexo Portuário de Paranaguá e Antonina.....	40
Figura 5 - Layout Porto de Paranaguá .....	41
Gráfico 1 – Quantidade de Embarcações no Brasil 2010-2014 .....	15
Gráfico 2 - Regiões brasileiras de origem exportações brasileiras em 2011 .....	21
Gráfico 3 - Espera Máxima com alocação por ordenação decrescente.....	56
Gráfico 4 - Espera Máxima com alocação por ordenação crescente.....	57
Gráfico 5 - Espera Total ordenação decrescente.....	58
Gráfico 6 - Espera Total ordenação crescente.....	59

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
APPA	Administração dos portos de Paranaguá e Antonina
PAB	Problema de Alocação de Berço
PAG	Problema de Alocação de Guindaste
PNLP	Plano Nacional de Logística Portuária
SEP/PR	Secretaria Especial dos Portos Presidência da República
SPT	<i>Shortest Process Time</i>
LPT	<i>Longest Process Time</i>
LS	<i>Least Slack</i>
EDD	<i>Earliest Date Due</i>
CORREX	Corredor De Exportação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVAS .....	14
1.1.1 Importância Econômica .....	14
1.1.2 Importância Operacional.....	16
1.1.3 Importância Acadêmica .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo Geral .....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>19</b>
2.1 TRANSPORTE MARÍTIMO .....	19
2.1.1 Tipos de navegação .....	19
2.1.2 Principais mercados Brasileiros.....	20
2.2 PORTOS .....	22
2.2.1 Principais Portos Brasileiros .....	25
2.2.1.1 Porto de Paranaguá .....	25
2.2.1.2 Porto do Rio Grande .....	26
2.2.1.3 Porto de Santos .....	26
2.3 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE BERÇOS .....	27
2.3.1 Definição do Problema .....	27
2.3.2 Formulação Matemática .....	31
2.3.3 Regras de Priorização .....	34
2.3.4 Outros métodos de resolução do problema.....	35
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
3.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	36
3.2 TIPO DE PESQUISA .....	37
3.3 TÉCNICAS DE PESQUISA .....	37
3.3.1 Documentação Indireta.....	37
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>39</b>
4.1 VISÃO GERAL DO MODELO .....	39
4.2 CARACTERÍSTICAS CONSIDERADAS NA RESOLUÇÃO .....	42
4.3 MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO – APPA.....	43
4.4 MÉTODO PROPOSTO .....	45
4.4.1 Alocação dos navios aos berços .....	46
4.4.2 Sequenciamento dos navios de cada berço.....	48
4.4.2.1 <i>Shortest Processing Time</i> .....	49
4.4.2.2 <i>Earliest Due Date</i> .....	50
4.4.2.3 <i>Longest Processing Time</i> .....	50
4.4.2.4 <i>Least Slack</i> .....	50
4.4.3 Critérios de otimização .....	51

4.4.3.1 Espera máxima .....	51
4.4.3.2 Espera total .....	51
4.4.3.3 Atraso total .....	52
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	52
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
5.1 INSTÂNCIAS UTILIZADAS.....	53
5.2 RESULTADOS E ANÁLISES.....	54
5.2.1 Resultados de atrasos .....	54
5.2.2 Resultados de espera máxima .....	55
5.2.3 Resultados de espera total .....	58
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o constante incremento de transações internacionais, percebe-se uma crescente atividade de comércio entre os países. Assim, avanços de tecnologia para a construção de novos navios com maior capacidade de carga fazem-se necessários. Como consequência, há o aumento do uso do transporte marítimo para a integração do mercado local com o mercado global.

Para o sucesso nesse tipo de transporte, exige-se a criação de sistemas capazes de escoar a produção para diferentes localidades de forma rápida e eficiente transformando, desse modo, o sistema portuário em um fator competitivo na economia de um país.

Em muitos portos ao redor do mundo, os gerentes têm como objetivo reduzir os custos através do uso eficiente dos recursos, incluído mão de obra, espaços de atracação para navios (berços), tamanho do porto e equipamentos disponíveis. Outra questão bastante importante para maximização da utilização dos recursos é a modernização das atividades, o que implica em um grande problema de tomada de decisão na gestão do complexo portuário.

Como quase todas organizações, existe no gerenciamento dos portos as decisões nos três níveis: estratégico, tático e operacional. Todos os níveis devem estar interligados e em sinergia, pois se os problemas operacionais não forem resolvidos em seu devido tempo isto pode atrapalhar o desenvolvimento da estratégia usada pela gerência.

Um dos problemas que mais ocorrem em portos é o Problema de Alocação de Berços (PAB), ou seja, o problema de tentar utilizar os berços de atracação visando atender a demanda de embarcações. De acordo com Imai et al (Transportation Research Part B, 2003), a alocação e a programação de navios a berços possui grande impacto na eficiência das operações.

O PAB estende-se também para o nível operacional, na criação de um plano de alocação dos berços aos navios que atracam no porto, fazendo com que cada navio seja alocado para seu berço a fim de realizar as atividades de carga e descarga.

Portanto, combinar da melhor maneira possível o melhor berço para atender cada navio, respeitando as restrições impostas pelo sistema, aumenta a satisfação

dos proprietários dos navios e aumenta a produtividade do porto, conduzindo a rendas mais altas para ambas as partes.

Desta forma, torna-se indispensável a busca por uma forma mais efetiva de alocação de navios, e por ser uma atividade que contém diversas informações, normalmente requer a utilização de uma técnica de otimização utilizando um algoritmo para o auxílio da determinação do melhor plano de atracação.

Baseado nisso, o presente trabalho busca identificar como utilizar métodos de otimização para melhorar o desempenho da alocação de navios aos berços.

## 1.1 JUSTIFICATIVAS

As justificativas para realização do presente trabalho são várias e se dividem em importância econômica, operacional e acadêmica.

### 1.1.1 Importância Econômica

Com a imersão do Brasil em grupos políticos de cooperação, como no caso do BRICS e do Mercosul, faz-se fundamental o desenvolvimento do sistema de transporte aquaviário e, em especial, dos portos, pelos quais a produção nacional consegue ser escoada para os outros países.

Devido ao crescimento do setor ano após ano, notou-se a necessidade de uma organização maior do sistema portuário brasileiro e em 2007 criou-se a Secretaria Especial de Portos – Presidência da República (SEP/PR). Essa nova pasta passou, então, a reger as atribuições em relação à infraestrutura marítima.

O transporte marítimo constitui uma função indispensável para atender às necessidades da movimentação dos produtos, função que se torna fundamental na comercialização de mercadorias tanto para o mercado interno quanto para o mercado externo. Para tal, pode-se analisar a importância dos portos no cenário da economia nacional através de alguns dados estatísticos.

De acordo com o Ministério dos Transportes (2015), o Brasil possui 8,5 mil quilômetros de costas navegáveis. Em 2013 o complexo portuário brasileiro

movimentou 968 milhões de toneladas de carga bruta, representando um crescimento de 4,25% em relação a 2012.

Segundo o mais recente Anuário Estatístico Portuário publicado pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, de 2014, entre os anos de 2010 e 2014 houve um aumento de 27% na movimentação de cargas na navegação de longo curso. Se for avaliada apenas a movimentação de contêineres para o mesmo período de tempo nota-se um acréscimo de 15,5%.

Quando analisado o tipo de navegação utilizada, a de longo curso é a que mais possui atividades e a maior responsável pelo crescimento dessas movimentações, com 713.629.201 toneladas. Em seguida aparece a cabotagem, com 211.748.847 toneladas de mercadorias, tanto para embarque quanto para desembarque.

No Gráfico 1 percebe-se que o número de embarcações tem crescido de forma rápida ano após ano, muito em resposta ao aumento dos volumes importados e exportados. De 2010 para 2011 a quantidade de embarcações cresceu 5,8% ao passo que em 2012 aumentou em 13,6% o número de embarcações em relação ao ano anterior. Se considerar o intervalo de 2010 – 2014 houve um aumento de 50,8%.

**Gráfico 1 – Quantidade de Embarcações no Brasil 2010-2014**



**Fonte: Anuário Estatístico Portuário – ANTAQ (2014)**

De acordo com Schoeler (2000) um dos aspectos que mais possui impacto no transporte marítimo são os altos custos operacionais. Sendo assim, qualquer melhoria obtida por meio de técnicas de otimização, por menor que seja, pode representar um ganho econômico ao sistema de modo a alavancar os lucros.



### 1.1.2 Importância Operacional

Em 2013 houve a publicação da nova Lei dos Portos, Lei nº 12.815/2013, onde coube à SEP/PR a missão de fazer o planejamento setorial em conformidade com as diretrizes da logística integrada, abrangendo tanto acessos portuários, quanto infraestrutura e desenvolvimento urbano.

A primeira iniciativa foi a construção do Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), que se tornou uma ferramenta de apoio à tomada de decisão e que busca resultados para os problemas da falta de estrutura uniforme. A partir da PNLN, a SEP/PR elabora diagnósticos e prognósticos do setor para a avaliação de cenários e propõe ações de médio e longo prazo que permitem a tomada de decisão mais eficaz.

Segundo Mantelli (2001), os portos brasileiros deram um grande avanço na busca da excelência quando compreenderam que não são apenas um ponto de transferência de mercadoria, mas sim um importante elo na cadeia logística internacional.

Portanto, percebe-se a necessidade de um planejamento operacional eficiente que aborde a alocação dos navios aos berços operantes, visto que a movimentação nos portos tem aumentado nos últimos anos e a tendência é que ela aumente cada vez mais.

### 1.1.3 Importância Acadêmica

Este trabalho pretende atuar no contexto apresentado, propondo uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão em relação ao PAB, um dos problemas encontrados na gestão portuária.

O assunto tem gerado bastante atenção por parte de pesquisadores da área de Pesquisa Operacional (RIOS; MAÇADA, 2002), visto que não há grande número de trabalhos acadêmicos relacionados ao PAB e apenas nos últimos anos o tema passou a ser trabalhado com maior frequência. Sendo assim, há uma lacuna a ser explorada visando a obtenção de resultados vantajosos para o setor.

Para este trabalho pretende-se revisar os métodos propostos na bibliografia

sobre modelos de resolução para o PAB. Devido à sua complexidade e às diversas variáveis envolvidas, serão abordados alguns tópicos que permitirão a apresentação de um modelo matemático para a resolução do problema.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho se dividem em objetivo geral e objetivos específicos conforme descrito abaixo.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Como observado, o PAB é uma atividade portuária indispensável e também uma oportunidade capaz de alavancar os ganhos do sistema. Para tal, é importante utilizar o auxílio de ferramentas computacionais que garantam possíveis melhorias devido ao grande número de informações e variáveis presentes.

Sendo assim, o trabalho tem como objetivo geral propor abordagens para melhorar o desempenho do porto levando em consideração o problema de atracação de navios com regras de priorização.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- a) Identificar, em linhas gerais, como se encontra atualmente o sistema logístico portuário;
- b) Identificar a relevância da alocação de berços no sistema portuário;
- c) Caracterizar o PAB a ser estudado; e
- d) Implementar métodos que possam melhorar o desempenho do porto em relação à alocação de berços aos navios.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo foi estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1, primeiramente, está presente a contextualização do tema abordado, as justificativas de abordagem do tema e os objetivos geral e específicos. O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica a respeito do tema, mostrando conceitos e abordagens para a problemática. Além disso, tal capítulo faz uma contextualização sobre transporte marítimo e portos com o intuito de situar o leitor a respeito do problema central. O Capítulo 3 apresenta a metodologia a ser utilizada no desenvolvimento do presente trabalho. No Capítulo 4 estão dispostos uma breve descrição do problema, os modelos e as regras de priorização utilizados para resolução do problema inicial. No Capítulo 5 são apresentadas e feitas as análises dos resultados e por fim o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentados conceitos e informações sobre o transporte marítimo e sobre portos. Também é feita a descrição do problema de estudo, o PAB.

### 2.1 TRANSPORTE MARÍTIMO

O comércio internacional tem crescido de forma acelerada nos últimos anos e, nesse cenário, o volume de cargas transportadas pelo modal marítimo está ganhando destaque. Portanto, o porto faz-se um elo importante entre os modais terrestre e marítimo (VIEIRA, 2006).

Segundo o Estatístico Aquaviário de 2014, produzido pela Agência Nacional de Transportes Aquaviário (ANTAQ), o número de embarcações está em uma crescente. A tendência é que esse número continue a crescer durante os próximos anos, conforme o Gráfico 1, o que ocorre muito em decorrência do aumento de importações e exportações. Esses dados confirmam as afirmações de Vieira (2006), de que o número de cargas transportadas via modal marítimo está aumentando.

#### 2.1.1 Tipos de navegação

Para a ANTAQ (2013) a navegação pode ser dividida em quatro principais tipos: longo curso, navegação interior, cabotagem e apoio marítimo:

**Longo curso:** é definida como a navegação realizada entre portos brasileiros e portos estrangeiros utilizando a via marítima;

**Navegação interior:** é a realizada em hidrovias interiores, sendo elas nacionais ou internacionais. Essas hidrovias podem ser lagos, rios, canais, lagoas, baías, enseadas, angras e áreas marítimas que são consideradas abrigadas;

**Cabotagem:** pode ser definida como a navegação que é realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando tanto vias marítimas como vias de navegação interior; e

**Apoio marítimo:** têm-se caracterizado como sendo a navegação realizada tanto para apoio logístico a outras embarcações quanto para fazer instalações em águas territoriais nacionais.

