

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

HUGO LEONARDO LOUZADA VERVLOET

**MODELO MATEMÁTICO PARA PLANEJAMENTO DA
ATRACAÇÃO DE NAVIOS DE GRANEL CONSIDERANDO O
CÁLCULO DE PRÊMIO E MULTA**

**VITÓRIA-ES
2015**

HUGO LEONARDO LOUZADA VERVLOET

**MODELO MATEMÁTICO PARA PLANEJAMENTO DA
ATRACAÇÃO DE NAVIOS DE GRANEL CONSIDERANDO O
CÁLCULO DE PRÊMIO E MULTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa

**VITÓRIA-ES
2015**

HUGO LEONARDO LOUZADA VERVLOET

**MODELO MATEMÁTICO PARA PLANEJAMENTO DA
ATRACAÇÃO DE NAVIOS DE GRANEL CONSIDERANDO O
CÁLCULO DE PRÊMIO E MULTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração Transportes.

Aprovada em 21 de agosto de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Adelmo Inácio Bertolde
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno

Prof. Dr. Leandro Colombi Resendo
Instituto Federal do Espírito Santo
Membro Externo

À esposa Marina, ao filho Gabriel e ao
filho (a) que está se formando para a vida,
minha família.

À família responsável pela minha criação,
mãe Cristina, pai Radagasio e irmã
Lorena.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, pela fé, força de vontade e perseverança em superar meus limites.