### 2.1.2 Principais mercados Brasileiros

Segundo Serra et al (2012), com auxílio da ANTAQ, as exportações brasileiras no ano de 2011 que utilizaram as vias marítimas para o transporte das cargas corresponderam a cerca de 515 milhões de toneladas. Naquele ano esse volume representou aproximadamente 58% do total movimentado nas instalações portuárias brasileiras. As exportações do Brasil tem uma base muito forte em transações que envolvem *commodities* minerais e alimentícios, com destaque para o minério de ferro, a soja e o farelo de soja, o açúcar e o milho. Na Tabela 1 são fornecidos dados a respeito das exportações brasileiras.

**Tabela 1 - Porcentagem de produto exportado em 2011**

Tipos de Carga	Carga Bruta (t)	%	% Acumulada
Minério de Ferro	320.880.845	62,3	62,3
Contêineres	36.765.912	7,1	69,4
Soja	35.508.919	6,9	76,3
Açúcar	22.557.634	4,4	80,7
Combustíveis e Óleos Minerais	20.802.549	4,0	84,7
Farelo de Soja	11.121.437	2,2	86,9
Produtos Siderúrgicos	10.073.539	2,0	88,9
Milho	9.175.367	1,8	90,7

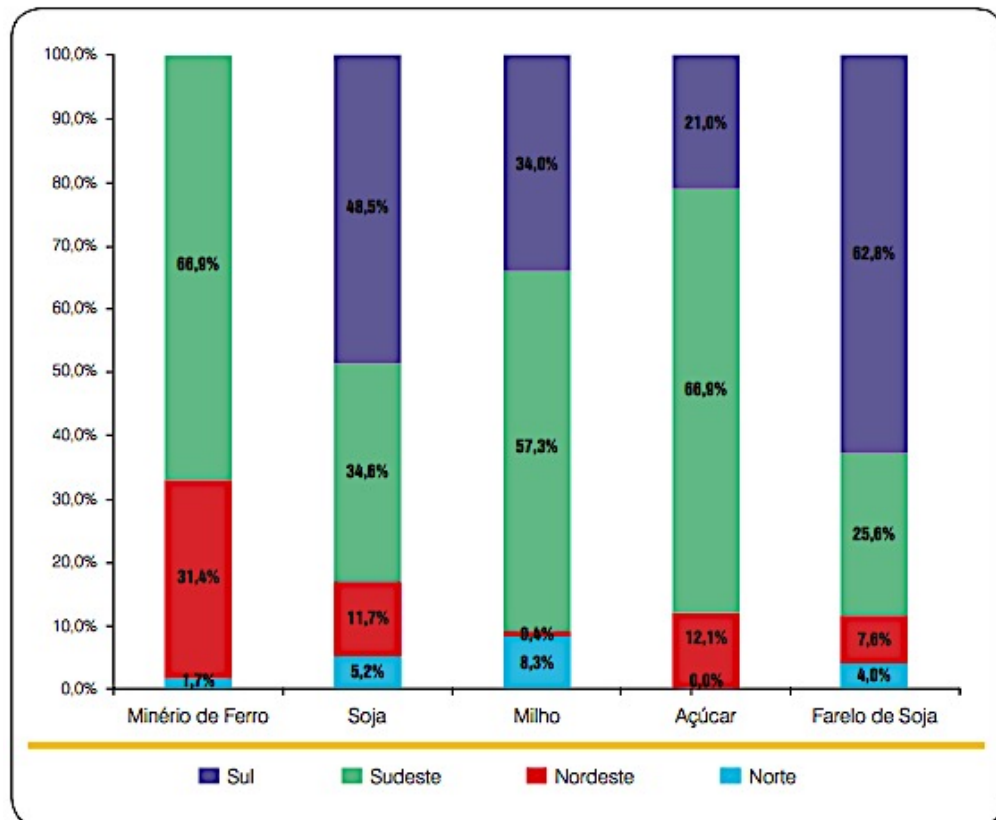
Fonte: SIG/ANTAQ (2012)

Conforme a Tabela 1, se considerarmos também as exportações de combustíveis e óleos minerais, produtos containerizados e produtos vindo da indústria siderúrgica, têm-se uma gama de produtos que atingiu 90% do total exportado pelo Brasil em 2011.

No Gráfico 2, encontrado em Serra et al (2012), as exportações são estratificadas por região do país.

Pelo Gráfico 2 é possível identificar quais são as principais regiões de exportações para os *commodities*. O minério de ferro é predominantemente exportado pela região Sudeste do Brasil, onde o Terminal de Uso Privativo de Tubarão é o mais utilizado para o escoamento de tal produto.

**Gráfico 2 - Regiões brasileiras de origem exportações brasileiras em 2011**



Fonte: Serra et al e ANTAQ (2012)

Já em relação à soja, é possível verificar no Gráfico 2 que as exportações estão concentradas nas regiões Sul e Sudeste. Cabe acrescentar que nessas regiões se destacam, respectivamente, os portos de Paranaguá (43,3% das exportações da região Sul) e de Santos (80% das exportações da região Sudeste).

Ainda de acordo com o Gráfico 2 para o farelo de soja é natural que o cenário seja parecido com as exportações de soja, com predominância das regiões Sul e Sudeste. Porém nesse item a região Sul aumenta a porcentagem de exportação em relação a Sudeste. O porto de maior destaque para esse tipo de produto continua sendo o de Paranaguá (56,6% das exportações da região Sul).

As exportações de açúcar são escoadas, na sua grande maioria, pela região Sudeste, devido em parte ao fato do estado de São Paulo ser o grande produtor de cana do Brasil. O destaque de escoamento dessa região também fica com o porto de Santos, que exporta praticamente toda a produção da região.

Para o milho novamente a região Sudeste se destaca como a maior exportadora do Brasil, sendo que o porto de Santos movimentava cerca de 86,5% do volume desse grão de toda a região.

Ainda de acordo a ANTAQ, nota-se na Tabela 2 os principais destinos das exportações brasileiras no mesmo ano.

**Tabela 2 - Países importadores de produtos brasileiros em 2011**

País	Carga Bruta (t)	%	% Acumulada
China	194.127.344	37,7	37,7
Holanda	42.647.354	8,3	46,0
Japão	40.742.863	7,9	53,9
Estados Unidos	12.317.070	4,1	58,0
Coreia do Sul	19.149.239	3,7	61,7
Itália	13.668.236	2,7	64,4
Espanha	12.237.747	2,4	66,8
França	11.558.137	2,3	69,1
Argentina	9.235.310	1,8	70,9

Fonte: SIG/ANTAQ (2012)

Observando-se a Tabela 2 é possível perceber que existe uma forte concentração para países como: China, Japão e Coreia do Sul no oriente; Holanda, Itália, Espanha e França como representantes de Europa; e Estados Unidos e Argentina como os principais países da América. Juntos esses nove países representaram quase 71% do mercado consumidor de produtos brasileiros.

## 2.2 PORTOS

Para Arruda e Bastos (2000) um porto operacionalmente eficaz é aquele que, além de estabelecer tarifas justas e competitivas, também atende às necessidades dos clientes. Nesse contexto, o que de fato interessa para os clientes é o custo total e a eficiência das operações portuárias.

Fleury (1998) já afirmava que as maiores oportunidades de redução de custos de transportes estavam ligadas às operações portuárias. Para comprovar a fala de Fleury, com o constante crescimento das transações internacionais mostrados anteriormente, esse tema vem ganhando destaque nos estudos mais recentes.

Os portos então são considerados centros de serviços de valor agregado e parceiros na montagem de serviços de logística em âmbito internacional. Além disso, também assumem um papel de fomento das exportações e importações na política macroeconômica dos governos (GOEBEL, 2004).

Ainda segundo Goebel (2004), a posição estratégica que os portos possuem no sistema de transporte e no comércio internacional está pautada em três premissas:

- O porto é o ponto de início e o ponto de término do transporte marítimo, sendo o modal de transporte que movimenta a maior quantidade de carga em volume ao longo da cadeia de transporte;
- É possível definir estratégias dentro das operações portuárias que minimizem os custos de produção reduzindo o tempo gasto em movimentações desnecessárias de carga; e,
- No comércio internacional o porto é o maior e mais importante ponto de interconexão dos modos de transporte, sendo também um importante centro de informação.

Nota-se também que os portos podem ser divididos em três gerações distintas segundo seu grau de evolução (GOEBEL, 2004). A primeira aconteceu antes dos anos 1960, quando os portos possuíam sistemas de informação, documentação e estatísticas próprios, ou seja, não tinham qualquer compatibilidade com os sistemas dos usuários. Nessa primeira geração as principais movimentações envolviam cargas a granel e a estratégia de desenvolvimento era conservadora. Havia atividades de baixo valor agregado, sendo que as principais eram carga, descarga, armazenagem, serviço de navegação, disponibilização de cais para atracação e abastecimento dos navios.

Na segunda geração, após os anos 1960, a compreensão quanto às funções dos portos passou a ser mais ampla por parte dos governos, autoridades e fornecedores de serviços portuários. Essa compreensão fez com que os portos fossem considerados mais que apenas centros de serviço de transporte, mas também como centros industriais e comerciais. As atividades se tornaram mais integradas e baseadas na estratégia de desenvolvimento expansionista. Na segunda geração, além das atividades da primeira geração, o porto também realizava a transformação das cargas que estão vinculadas aos navios.

Nos portos de terceira geração os responsáveis pelo gerenciamento associam os portos como uma parte da rede de distribuição internacional, tendo uma visão e uma atitude bem diferentes das gerações anteriores. Essa geração representa os anos após 1980 e tem como principais cargas as que são



containerizadas. Sua estratégia é orientada ao comércio e existe o foco de ser um centro de transporte integrado e uma plataforma logística. Portanto, além do fluxo de cargas, também ocorre a distribuição de informações para toda a cadeia.

Especificamente no Brasil, a história portuária teve dois grandes marcos. O primeiro ocorreu em 1993, com a criação da Lei nº 8.630/1993, também conhecida como a Lei de Modernização dos Portos. Segundo Araújo (2013), tal lei apresenta uma visão privatizante e, a partir disso, surgiram os arrendamentos de terminais privados, as figuras do operador portuário, do órgão gestor de mão de obra e do comando único da operação portuária. Para Goebel (2004), os objetivos principais da Lei de Modernização dos Portos são: gerar recursos para o governo através da privatização dos portos; incentivar a concorrência entre portos e terminais, com o intuito de reduzir custos; obter maior eficiência; e acabar com o monopólio dos trabalhadores portuários.

O segundo grande momento ocorreu em 2007, com a criação da Secretaria Especial de Portos, onde consolidou-se um novo modelo de gestão do setor portuário. Com a revogação de leis e decretos, contribuiu-se para que o setor deixasse de ser visto como uma questão de segundo plano para se formar uma visão que o posiciona como importante para o desenvolvimento do país.

Para Araújo (2013), a modernização portuária exige uma atualização em seu marco regulatório, bem como, um forte investimento em infraestrutura e equipamentos. Os investimentos devem contemplar construções, ampliações e modernizações, sempre visando uma melhor qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente ao redor das instalações portuárias.

Portanto, uma gestão ambiental mais rigorosa faz-se necessária como um diferencial em relação aos outros portos, visto que dentro de um mercado que trabalha com certificação ambiental, os portos que possuem ações sustentáveis tendem a obter êxito frente aos demais.

O desenvolvimento do sistema portuário brasileiro tem apresentado alternâncias entre a participação do estado e da iniciativa privada no processo operacional, incluindo os investimentos e a delegação de serviços e instalações (ARAÚJO, 2013).

Sendo assim, nesse ambiente um porto deve operar de forma eficiente (HANSEN et al, 2007). É de grande importância para incrementar a competitividade de um terminal portuário o investimento na modernização dos processos

administrativos que dão suporte às operações portuárias, processos esses que podem ser considerados como programação de cargas, navios, serviços e autorizações (GOEBEL, 2004).

## 2.2.1 Principais Portos Brasileiros

Atualmente no Brasil, segundo a SEP/PR, existem 37 portos organizados. Nesses portos estão incluídos os que possuem administração exercida pela União (Companhias Docas) e os portos que são delegados a municípios, estados ou consórcios públicos. No primeiro quadrimestre de 2015 a movimentação de cargas nos principais portos brasileiros registrou um aumento em comparação ao mesmo período do ano anterior.

Pode-se destacar como principais portos de entrada e saída de mercadorias os portos de Paranaguá-PR, Rio Grande-RS e Santos-SP.

### 2.2.1.1 Porto de Paranaguá

O porto de Paranaguá-PR é o maior porto do estado do Paraná, sendo considerado o grande escoador dos produtos e *commodities* produzidos na região. A exportação de soja no mês de abril de 2015 bateu o recorde histórico de movimentação de cargas, segundo a SEP/PR. Ao longo do mês o porto escoou 1,476 milhões de toneladas de soja, superando em 2% o recorde anterior, que era de 1,447 milhões de toneladas no mês.

Ainda segundo a SEP/PR, essa marca é resultado do aumento da produtividade das operações de grãos no porto. Esse recorde foi o principal responsável pelo aumento das exportações gerais do porto, exportações que em relação ao mesmo mês do ano anterior tiveram alta de 7%.

Segundo a Companhia de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná no primeiro quadrimestre de 2016 a movimentação de cargas no porto de Paranaguá cresceu 16,2% em relação ao mesmo período do ano anterior, isso acontece porque com uma infraestrutura melhor o porto consegue atender a demanda de outros estados do Brasil além do Paraná.

Para o Corredor de Exportação o porto de Paranaguá apresentou um aumento de 38% no volume embarcado no período que compreende de janeiro a março de 2016, movimentando um total de 8,58 milhões de toneladas.

O porto é administrado pela autarquia estadual Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina. Como um dos principais acessos tem-se a BR-277, que liga Paranaguá a Curitiba e conecta a BR-116 ao interior do estado. O acesso ferroviário é feito pela Malha Sul na ferrovia Rumo Malha Sul S.A. Para acesso marítimo o porto possui três canais, sendo eles: o canal do Norte, o canal do Sudeste, e o principal, que é o canal da Galheta.

#### 2.2.1.2 Porto do Rio Grande

O porto do Rio Grande-RS compreende três áreas distintas para atendimento à navegação, denominadas: porto velho, que possui sete áreas de atendimento à navegação; porto novo, que possui onze berços de atracção e 7 áreas de atendimento portuário; e superporto, onde o atendimento à navegação é feito por meio de treze áreas.

No primeiro quadrimestre de 2015 o porto do Rio Grande movimentou 10,4 milhões de toneladas de cargas, considerando tanto a carga geral quanto granel sólido ou granel líquido.

A administração do porto é feita pela Superintendência do Porto do Rio Grande, localizada nas margens do canal que liga a Laguna dos Patos ao oceano Atlântico. Como acesso rodoviário possui a BR-392, que alcança também as rodovias BR-471, BR-116 e BR-293. Para o acesso ferroviário têm-se a Malha Sul, que é operada pela Rumo/ALL. Como acesso marítimo o porto possui um canal navegável para cada uma das três áreas mencionadas.

#### 2.2.1.3 Porto de Santos

O porto de Santos é o maior porto da América Latina. Com 35,82 milhões de toneladas operadas no primeiro quadrimestre de 2015, o porto de Santos superou em 3,58% a até então melhor marca de movimentação de cargas da história, que foi

verificada em 2013. Desse total, o principal responsável foi a carga de exportação, totalizando 24,99 milhões de toneladas, o que representa 70% do total apurado.

Segundo a SEP/PR, o valor das cargas operadas por Santos no primeiro quadrimestre de 2015 atingiu a marca de US\$32,6 bilhões, o que representa uma participação de 25,8% do comércio promovido pelos portos brasileiros.

A administração do porto é feita pela Companhia Docas do Estado de São Paulo e o acesso também pode ser feito por rodovias, ferrovias e canais marítimos. O acesso ferroviário pode ser feito pelas rodovias SP-055, SP-150, SP-160, sistema Anchieta-Imigrantes, Piaçaguera-Guarujá e BR-101. Para o acesso ferroviário tem-se as malhas Paulista e Sudeste através das ferrovias M.R.S. Logística S.A e Rumo, respectivamente. Além disso o porto conta com uma malha ferroviária para o trânsito de vagões próprios dentro do seu espaço. O acesso marítimo é franco pela parte marítima e também pela parte do estuário.

O porto de Santos ainda conta com fornecimento próprio de energia elétrica, sendo que a linha do cais, os armazéns e os pátios possuem iluminação, possibilitando operações no período noturno. Alguns terminais de contêineres e alguns pátios ainda contam com tomadas para ligar possíveis contêineres frigoríficos. Com essas facilidades o porto opera 24 horas por dia continuamente, mesmo em fins de semana e feriados.

## 2.3 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE BERÇOS

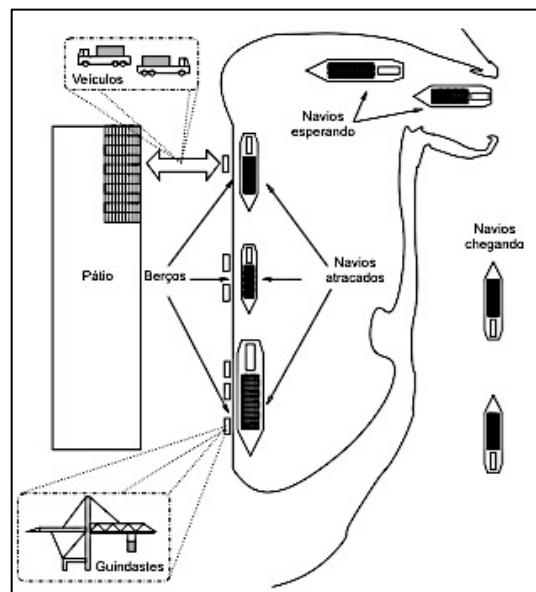
### 2.3.1 Definição do Problema

Dentre os diversos problemas que ocorrem em portos, um que merece atenção é o problema de alocação dos navios aos berços, o PAB. Isso porque o problema pode ser interpretado e modelado para que uma solução viável e de qualidade seja encontrada. Para isso, considera-se o problema de espaço nos berços para os navios como sendo o PAB (GUAN et al, 2004). A programação e a alocação de navios em berços possuem um impacto primário na eficiência das operações portuárias (IMAI et al, 2003).

Para Nishimura et al (2001), em grandes portos a maioria dos berços de atracação de navios é arrendada, ou seja, os operadores dos navios alugam os berços para fazer o processamento de contêineres a fim de alcançar maior produtividade. Portanto, nesse cenário torna-se indispensável a minimização do tempo de realização dessa tarefa, visto que o tempo para manipular um navio pode variar em relação a outro e isso pode implicar em maiores ou menores custos ou lucros.

De acordo com Fernandes (2001), os navios que chegam ao porto devem atracar em um berço que esteja livre ou em um berço que seja mais conveniente, caso não haja um berço livre ou adequado. Para tal operação o navio se destinará para um fila de navios que estão aguardando para serem atracados, conforme ilustra a Figura 1.

**Figura 1 - Layout Porto**



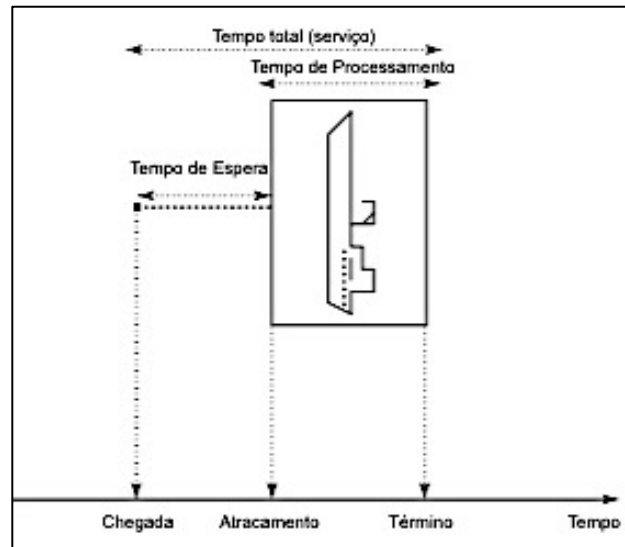
**Fonte: Cordeau et al (2005)**

Entretanto essa fila de espera não é interessante para os donos de navios, pois com o navio parado o tempo de viagem aumenta e o número de viagens diminui, o que significa diminuição de rentabilidade.

Na Figura 2 a variável tempo fica evidenciada mostrando como funciona o tempo total de espera dos navios durante sua estadia no porto. Nela (Figura 2) temos representado que o tempo total de operação dos navios é o tempo em que eles esperam para serem atracados somado ao tempo de processamento do próprio

navio. O tempo de processamento é o tempo exigido para que o navio realize seu processo de carga ou de descarga e seja liberado para desatracar do berço.

**Figura 2 - Tempo Total de Espera**



Fonte: Adaptado de Cordeau et al (2005)

Kim et al (2003) defendem que geralmente os gerentes dos portos programam o uso dos berços utilizando algum método intuitivo de tentativa e erro, sempre baseado em um quadro de programação. Porém, esse método pode significar um tempo grande gasto para que se ache uma solução considerada boa. Além disso essa solução pode não ser um ótimo global (melhor solução possível dentre todas as viáveis) e nem sequer um ótimo local.

Segundo Moon (2000) o problema é caracterizado pela determinação dos momentos de atracação e das posições de atracação dos navios no terminal portuário. Para Cordeau et al (2005), os gerentes possuem duas decisões inter-relacionadas: definir quando e onde os barcos devem atracar. Ainda de acordo com Cordeau et al (2005), o horizonte de planejamento de atracação dos navios é de uma semana.

O PAB pode ser tratado de maneira discreta se o cais for visto como um conjunto finito de berços. Desse modo os berços podem ser descritos como segmentos de comprimento fixo ou, se a dimensão de espaço for ignorada, um berço pode ser considerado apenas como um ponto. Caso o problema seja tratado de maneira contínua, os navios podem atracar em qualquer posição do cais. Nos

casos discretos, o PAB pode ser considerado como um problema de programação em máquinas paralelas, onde cada berço é considerado uma máquina e cada navio é considerado uma tarefa a ser processada (IMAI et al, 1999).

O PAB também pode ser modelado como um problema de roteamento de veículos com múltiplas garagens e janelas de tempo (LEGATO et al, 2001), com os navios sendo considerado como veículos e os berços sendo considerados como garagens. Para Kim e Moon (2003) o PAB é um problema NP-Difícil, o que significa que não são conhecidos métodos eficientes para sua resolução em tempo de execução aceitável.

Para entender melhor o problema, deve-se determinar algumas variáveis importantes. Moon (2000) cita o fato de que um navio necessita de um espaço no berço para descarregar e carregar durante um período de tempo e, por isso, o tempo de duração da atividade e o tempo de chegada do navio são fundamentais na modelagem do problema. Segundo o mesmo autor, o tamanho das cargas a serem descarregadas e carregadas e a localização da estocagem também são considerados importantes.

Brown et al (1994) ainda citam outros fatores, como a profundidade e o comprimento do berço. Nishimura et al (2001) reforçaram a preocupação com a profundidade, fazendo um alerta para que o navio a ser atracado não ultrapasse a profundidade da água do berço ao qual foi alocado.

A localização de atracação que possui menor custo é onde o centro do navio se encontra na posição média da carga que vai ser carregada para o navio. Assim, posições de atracação são preferidas de acordo com alguns fatores como: diferentes níveis de ondas, contratos que necessitem de berços que contenham transportadores e o espaço mínimo requerido para um navio (KIM et al, 2003).

Cordeau et al (2005) defendem que o tempo de processamento merece uma discussão mais detalhada devido ao fato de depender também de outra variável de decisão relacionada. Para ocorrer o atendimento ao navio, por muitas vezes é necessária a utilização de guindastes, mas o número de guindastes também é limitado. Portanto, em alguns trabalhos da literatura é possível observar que primeiro é feita a alocação dos guindastes para, em seguida, se fazer a alocação dos navios. Isso acontece porque o terminal precisa atingir algumas metas contratuais com os clientes. O número de guindastes alocados para cada navio depende do tamanho do navio e de sua prioridade em relação aos outros.

A decisão de alocação de guindastes é conhecida como Problema de Alocação de Guindastes (PAG) (MAURI et al, apud LEE et al, 2008). De acordo com Mauri et al (2008), em um porto com transferência de carga o processo de tomada de decisão é feito de uma maneira hierárquica onde o PAG é resolvido antes do PAB.

### 2.3.2 Formulação Matemática

Na literatura existem diversas formulações matemáticas para a resolução do problema. Cada qual considera de seu modo as variáveis de decisão. Em alguns casos, penalidades são adicionadas caso ocorram atrasos.

Dentre as várias formulações matemáticas, a de Imai et al (2001) se destaca por ser uma das pioneiras e apresentar dois modelos diferentes para resolução do PAB. Tal modelagem foi primeiramente desenvolvida para o modelo estático do problema, ou seja, considera que a alocação de cada navio aos berços ocorre somente após a chegada de todos os navios ao porto.

Posteriormente Imai et al (2001) resolveram o mesmo problema utilizando o método dinâmico, o que significa que o momento de chegada de cada navio é conhecido antes dos mesmos chegarem ao porto. Assim os navios não chegam antes dos berços estarem disponíveis para sua atracação. Apesar desse modelo mostrar-se eficiente, outras variáveis são impostas ao sistema, como, por exemplo, um possível adiantamento do navio ou até mesmo um atraso na chegada ao porto.

Para a formulação estática define-se a variável binária  $x_{ijk}$  para identificar se o navio  $j$  é atendido como  $k$ -ésimo navio no berço  $i$ . A formulação de Imai et al (2001) é apresentada a seguir.

#### **Parâmetros:**

$i(1, \dots, I) \in B$	Conjunto de berços;
$j(1, \dots, T) \in V$	Conjunto de navios;
$k(1, \dots, T) \in O$	Conjunto de ordens de serviço;
$S_i$	Tempo em que o berço $i$ torna-se disponível para o planejamento da alocação de berços;



$A_j$	Tempo de chegada do navio $j$ ;
$C_{ij}$	Tempo de processamento do navio $j$ no berço $i$ ;

**Variáveis:**

$x_{ijk}$	Assume valor 1, se o navio $j$ é atendido como $k$ -ésimo navio no berço $i$ , e 0, em caso contrário.
-----------	--

Para isso, o conjunto de navios e o conjunto de serviços possuem o mesmo número de elementos  $T$ , pois a solução apresenta todos os navios atendidos por um berço.

**Função-objetivo:**

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

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V; \quad (2)$$

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

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O. \quad (4)$$

Nesse modelo a função-objetivo (1) minimiza a soma dos tempos de espera e de processamento. ( $S_i \geq A_j$ , para todo  $i$  e todo  $j$ , devido ao fato do navio sempre chegar antes da liberação do berço). Outro ponto importante da função-objetivo é que o tempo de processamento  $C_{ij}$  tem como ponderação  $(T-k+1)$ . Essa ponderação é resultado de que o tempo de processamento  $C_{ij}$  de um navio atendido pelo berço  $i$  também contribui para o tempo de espera dos navios subsequentes no mesmo berço. Dessa forma o tempo de espera de um navio é o tempo de manipulação dos navios que estão alocados antes dele no berço considerado, somado ao tempo de manipulação dele. Com essa formulação a alocação de um navio não precisa ser necessariamente programada em ordem consecutiva.

A restrição (2) garante que todo navio deve ser atendido em um berço em alguma ordem de atendimento. Ou seja, todos os navios devem ser atendidos e apenas uma única vez.

A restrição (3) assegura que todos os berços atendam, no máximo, apenas um único navio de cada vez. A restrição (4) define  $x_{ijk}$  como binária.

Para o caso do PAB dinâmico considera-se que cada navio não chega ao porto antes do respectivo  $S_i$  e que os momentos de chegadas são conhecidos antecipadamente. Com essas premissas o problema pode ser formulado, de acordo Imai et al (2001), como segue:

### Parâmetros:

$P_k$	Subconjunto de $O$ tal que $P_k = \left\{ \frac{p}{p} < k \in O \right\}$ ;
$W_i$	Subconjunto de navios com $A_i \geq S_i$ ;
$y_{ijk}$	Intervalo de tempo disponível do berço $i$ entre a partida do $k-1$ ésimo navio e a chegada do $k$ -ésimo navio quando $j$ está sendo atendido como $k$ -ésimo navio;
$S_i$	Tempo em que o berço $i$ torna-se disponível para o planejamento da alocação de berços;
$A_j$	Tempo de chegada do navio $j$ ;

### Variáveis:

$C_{ij}$	Tempo de processamento do navio $j$ no berço $i$ .
----------	--

### Função-objetivo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} \{(T - k + 1) \cdot C_{ij} + S_i - A_j\} \cdot x_{ijk} + \sum_{i \in B} \sum_{j \in V} \sum_{k \in O} (T - k + 1) \cdot y_{ijk} \quad (5)$$

### Sujeito a:

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in O} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V; \quad (6)$$

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

$$\sum_{i \in V} \sum_{m \in P_k} (C_{il} x_{ilm} + y_{ilm}) + y_{ijk} - (A_j - S_i) \cdot x_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O; \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O; \quad (9)$$

$$y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V, k \in O. \quad (10)$$

Nesse modelo matemático a função-objetivo (5) minimiza o tempo total de espera e de processamento para cada navio. Já a restrição (8) assegura que os navios somente devem ser atendidos após a sua chegada ao porto.

Considera-se então que as variáveis  $C_{ij}$ ,  $A_i$  e  $S_i$  têm valores inteiros e que a variável  $y_{ijk}$  assume valores inteiros quando indica a relação de precedência entre a chegada de um navio e o atendimento desse mesmo navio. Sendo assim, a variável  $y_{ijk}$  é a diferença de tempo entre o instante de início do atendimento do navio  $j$  e a partida do seu navio predecessor imediato.

### 2.3.3 Regras de Priorização

As regras de priorização usadas para problemas de *scheduling* são classificadas em regras locais e em regras globais. Regras de prioridade locais são aquelas que necessitam de informação apenas sobre as tarefas que estão esperando para serem atendidas em uma máquina. Por outro lado, regras de priorização global necessitam de informações adicionais das tarefas que estão esperando em mais de uma máquina (HUNSUCKER, 1992). Como o PAB pode ser visto como um problema de programação de tarefas, a utilização de regras de prioridade é uma alternativa para sua resolução.

Normalmente os navios são atendidos de modo que o primeiro que chega é o primeiro a ser atendido e, conseqüentemente, é o primeiro que sai. Isso assegura que o tempo total de espera do navio no porto seja minimizado. Porém, se a ordem de chegada for ignorada, o tempo total que os navios ficam no porto pode ser reduzido. Entretanto alguns navios podem ter seu tempo de espera maior do que outros navios (IMAI et al, 2001).

Conforme o Quadro 1, existem seis regras de priorização básicas e que são consideradas como priorização local (HUNSUCKER, 1992). Além dessas, pode haver outras priorizações mais específicas, como, por exemplo, a adição de punição para tarefas atrasadas ou até mesmo pagamento de multas.

**Quadro 1 - Regras de Priorização**

FIFO ( <i>First-In-First-Out</i> )	Seleciona a tarefa que entra por primeiro na fila para ser a primeira tarefa a ser atendida.
LIFO ( <i>Last-In-First-Out</i> )	Seleciona a última tarefa que entra na fila para ser a primeira a ser atendida.
SPT ( <i>Shortest-Processing-Time</i> )	Seleciona a tarefa que requer o menor tempo de operação para ser a primeira a ser atendida.

LPT ( <i>Longest-Processing-Time-First</i> )	Seleciona a tarefa que possuir o maior tempo de operação para ser a primeira tarefa a ser atendida.
MWR ( <i>Most-Work-Remaining-First</i> )	Seleciona a tarefa que possui o maior trabalho para ser atendida como primeira da fila.
LWR ( <i>Least-Work-Remaining-First</i> )	Seleciona a tarefa que possui o menor trabalho para ser a primeira tarefa a ser atendida.

Fonte: Adaptado de Hunsucker (1992)

#### 2.3.4 Outros métodos de resolução do problema

Conforme a revisão bibliográfica realizada, diversos métodos e heurísticas foram propostos para resolução do PAB.

Rodrigues et al (2012) basearam-se na meta-heurística *Simulated Annealing* (SA) para resolver um problema que é modelado como um Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplas Garagens e Janelas de Tempo.

Lopes (2011) propôs uma abordagem baseada na aplicação do método *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) de maneira integrada com o método *Path Relinking* (PR).

Imai et al (2001) consideram o problema de forma dinâmica e contínua. Posteriormente Imai et al (2003) passaram a considerar prioridades no atendimento dos navios em sua abordagem, sendo que nos dois casos os autores propuseram um Algoritmo Genético para gerar soluções.

Cordeau et al (2005) utilizaram Busca Tabu para a resolução do problema. Cheong et al (2008) apresentaram o método *Multiobjective Evolutionary Algorithm*. Mauri et al (2008a) utilizaram uma heurística baseada no SA para resolver o problema. Posteriormente Mauri et al (2008b) propuseram uma meta-heurística híbrida utilizando o Algoritmo de Treinamento Populacional junto com um modelo de Programação Linear utilizando a técnica de Geração de Colunas.

Oliveira et al (2010) utilizam os métodos *Clustering Search* (CS) com SA para resolver o PAB.

### 3 METODOLOGIA

No presente capítulo é apresentado o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Lakatos e Marconi (1991) existem, além dos métodos específicos das Ciências Sociais, mais quatro métodos que podem ser aplicados em trabalhos acadêmicos. Entre os métodos podem-se destacar os métodos indutivo e dedutivo.

Lakatos e Marconi (1991) afirmam que existem duas diferenças básicas entre esses dois tipos de métodos, que podem ser exemplificadas no Quadro 2.

**Quadro 2 - Diferença entre método indutivo e dedutivo**

<b>Indutivo</b>	<b>Dedutivo</b>
Se todas as premissas são verdadeiras, a conclusão é provavelmente verdadeira, mas não necessariamente verdadeira.	Se todas as premissas são verdadeiras, a conclusão deve ser verdadeira.
A conclusão encerra informação que não estava, nem implicitamente, nas premissas.	Toda a informação ou conteúdo fatural da conclusão já estava, pelo menos implicitamente, nas premissas.

**Fonte: Lakatos e Marconi (1993)**

No quadro 2 é demonstrado a diferença entre o método de pesquisa indutivo onde se a proposição é verdadeira então a conclusão tende a ser verdadeira também, mesmo que informação desejada não esteja implícita nas proposições. Já para o método dedutivo se a premissa é verdade então a conclusão deve ser verdadeira e a informação desejada já estava implícita na premissa inicial.

O presente trabalho é caracterizado como método indutivo, pois observa-se um fenômeno e interfere-se que algo pode ser generalizado. Ou seja, se o estudo pode ser aplicado em determinado porto, também pode ser aplicado para outros portos com as mesmas características do objeto de estudo.

## 3.2 TIPO DE PESQUISA

O presente trabalho caracteriza-se pelo tipo de pesquisa exploratória, pois são feitas investigações de pesquisa com o objetivo de propor hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente estudado e clarificar conceitos em relação ao Corredor de Exportação do porto de Paranaguá. Nesse tipo de pesquisa pode-se utilizar vários procedimentos para coleta de dados, como entrevista, observação participante, técnicas probabilísticas de amostragem e muitas vezes ocorre a manipulação de uma variável independente para descobrir quais são os seus potenciais efeitos.

## 3.3 TÉCNICAS DE PESQUISA

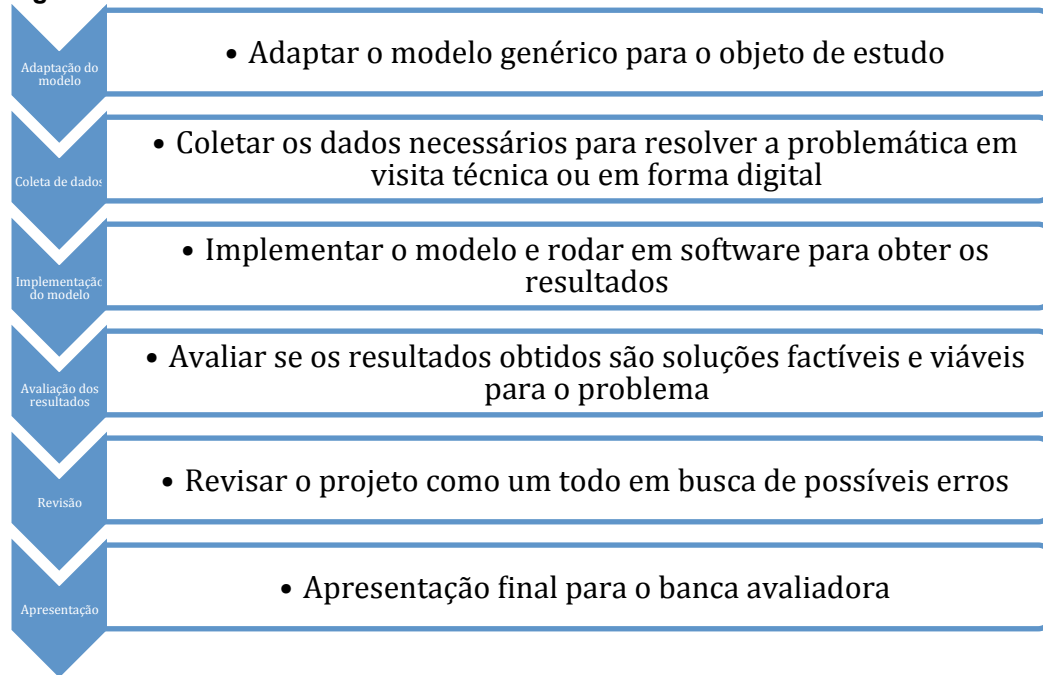
### 3.3.1 Documentação Indireta

Como documentação indireta realizou-se a revisão bibliográfica sistêmica de artigos e trabalhos acadêmicos para criação de um banco de dados qualificado. Esse banco de dados qualificado foi obtido através de pesquisas com palavras chaves destacadas no trabalho. Posteriormente aplicou-se um filtro com a data de publicação dos trabalhos e depois houve um filtro de qualificação com relação à qualidade das revistas em que os trabalhos foram publicados.

Outra fonte de documentação indireta foi a busca por referências que os trabalhos encontrados citam. Ao buscar essas referências, se constrói uma árvore de referências, onde uma leva a outras.

Arquivos públicos e fontes estatísticas foram acessados em páginas da internet que trazem dados sobre o tema pesquisado. Sites de portos e sites especializados sobre o tema também foram acessados para se levantar a movimentação de cargas e navios.

Os passos do desenvolvimento do trabalho são ilustrados na Figura 3.

**Figura 3 – Passos do Trabalho**

**Fonte: O Autor (2015)**

Conforme a Figura 3 demonstra o trabalho foi dividido em seis grandes etapas, partindo da adaptação do modelo da literatura para contemplar os objetivos do trabalho até a apresentação final para a banca avaliadora. Cada etapa pode ser dividida em partes menores para sua realização. Além disso pode acontecer de uma etapa precisar ser revisada após uma etapa subsequente.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentada uma visão geral sobre o objeto de estudo, onde envolve o porto em que foi estudado, as características que foram consideradas na resolução do trabalho, os métodos utilizados para realizar a priorização no porto e um demonstrativo de como foi elaborado o algoritmo para contrapor os resultados do porto.

### 4.1 VISÃO GERAL DO MODELO

Como objeto de estudo utilizou-se o porto de Paranaguá devido à sua relevância econômica para o estado e por ser um porto com características mais alinhadas à proposta do presente trabalho.

O porto de Paranaguá, por unir sua localização estratégica com uma das melhores infraestruturas da América Latina, tornou-se um dos mais importantes centros de comércio marítimo do mundo. As principais cargas movimentadas em Paranaguá são:

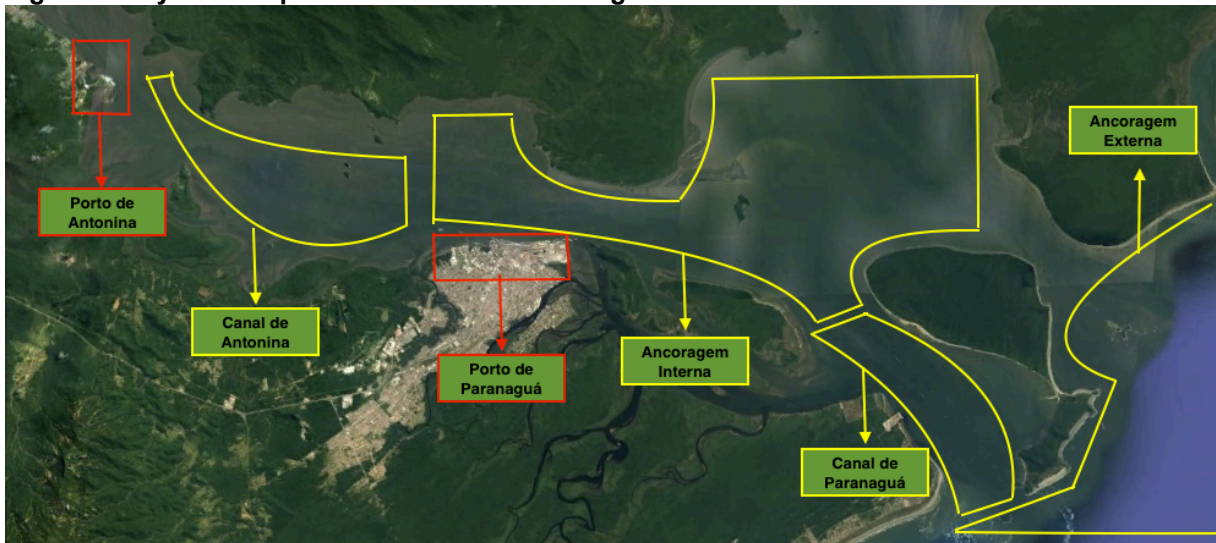
- Soja;
- Farelo de soja;
- Óleo Vegetal;
- Milho;
- Sal;
- Açúcar;
- Fertilizantes;
- Contêineres;
- Congelados;
- Derivados de petróleo;
- Álcool; e
- Veículos.

Além de ser um importante centro comercial, é o maior porto graneleiro da América Latina. Sua história começou no antigo atracadouro de Paranaguá, em 1872, com a administração de particulares. Batizado de Dom Pedro II, em



homenagem ao Imperador do Brasil, em 1917, sua inauguração com status de porto aconteceu em 17 de março de 1935, com a atracação do Navio “Almirante Saldanha”. A partir de então o Governo do Paraná passou a administrar o Porto de Paranaguá, que recebeu melhorias que possibilitaram sua ascensão a maior Porto sul-brasileiro. O posicionamento do porto na costa do estado do Paraná pode ser observado na Figuras 4.

**Figura 4- Layout Complexo Portuário de Paranaguá e Antonina**



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016)

Na Figura 4 pode-se observar através de uma imagem de satélite como é o layout do complexo portuário de Paranaguá e Antonina, demonstrando como é a estrutura dos canais de acesso e os pontos de ancoragem para os navios. Na Figura 5 é apresentado o layout do porto.

Na Figura 5 tem-se o layout do porto de Paranaguá, mostrando onde ficam os berços públicos da APPA destinados para grãos e contêineres, o terminal da Fospar que é o terminal de fertilizantes e o terminal de líquidos que envolve óleo de soja e combustível. Para o terminal de líquidos existem atualmente quatro berços de atracação. Na parte de berços públicos da APPA têm-se treze berços disponíveis, sendo que três deles são para o terminal de contêineres e veículos, um para cargas frigoríficas e os outros nove para movimentação de carga sólida a granel e geral. Desses treze berços públicos três estão localizados no chamado Corredor de Exportação (CORREX).

**Figura 5 - Layout Porto de Paranaguá**



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016)

A intenção da pesquisa, respeitando as restrições impostas no PAB, é encontrar a melhor solução possível para o caso estudado. Dessa forma, com o intuito de encontrar soluções que conduzam ao melhor desempenho do porto, utilizou-se o conceito de otimização, o qual envolve um mecanismo de análise de decisões complexas.

Porém a qualidade das análises depende da correta seleção de variáveis e valores para utilizar no problema. Quando tenta-se representar um problema real encontra-se uma dificuldade muito grande devido ao fato de ser necessário descobrir todas as variáveis e restrições e suas respectivas interações. Sendo assim, para a otimização busca-se uma boa aproximação dos modelos desenvolvidos em relação aos problemas reais.

Para o presente trabalho considera-se o sistema do porto de Paranaguá como estático, ou seja, os navios apenas são considerados aptos para atracação quando eles já estão no porto e com seu plano de carga aprovado.

Analisando o Corredor de Exportação no porto de Paranaguá pode-se dizer que o número de berços e equipamentos disponíveis é limitado perante o fluxo de navios e quantidades de cargas que são movimentadas. Portanto faz-se necessário um bom sequenciamento para o atendimento dos navios para que o processo ganhe agilidade e para que os navios sejam atendidos da maneira mais rápida possível, consequentemente liberando espaço para novos navios atracarem.

Para o presente trabalho não se levou em consideração o custo de estadia de um navio no porto, visto que esse valor varia de navio para navio dependendo do

seu porte e da carga que o mesmo irá movimentar. Desta forma está sendo considerado que todos os navios possuem o mesmo valor de diária quando parado no porto de Paranaguá, não importando a ordem de atendimento dos navios para esse critério.

Porém, na prática, os diversos tipos de embarcações possuem diferentes custos de diária, sendo que a estadia de um navio de grande porte deve custar mais que a estadia de um navio de pequeno porte e, por isso, poderia ser melhor atendê-lo primeiro. No porto de Paranaguá os navios que chegam para ser atendidos possuem como valor médio de diária US\$ 25.000,00.

Sendo assim, neste trabalho, serão consideradas algumas características identificadas como as mais relevantes para resolução do PAB no modelo estático, viabilizando a implementação de um método que gere bons resultados delimitando como objeto de estudo o Corredor de Exportação do porto.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS CONSIDERADAS NA RESOLUÇÃO

Com o intuito de retratar da melhor maneira possível o funcionamento do porto quanto ao plano de atracação, faz-se necessário determinar alguns fatores que são pertinentes ao problema para que esse o modelo se aproxime da situação real.

No porto de Paranaguá são cobradas várias taxas para os envolvidos nas tarefas de carregar e/ou descarregar os navios. Dentre essas taxas pode-se citar como mais importantes as taxas referentes à atracação do navio, à movimentação de cargas no terminal e também tarifas referentes à utilização da infraestrutura do porto. Essas taxas são cobradas por períodos em que o navio está atracado, sendo que cada período corresponde a 8h. Caso o navio, por exemplo, fique atracado por 12h serão cobradas taxas referentes a um período inteiro somado à parte proporcional ao restante de horas, visto que o mesmo não utilizou dois períodos completos. Como o foco do trabalho é o melhor sequenciamento na alocação de berços, tais custos não serão considerados.

Outros fatores importantes para realizar a atracação dos navios são referentes ao comprimento, calado e profundidade dos berços. Estes devem ser compatíveis com os navios a serem atendidos. Também deve-se analisar a

disponibilidade de equipamentos apropriados para cada tipo de navio, o tempo de manutenção dos equipamentos e dos berços, o volume de carga a ser movimentada pelas embarcações e também a produtividade dos berços disponíveis para a atividade.

No porto de Paranaguá os três berços disponíveis para atracação no corredor de exportação possuem o mesmo comprimento e a mesma profundidade. Portanto nessa situação o PAB pode ser analisado como sendo um problema de máquinas paralelas idênticas no qual os berços são as máquinas e os navios a serem atendidos são as tarefas. Os navios que chegam ao porto apresentam dimensões compatíveis com os berços e os equipamentos disponíveis atendem a todos os tipos de navios.

Outro ponto bastante importante é a restrição temporal. É necessário considerar o momento de chegada dos navios ao porto e também o momento de liberação dos berços para que o navio seja direcionado. Por liberação do berço entende-se o momento em que o navio atracado libera o berço. Contudo, na prática, os portos acrescentam um tempo para a próxima atracação no mesmo berço. O porto de Paranaguá considera esse intervalo como sendo de 30 minutos e é o tempo necessário para que o berço seja preparado para a nova atracação, reposicionando equipamentos e realocando mão de obra disponível. Além disso também é feita a limpeza das correias transportadoras a serem utilizadas.

Para esta pesquisa levou-se em consideração o tempo de espera dos navios no referido porto, visto que mesmo com o sistema de *line up* os navios esperam, normalmente, de 45 a 60 dias para serem atendidos. O trabalho ainda procurou considerar os potenciais atrasos associados a cada navio do conjunto de navios do *line up*.

#### 4.3 MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO – APPA

Sendo o maior porto graneleiro da América Latina, o número de navios que chegam ao porto de Paranaguá para realizar suas atividades, sejam elas de carregamento ou de descarregamento, é muito grande, e os berços públicos disponíveis para tais atividades ficam sobrecarregados. Por isso a APPA determinou

algumas regras de priorização para selecionar qual navio será atracado primeiramente.

Para os navios destinados ao Corredor de Exportação, são realizadas reuniões regulares de segunda-feira à sexta-feira pelo período da manhã para definir e atualizar o *line up* dos navios habilitados para a atracação, *line up* que deverá conter preferencialmente apenas 18 navios.

Dessa maneira, o navio só será considerado habilitado para ingressar no *line up* do Corredor de Exportação após a confirmação das nomeações de cargas pelos terminais que integram o plano de carga do navio e também após possuir todas as condições operacionais para atracação devidamente atendidas (limpeza, vistorias, ordem de atracação, etc.). Alterações nos totais programados entre os terminais embarcadores somente são permitidas no limite de 10% da carga do navio e somente podem ser realizadas com no mínimo de 24 horas de antecedência em relação à chamada do navio, sendo apontadas nas reuniões de atualização do *line up*.

Na reunião diária, a medida em que os primeiros navios forem sendo programados serão chamados novos navios para completar o "limite" de 18 navios. A sequência de chamada segue o ordenamento de chegada de navios ao porto conforme ordem cronológica de chegada.

Caso o navio apresente algum impedimento e solicite sua retirada do *line up*, o mesmo voltará à sua posição original na fila de chegada no porto e, ao retornar ao *line up*, ocupará o final da fila.

Atualmente o CORREX possui três berços de atracação: 212, 213, e 214. Havendo disponibilidade operacional para os três berços algumas regras de preferência serão aplicadas não havendo ordem de prioridade entre elas, conforme descrito a seguir.

Para o berço 213, terão preferência sobre os demais navios aqueles que apresentarem:

- uma consignação superior a 50 mil toneladas de grãos de um único produto; ou
- até três consignações superiores a 18 mil toneladas por terminal, sendo apenas um único produto a ser movimentado; ou

- uma consignação mínima de 54 mil toneladas ou duas consignações por terminal não inferiores a 18 mil toneladas e que totalizem o requisito de 54 mil toneladas, desde que operem com duas linhas.

Para os berços 212 e 214 terão preferência os navios que apresentarem:

- três consignações superiores a 18 mil toneladas de qualquer produto; ou
- uma consignação mínima de 54 mil toneladas ou duas consignações por terminal não inferiores a 18 mil toneladas e que totalizem o requisito de 54 mil toneladas, desde que operem com duas linhas.

#### 4.4 MÉTODO PROPOSTO

Este trabalho busca propor um algoritmo rápido que possa fornecer bons resultados para o problema estudado. Partindo do pressuposto em que o porto trabalha com alocação estática, o algoritmo implementado é capaz de analisar uma lista de navios (lista do *line up*) com suas informações sobre tempo de processamento, data de entrega e espera mínima do navio no porto, ou seja, o tempo que o navio já esperou até ser incluído ao *line up* e estar apto a ser alocado. O algoritmo também é capaz de analisar as informações dos berços verificando a disponibilidade dos mesmos e, assim, fazendo as alocações dos navios.

A lista de navios não necessariamente é composta pela ordem de chegada dos mesmos, visto que os mesmos já estavam ordenados pelo porto. O presente trabalho busca, então, uma maneira de reordená-los e encontrar uma melhor solução para o problema. Para tanto o algoritmo tem como critério para alocação verificar o último momento de liberação de um berço e, em seguida, direcionar o próximo navio da sequência para que seja alocado no berço liberado.

O método proposto trabalha em duas etapas: alocação e sequenciamento. Na etapa de alocação, cada navio do *line up* é designado a um berço. Na etapa de sequenciamento os navios anteriormente designados a cada berço são sequenciados. A seguir são descritas essas duas etapas.

#### 4.4.1 Alocação dos navios aos berços

Inicialmente o algoritmo ordena todos os navios do *line up* em ordem decrescente de tempos de processamento. Então, nessa ordem, cada navio é alocado a um berço que esteja disponível. Desse modo são alocados primeiramente os navios com maiores tempos de processamento. Cada vez que um navio é alocado a um berço, o tempo de ocupação de tal berço é atualizado. Cada navio a ser alocado é direcionado sempre ao berço que apresentar, naquele momento, o menor tempo de ocupação. Esse processo de alocação segue até que todos os navios estejam alocados a algum berço.

Para ilustrar a utilização o método usado na alocação é apresentado um exemplo a partir de uma lista de 5 navios para os quais são considerados 2 berços. Os tempos de processamento e as datas de entrega dos navios são indicados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Navios, tempo de processamento e datas de entrega**

Navio	Tempo de Processamento	Data de Entrega
1	30	35
2	28	42
3	33	36
4	29	30
5	27	46

Fonte: O Autor (2016)

A partir dos valores da Tabela 3 busca-se mostrar o processo de alocação dos navios aos berços. Primeiramente os navios são ordenados do maior tempo de processamento para o menor tempo de processamento. O Quadro 3 mostra a lista de navios já ordenada.

**Quadro 3– Ordenação Final Tempo de Processamento**

Navio	3	1	4	2	5
Tempo de processamento	33	30	29	28	27

Fonte: O Autor (2016)

Após a ordenação dos navios segundo seus tempos de processamento em ordem não crescente, é feita a alocação deles aos berços. Inicialmente os dois berços têm tempo de ocupação igual a zero. Então a alocação acontece de maneira

que o primeiro navio listado seja alocado ao primeiro berço disponível e que o segundo navio seja alocado ao outro berço, conforme revelam os Quadros 4 e 5.

**Quadro 4 – Alocação inicial ao Berço 1**

Navio	Tempo de Processamento	Tempo de Ocupação do Berço 1
3	33	33

Fonte: O Autor (2016)

**Quadro 5 – Alocação inicial ao Berço 2**

Navio	Tempo de Processamento Navio	Tempo de Ocupação do Berço 2
1	30	30

Fonte: O Autor (2016)

Então, a partir do valor do tempo de ocupação do berço é feita a segunda rodada de alocações. O berço que tiver o menor valor de tempo de ocupação recebe o próximo navio, como mostram os quadros 6 e 7.

**Quadro 6 – Alocação ao Berço 2**

Navio	Tempo de Processamento Navio	Tempo de Ocupação do Berço 2
1	30	30
4	29	59

Fonte: O Autor (2016)

O berço 2 possui um valor de ocupação menor em relação ao berço 1 e, por isso, recebe o próximo navio da lista, o navio 4.

**Quadro 7 – Alocação ao Berço 1**

Navio	Tempo de Processamento	Tempo de Ocupação do Berço 1
3	33	33
2	28	61

Fonte: O Autor (2016)

Em seguida, o berço 1 passa a ter o menor tempo de ocupação e, assim, recebe o navio 2. Esse processo se repete até que todos os navios estejam alocados em algum berço.

Como o valor do tempo de ocupação do Berço 2 é menor que o do Berço 1, o último navio será alocado no berço 2, sendo terminada a alocação do exemplo em questão. As alocações dos berços 1 e 2 são representadas no quadro 8.

**Quadro 8 – Final da alocação no Berço 1 e 2**

Berço 1			Berço 2		
Navio	Processamento	Tempo de Ocupação	Navio	Processamento	Tempo de Ocupação



3	33	33	1	30	30
2	28	61	4	29	59
			5	27	86

Fonte: O Autor (2016)

Alternativamente, a ordenação inicial dos navios do *line up* pode ser feita em função da maior data de entrega em vez do maior tempo de processamento. Para os mesmos valores o exemplo utilizando a ordenação dos navios em ordem não crescente da data de entrega é mostrada no Quadro 9.

**Quadro 9 – Ordenação Final Data de Entrega**

<b>Navio</b>	5	2	3	1	4
<b>Tempo de processamento</b>	46	42	36	35	30

Fonte: O Autor (2016)

A partir da ordenação do Quadro 9, a alocação é realizada conforme descrito anteriormente, iniciando com os berços possuindo tempos de ocupação iguais a zero e resultando na configuração de alocação do Quadro 10.

**Quadro 10 – Alocação de navios nos berços**

<b>Berço 1</b>			<b>Berço 2</b>		
Navio	Processamento	Data de entrega	Navio	Processamento	Data de Entrega
5	27	46	2	28	42
1	30	35	3	33	36
			4	29	30

Fonte: O Autor (2016)

Depois de feita a alocação dos navios em seus respectivos berços utilizou-se 4 diferentes regras de priorização para alterar o sequenciamento dos navios de cada berço.

#### 4.4.2 Sequenciamento dos navios de cada berço

Finalizadas as alocações, tem início o sequenciamento dos navios alocados em cada berço. Nesse processo os navios não são trocados de berço, mas somente são feitas alterações no sequenciamento dos navios de cada um dos berços. As alterações no sequenciamento são realizadas de acordo com uma das regras de priorização utilizadas.

A seguir serão descritas as regras de priorização utilizadas após a alocação dos navios nos berços, ou seja, na segunda parte da resolução do problema.

#### 4.4.2.1 Shortest Processing Time

O primeiro método utilizado foi à regra de priorização SPT. Nesse método, depois de todos os navios serem alocados em seus berços de atracação, os navios de cada berço são novamente ordenados do menor tempo de processamento para o maior tempo de processamento. Nessa configuração busca-se priorizar os navios que demandam menor tempo para carregar, independente do produto que irão manipular no porto e do tempo de chegada dos mesmos. Seguindo o exemplo apresentado na subseção anterior, tem-se a seguinte configuração de navios nos berços 1 e 2, conforme a Quadro 11.

**Quadro 11 – Alocação de navios aos berços**

Berço 1			Berço 2		
Navio	Processamento	Data de entrega	Navio	Processamento	Data de Entrega
3	33	36	1	30	35
2	28	42	4	29	30
			5	27	46

Fonte: O Autor (2016)

Aplicando a ordenação segundo a SPT em cada um dos berços, os navios são ordenados de forma contrária ao que foi obtido antes da alocação, com a solução ficando conforme o que se apresenta no Quadro 12.

**Quadro 12 – Ordenação da regra SPT**

Berço 1			Berço 2		
Navio	Processamento	Data de entrega	Navio	Processamento	Data de Entrega
2	28	42	5	27	46
3	33	36	4	29	30
			1	30	35

Fonte: O Autor (2016)

Para o exemplo utilizado, o atraso total foi de 102 Unidades de Tempo (UT), sendo 25 UT de atraso dos navios do berço 1 e 77 UT dos navios do berço 2.

#### 4.4.2.2 *Earliest Due Date*

O segundo método proposto reordena os navios dentro dos berços a partir da menor data de entrega. Nesse método são priorizados os navios que apresentam menor tempo disponível para realizar suas atividades e desatracarem. A partir da solução da Quadro 10, apresentada em seção anterior, a ordenação final do berço no método EDD é demonstrada no Quadro 13.

**Quadro 13 – Ordenação da regra EDD**

Berço 1			Berço 2		
Navio	Processamento	Data de entrega	Navio	Processamento	Data de Entrega
1	30	35	4	29	30
5	27	46	3	33	36
			2	28	42

Fonte: O Autor (2016)

Para esse método o atraso total foi de 85 UT, sendo 11 para o berço 1 e 74 para o berço 2.

#### 4.4.2.3 *Longest Processing Time*

O método LPT é o método oposto ao SPT, e por isso, entende-se que os navios com tempo de processamento mais longos são os primeiros a serem alocados nos berços.

Para o método LPT, não se faz necessário reordenar os navios dentro dos berços. Portanto para o seguinte método os navios estão ordenados conforme mostra o Quadro 11. Têm-se como valor de atraso para entrega dos navios 88 unidades de tempo. No berço um teve 19 unidades e no berço dois 69 unidades de tempo.

#### 4.4.2.4 *Least Slack*

Essa regra de priorização busca sequenciar os navios com menor folga entre os navios da fila. A folga pode ser definida como o valor de tempo entre a data de entrega e o tempo que o navio leva para realizar suas atividades. Para ordenar

os navios de um berço, a regra obtém, para cada navio, sua data de entrega e subtrai desse valor o tempo de processamento do mesmo navio. O navio que possuir o menor valor de folga é o primeiro a ser atracado no berço. Para essa regra de priorização o resultado da ordenação está descrito no Quadro 14, totalizando 83 UT de atraso sendo que o berço um ficou com 19 UT e o berço dois com 64 UT.

**Quadro 14 – Ordenação da regra LS**

<b>Berço 1</b>			<b>Berço 2</b>		
Navio	Processamento	Data de entrega	Navio	Processamento	Data de Entrega
3	33	36	4	29	30
2	28	42	1	30	35
			5	27	46

Fonte: O Autor (2016)

#### 4.4.3 Critérios de otimização

No presente trabalho foram considerados três critérios de otimização: espera máxima, espera total e atraso. Tais critérios são detalhados a seguir.

##### 4.4.3.1 Espera máxima

A espera de um navio no porto pode ser definida como o tempo que um navio fica no porto até que o mesmo desatraque do berço e saia para seu destino. Para fazer esse cálculo é utilizado o tempo em que ele espera no porto até chegar a sua vez de atracação somado ao seu tempo de processamento, conforme mostra a Figura 2. Dessa forma a espera máxima pode ser definida como o maior tempo de espera que um navio possui no porto, com o valor obtido através do trabalho é possível comparar com o tempo do navio que mais esperou pelo sequenciamento do porto.

##### 4.4.3.2 Espera total

Outra análise realizada no trabalho é a espera total dos navios, espera essa que é a soma de todas as esperas individuais. Essa análise possibilita mostrar que com uma sequência diferente na hora de atender os navios pode-se obter resultados

em que o conjunto de navios espera menos tempo. Essa análise é realizada descartando a questão de custo e lucro para o porto.

Para ilustrar as duas esperas analisadas e com base nos exemplos apresentados, temos o Quadro 14 que apresenta os seguintes resultados de espera máxima e espera total:

**Quadro 15 – Espera Máxima e Espera Total**

	Espera Máxima	Espera Total
SPT	86	258
EDD	90	268
LPT	86	269
LS	86	268

Fonte: O Autor (2016)

#### 4.4.3.3 Atraso total

Quando se analisa o atraso total no trabalho estamos nos referindo ao somatório dos atrasos individuais. Para os somatórios individuais de cada navio o modelo proposto utiliza 24UT como sendo um dia, portando se o navio pela fila do porto for o segundo navio a atracar sua data de espera será de 48UT e a cada UT após esse período já é computado como sendo atraso.

## 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo buscou-se apresentar de maneira sucinta como é feita a alocação dos navios para, posteriormente, definir o sequenciamento dos mesmos.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e suas respectivas análises, demonstrando se os resultados são positivos ou negativos em relação ao que o porto apresentou. Todos os resultados abaixo estão em horas.

### 5.1 INSTÂNCIAS UTILIZADAS

Para o presente trabalho utilizou-se sete instâncias geradas a partir de dados reais de navios que atracaram ao porto de Paranaguá. Esses dados são do período de 11/09/2015 a 23/03/2016 e se referem a navios que realizaram operações de carregamento de grãos (soja e milho) e de farelo de soja.

Os dados foram coletados com o cuidado de evitar que a mesma viagem de um mesmo navio figurasse em duas ou mais instâncias.

As sete instâncias utilizadas possuem configurações com dois ou três berços, ou seja, com todos os berços do corredor de exportação disponíveis para operação ou com um berço parado para manutenção. As instâncias possuem uma variação de dezoito a vinte navios conforme o *line up* do dia no qual a coleta foi considerada.

Na Tabela 4 são mostradas as quantidades de navios e de berços que cada uma das 7 instâncias possui.

**Tabela 4 – Número de navios e berços em cada instância**

Instância	Número de Navios	Número de Berços
1	18	2
2	18	3
3	18	3
4	20	3
5	19	3
6	18	3
7	18	3

Fonte: O Autor (2016)

Como forma de obter resultados mais precisos em menor tempo utilizou-se a linguagem C e o programa de desenvolvimento DevC++.

A seguir serão feitas as análises dos resultados obtidos através das regras de priorização utilizadas no presente trabalho, incluindo considerações sobre os

resultados obtidos pelo porto. Todas as análises foram mensuradas tendo horas como a unidade de medida de tempo.

## 5.2 RESULTADOS E ANÁLISES

As 7 instâncias foram aplicadas aos métodos anteriormente apresentados, sendo que dois deles são baseados no tempo de processamento, um é baseado na data de entrega e outro na diferença entre data de entrega e processamento. Seus resultados são medidos em função de atrasos, esperas máximas e esperas totais.

### 5.2.1 Resultados de atrasos

Primeiramente, na Tabela 5, são mostrados os somatórios dos atrasos obtidos por cada regra de priorização pela ordenação decrescente dos tempos.

Para a análise do atraso total não há comparação com os atrasos no porto visto que para cada dia de atraso a APPA muda a programação alterando a data da possível atracação no informativo do *line up*. Portanto não há como saber precisamente os dias e horas de atraso para o porto.

**Tabela 5 – Atrasos totais para ordenação decrescente**

Instância	SPT	EDD	LPT	LS
1	533	0	633	0
2	343	0	323	0
3	222	0	445	0
4	225	0	417	13
5	290	12	418	0
6	321	0	474	82
7	329	0	293	0

Fonte: O Autor (2016)

Dessa maneira, a partir dos resultados apresentados por meio da Tabela 5 é possível analisar qual a melhor regra de priorização para o problema de alocação berços em relação ao atraso total. Pelos resultados obtidos, nota-se que priorizar navios pela data de entrega é muito mais vantajoso que ordená-los através dos tempos de processamento, visto que os dois métodos que utilizam a data de entrega

(EDD e LS) apresentaram resultados muito superiores aos que utilizam os tempos de processamento (SPT e LPT).

Podemos observar que as regras de priorização EDD e LS obtiveram, para a grande maioria das instâncias, resultados sem atrasos dos navios, evidenciando que ordenar através das datas de entrega gera melhor resultado que ordenar através dos tempos de processamento. De acordo com a ordenação do porto, os navios estavam dispostos em uma sequência diferente da obtida pelo algoritmo. Porém faz-se necessário salientar que o problema na vida real sofre com intempéries que podem atrasar toda uma programação devido ao fato de não haver carregamento com chuva.

Pela Tabela 6 é facilmente identificado que ordenar de maneira crescente os navios para em seguida alocar aos berços traz ganhos significativos em relação ao atraso total. Seguindo a mesma linha de análise foi possível perceber que, como nos dados apresentados na Tabela 5, nesta os métodos que apresentaram desenvolvimento baseado na data de entrega também se sobressaíram em relação aos métodos que utilizaram o tempo de processamento.

**Tabela 6 – Atrasos para ordenação crescente**

Instância	SPT	EDD	LPT	LS
1	400	0	476	0
2	281	0	247	0
3	166	0	361	0
4	185	0	157	16
5	75	0	238	0
6	251	0	323	82
7	299	0	132	36

Fonte: O Autor (2016)

### 5.2.2 Resultados de espera máxima

Para fazer a análise da espera máxima que um navio teve no porto e a espera total faz-se necessário primeiro analisar e discutir os resultados obtidos pela configuração de atracação do porto através de suas regras de priorização. Na Tabela 7 são demonstrados os valores de espera dos navios no porto, portanto, retratam os valores reais observados no porto.

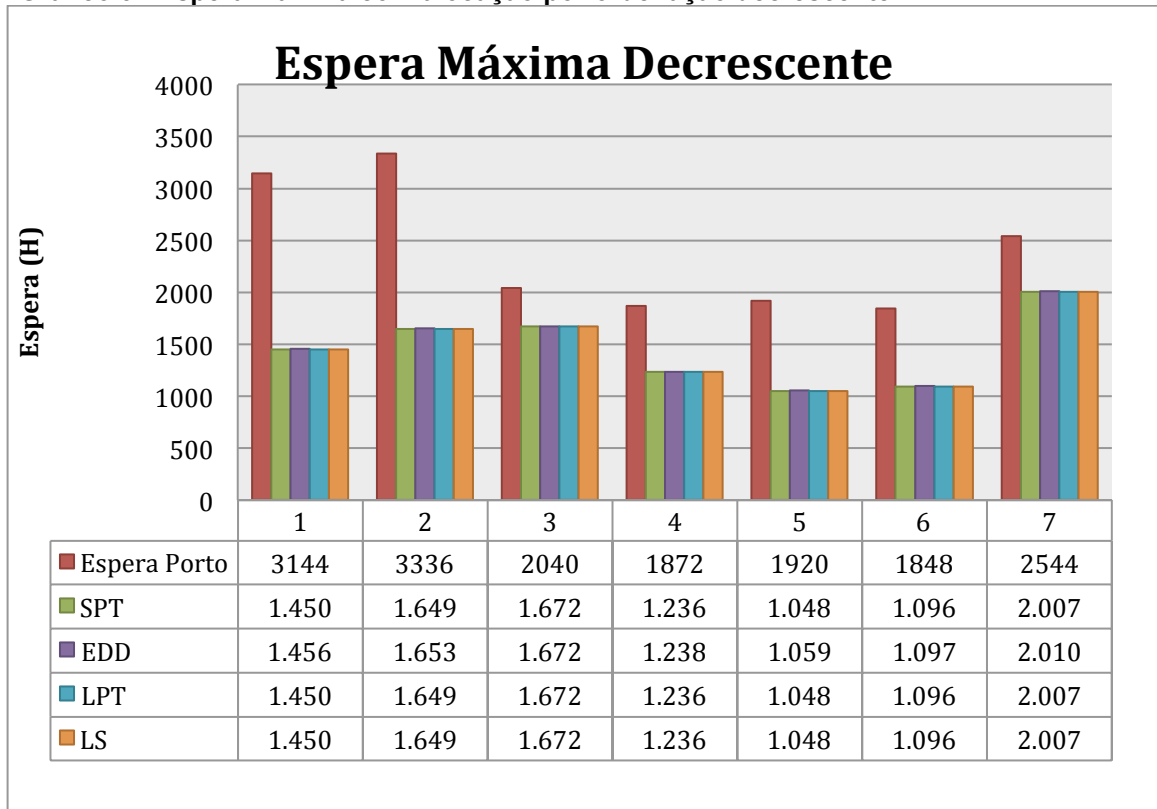


**Tabela 7 – Espera Máxima e Espera Total do Porto**

Instância	Espera Máxima	Espera Total
1	3.144	24.408
2	3.336	28.368
3	2.040	27.370
4	1.872	21.816
5	1.920	28.392
6	1.848	24.240
7	2.544	29.088

Fonte: O Autor (2016)

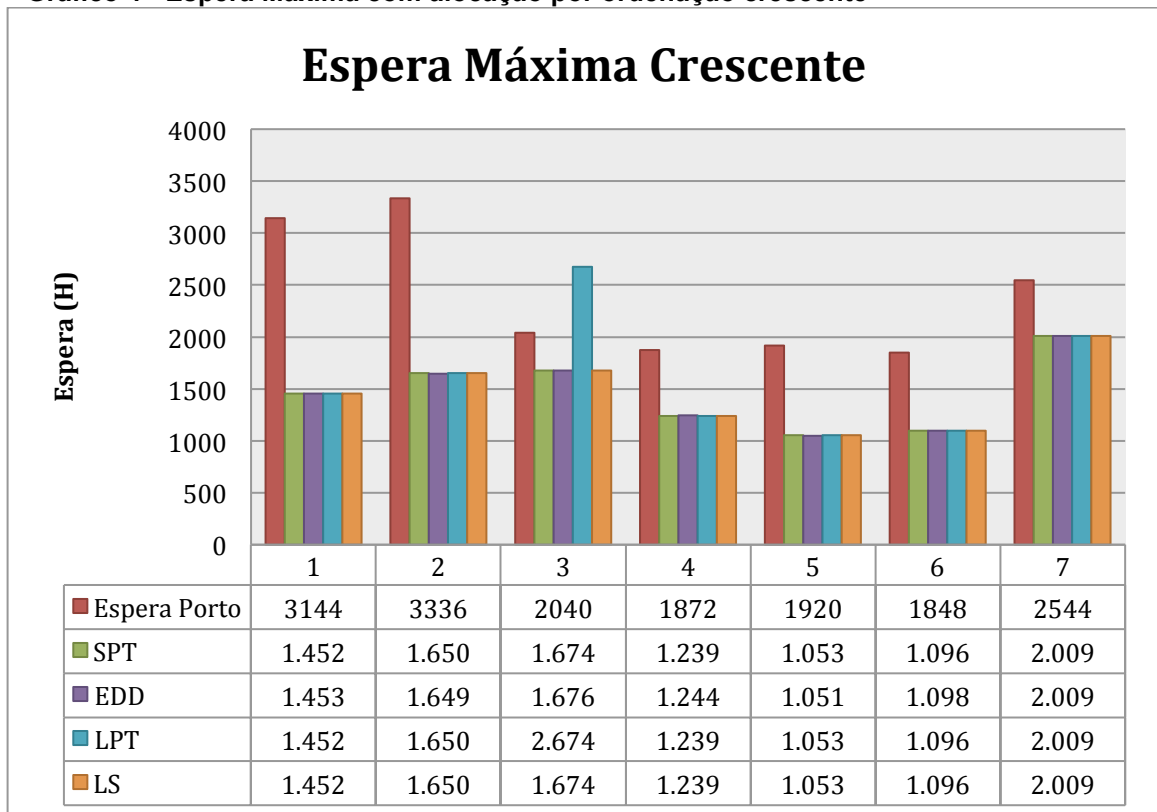
No Gráfico 3, por sua vez, estão indicados os valores de espera máxima obtidos pelas diferentes regras de priorização através da ordenação decrescente dos tempos aplicadas ao trabalho.

**Gráfico 3 - Espera Máxima com alocação por ordenação decrescente**

Fonte: O Autor (2016)

No Gráfico 4 estão dispostos os valores obtidos pela ordenação crescente na hora de alocar aos berços.

Gráfico 4 - Espera Máxima com alocação por ordenação crescente



Fonte: O Autor (2016)

Para as esperas máximas, nota-se que em todos os casos os algoritmos propostos apresentaram resultados melhores que os resultados obtidos pelo porto. Isso acontece porque, além de reduzir o tempo de ocupação dos berços equalizando os tempos de processamento pelos berços disponíveis, o modelo proposto não ordena pelo método FIFO e não utiliza a regra proposta pelo porto para alocar navios de acordo com os produtos a serem carregados. Desta forma, nenhum dos berços fica sobrecarregado muito além dos demais.

Conforme observado, se o porto optasse por utilizar os métodos propostos, o mesmo poderia ter reduções de 18%(instância 3) à 54% (instância 1) no tempo de espera máxima dos navios. Isso resultaria em clientes mais satisfeitos e mais navios poderiam procurar o porto de Paranaguá para realizar suas atividades no Brasil devido ao melhor tempo de atendimento.

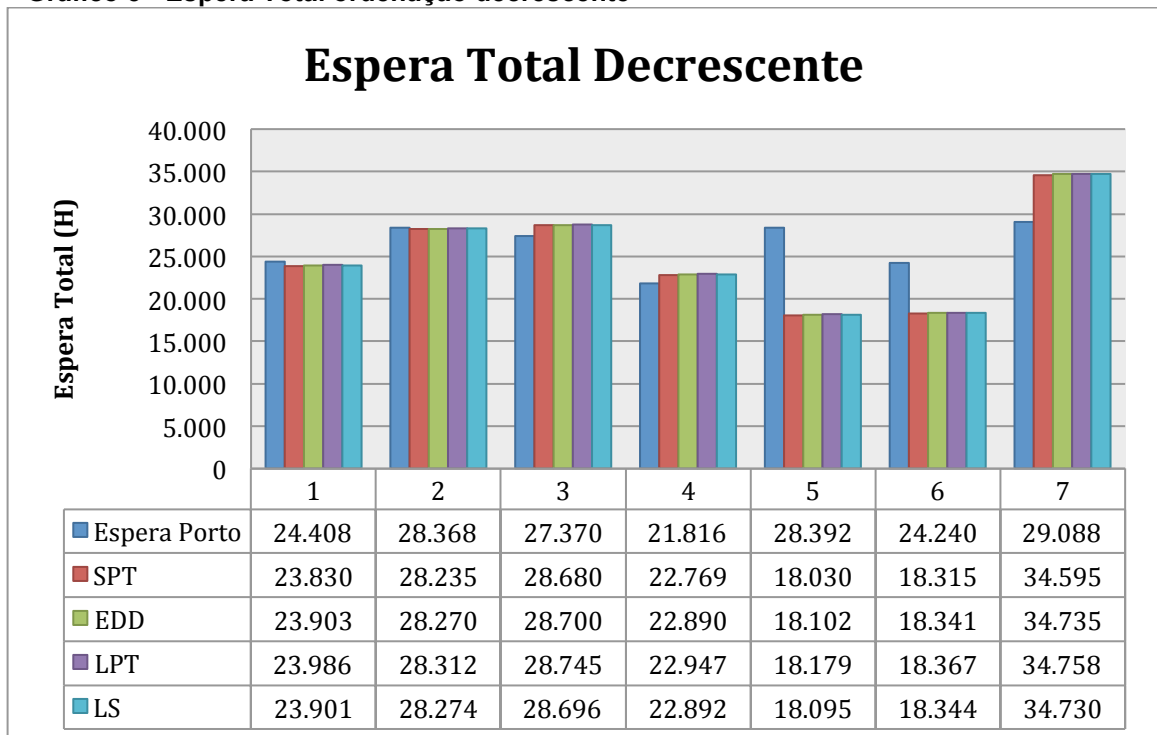
Porém em um sistema portuário complexo podemos analisar que muitas vezes o próprio navio não deseja realizar a atracação devido ao fato de atracar em um porto próximo em um intervalo de tempo pequeno, não sendo viável retornar a sua origem. Outro ponto levantado que o presente trabalho desconsidera é o fato de

as vezes não possuir draga disponível se for necessário usar no momento que o navio termina suas atividades, falta de prático para fazer a atracação do navio dentre outros fatores que contribuem para o aumento do tempo de processamento do navio.

### 5.2.3 Resultados de espera total

Os resultados de espera total obtido pelos métodos utilizando a ordenação decrescente do valor de tempo de processamento para as regras SPT e LPT, data de entrega para EDD e do valor da folga obtida na regra LS são apresentados por meio do Gráfico 5.

Gráfico 5 - Espera Total ordenação decrescente



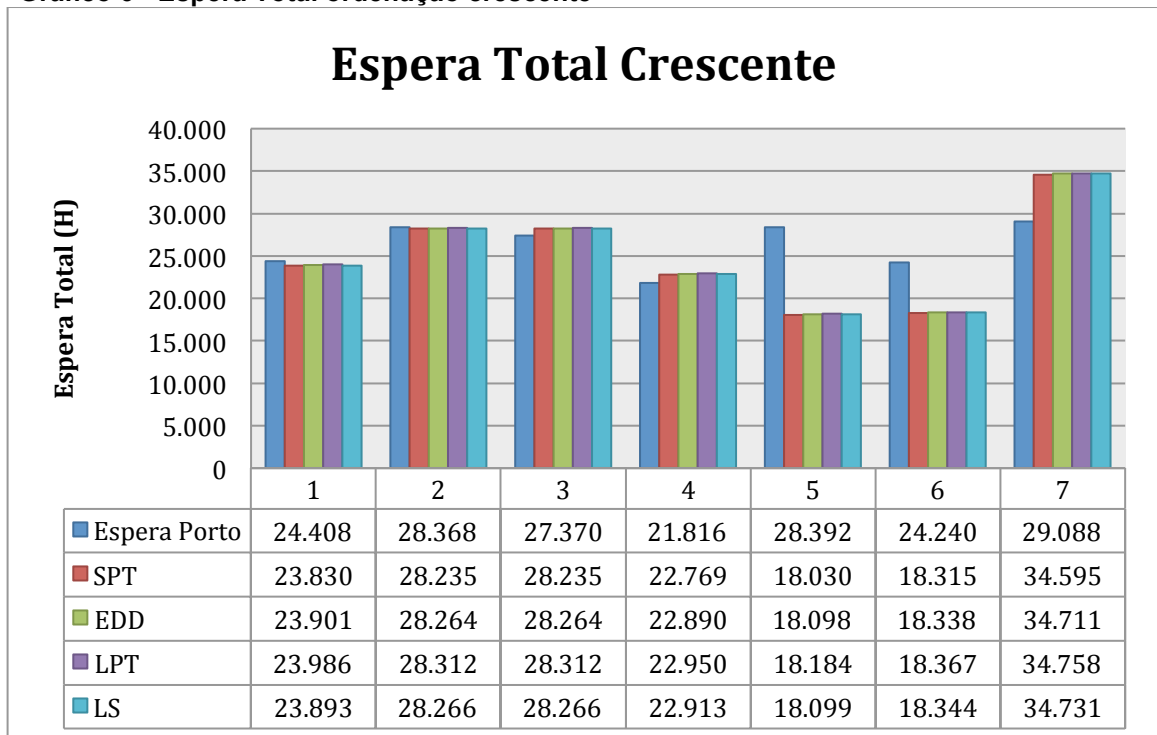
Fonte: O Autor (2016)

Fazendo a comparação com os tempos obtidos pelo porto para espera total das instâncias pode-se dizer que há um equilíbrio entre qual dos dois modelos é melhor. Conforme mostra o Gráfico 5, em alguns casos, como na instância 5, o tempo de espera foi reduzido em até 36% com a regra de priorização SPT. Em contrapartida, com a instância 7 o tempo de espera teve um acréscimo de pelo

menos 19% com a regra de prioridade LS, que obteve o melhor desempenho entre as regras de priorização nessa instância.

No Gráfico 6 são apresentadas as esperas totais ao se utilizar a ordenação crescente na etapa de alocação. Comparando a ordenação de maneira crescente com a ordenação decrescente não se nota grandes variações nos valores obtidos, conforme mostra a referida tabela.

**Gráfico 6 - Espera Total ordenação crescente**



**Fonte: O Autor (2016)**

Como na maioria dos casos os tempos de espera total foram muito parecidos com os reais, pode-se dizer que houve uma redução na amplitude das esperas individuais. Analisando o resultado final não houve uma melhora significativa considerando as instâncias isoladas visto que as amostras foram coletadas em diferentes datas para não haver sobreposição de navios, porém se todas as instâncias forem consideradas como uma sequência contínua de navios a serem atracados tem-se uma redução de aproximadamente 5% no tempo final total, ou seja, aproximadamente 9 mil horas.

Levando em consideração que o porto de Paranaguá atende aproximadamente 22 navios por mês, essa redução mostra-se ainda mais importante. Isso porque seria mais satisfatório para os donos de navios que os

mesmos permanecessem menor tempo parado, aumentando assim seus rendimentos e satisfação com os serviços prestados pelo/no porto.

Além do ganho adquirido pelo dono da embarcação, toda a cadeia logística apresentaria ganhos, já que o porto conseguiria movimentar uma quantidade de carga maior ao passo que reduziria seus custos operacionais.

## 6 CONCLUSÕES

Conforme os objetivos estabelecidos, conclui-se que o presente trabalho possibilitou a aplicação de uma nova abordagem, com diferentes regras de priorização para o problema de alocação de berços - problema este tão comumente enfrentado por portos do mundo inteiro.

O cenário atual, de aumento das transações internacionais, exige que as atividades portuárias sejam realizadas de maneira rápida e com qualidade para que o país não perca competitividade em relação aos outros países da América do Sul.

Conforme a revisão da literatura, observou-se que existem diferentes métodos, regras e modelos que podem ser aplicadas ao problema de acordo com as características e as necessidades de cada estudo.

A utilização de diferentes regras de priorização diferentes das adotadas atualmente pelo Porto de Paranaguá mostrou que é possível obter um ganho de performance no tempo de atendimento dos navios, aumentando assim a satisfação dos proprietários dos navios e conduzindo a rendas mais altas para ambas as partes.

Durante a aplicação do modelo proposto a maior dificuldade encontrada foi a falta de informações e a pouca acessibilidade à administração do porto de Paranaguá. Algumas das informações obtidas foram levantadas com ajuda de empresas privadas que movimentam cargas diariamente para o porto e que, assim, se configuram como outras partes interessadas no desenvolvimento e no aperfeiçoamento das atividades portuárias.

Conforme apresentado anteriormente, o modelo proposto no presente trabalho de conclusão de curso apresentou um ganho de 5% no tempo de espera no conjunto das sete instâncias de navios analisadas. Se analisarmos os resultados individuais de cada instância, a redução no tempo de espera chegou até a 54%. Devido ao grande volume movimentado uma melhora de apenas de 5% conforme demonstrada no presente trabalho representa um ganho grande para as operações portuárias.

Pode-se afirmar que o trabalho cumpriu com os objetivos propostos de fazer o levantamento sobre o cenário atual do problema e desenvolver novos modelos de

priorização que podem ser utilizados pelo porto de Paranaguá no corredor de exportação de grãos.

O PAB é um problema complexo, com diversas variáveis não levadas em consideração neste trabalho. Desse modo para trabalhos futuros é possível aprofundar o estudo do modelo proposto incluindo uma variável aleatória que dê prioridade a algum navio bem como também analisar o problema a partir de uma ótica diferente da proposta, por exemplo, considerando os custos de operação e manipulação de equipamentos e de mão de obra.

## REFERÊNCIAS

- AQUAVIÁRIOS, Agência Nacional de Transportes. **Anuário Estatístico Aquaviário 2014**. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/portal/Estatisticas\\_Anuarios.asp](http://www.antaq.gov.br/portal/Estatisticas_Anuarios.asp)>. Acesso em: 26 abr. 2015.
- AQUAVIÁRIOS, Agência Nacional de Transportes. **Porto de Paranaguá**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Portos/2012/Paranagua.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- AQUAVIÁRIOS, Agência Nacional de Transportes. **Porto de Rio Grande**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Portos/2012/RioGrande.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- AQUAVIÁRIOS, Agência Nacional de Transportes. **Porto de Santos**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Portos/2012/Santos.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- ARAUJO, F. **Sistema Portuário Brasileiro: Evolução e Desafios**. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia e Gestão Portuária). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- ARRUDA, J. B. F.; BASTOS, M. M. M. **Pesquisa de dados secundários marítimos portuários: Brasil Europa**. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Gramado, 2000.
- BROWN, G. G.; LAWPHONGPANICH, S.; THURMAN, K. P. Optimizing ship berthing. **Naval Research Logistics**, v. 41, Monterey-Califórnia, 1994. Disponível em: <<http://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/38147/optimizingshipberthing.pdf?sequence=1>>. Acesso em 15 ago 2016.
- CHEONG, C. Y.; et al. Multi-objective and prioritized berth allocation in a container ports. **Annals of Operations Research**, 180, 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10479-008-0493-0>>. Acesso em 29 jul 2016.
- COMPANHIA de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná. Disponível em: <<http://www.codapar.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=248&tit=Movimentacao-de-cargas-por-Paranagua-cresce-acima-da-media-nacional>>. Acesso em: 22 ago. 2016.



CORDEAU, J.F.; et al. Models and tabu search heuristics for the berth allocation problem. **Transportation Science**, 39, Catonsville, 2005. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.1050.0120>>. Acesso em 22 ago 2016.

FERNANDES, M. G. **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, São Paulo, 2001.

FLEURY, P. F. Perspectivas para a logística brasileira. **Revista Tecnológica**, vol. Maio, n. 30, São Paulo, 1998.

GOEBEL, D. **A Competitividade Externa e a Logística Doméstica**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDES, 2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

GUAN, Y.; CHEUNG, R. K. The berth allocation problem: models and solutions methods. **OR Spectrum**. v. 26, 2004.

HANSEN, P.; et al. Variable Neighborhood Search for Minimum Cost Berth Allocation, **European Journal of Operational Research**, 2007.

HUNSUCKER, J.L. Performance of priority rules in a due date flow shop. **Omega**. v. 20, n. 1, 1992.

IMAI, A, NISHIMURA, E., PAPADIMITRIOU, S. The dynamic berth allocation problem for a container port. **Transportation Research Part B**. v. 37, 2001.

IMAI, A; NISHIMURA, E; PAPADIMITRIOU, S, The dynamic berth allocation problem for a container port. **Transportation Research Part B**, 1999.

IMAI, A; NISHIMURA, E; PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation with service priority. **Transportation Research Part B**. v. 37, 2003.

KIM, K. H., MOON, K. C. Berth scheduling by simulated annealing. **Transportation Research Part B**. v. 37, 2003.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

LEGATO, P.; MONACO, F.; TIGANI, N. Berth planning at Gioia Tauro's maritime terminal by logistic distribution models. **AIRO Annual Conference**, Cagliari, Italy, 2001.

LOPES, A. T.; et al. GRASP com Path Relinking para o Problema de Alocação de Berços. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, vol. 3, n.3, Rio de Janeiro, 2011.

MANTELI, W. Portos brasileiros: Muito a fazer, apesar dos avanços. **Revista Tecnológica**, São Paulo, Agosto 2001.

MAURI, G.R., OLIVEIRA, A.C.M. ; LORENA, L.A.N. Heurística baseada no simulated annealing aplicada ao problema de alocação de berços. **GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, 1, Bauru, 2008a.

MAURI, G.R.; et al. A hybrid column generation approach for the berth allocation problem. **Lecture Notes in Computer Science**, 4972, 2008b.

MOON, K. C. A mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning. **Brain Korea 21 Logistics Team**, July, 2000.

NISHIMURA, E.; IMAI, A.; PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. **European Journal of Operational Research**. v. 131, 2001.

OLIVEIRA, R.M.; et al (2010). Clustering search aplicado ao problema de alocação de berços. **Anais do XLII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Bento Gonçalves/RS. Disponível em: <[http://www.sobrapo.org.br/sbpo2010/xliisbpo\\_pdf/72341.pdf](http://www.sobrapo.org.br/sbpo2010/xliisbpo_pdf/72341.pdf)>. Acesso em: 25 maio. 2015.

RIOS, L. R.; MAÇADA, Â. C. G. Seleção de variáveis para medir a capacidade de um terminal de contêiner. **Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, 2002.

RODRIGUES, M. H. P.; et al. Simulated Annealing Aplicado na Programação de Alocação dos Navios. **V Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica**, Rio Grande/RS, 2012.

SCHOELER, S. **A movimentação de cargas pesadas em portos brasileiros: dificuldades e perspectivas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, PPGE, Florianópolis, 2000.

SECRETARIA DE PORTOS. Presidência da República. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

SECRETARIA DE PORTOS. **Portos brasileiros registram aumento de volume de cargas no quadrimestre**. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/noticias/portos-brasileiros-registram-aumento-de-volume-de-cargas-no-quadrimestre>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

SERRA, F. A. C.; et al. **Canal do Panamá**: efeito da expansão nos portos brasileiros. Editora ANTAQ. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/Portal/Pdf/PublicacoesTecnicas/20140611\\_Canal\\_Do\\_Panama.pdf](http://www.antaq.gov.br/Portal/Pdf/PublicacoesTecnicas/20140611_Canal_Do_Panama.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2015

SIG, Acesso Público: **Manual do Usuário**. ANTAQ 2013. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/SIG\\_Acesso\\_Publico\\_Manual\\_do\\_Usuario\\_Dez2013.pdf](http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/SIG_Acesso_Publico_Manual_do_Usuario_Dez2013.pdf)>. Acesso em: 29 maio. 2015

SILVA, V. M. D. **Um modelo heurístico para alocação de navios em berços**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, PPGE, Florianópolis, 2008.

VIEIRA, G. B. B.; et al. O nível de serviço do Tecon Rio Grande a partir da ótica dos usuários. **III SINAP – Simpósio Internacional de Gestão de Negócios em Ambiente Portuário**, São Paulo, 2006.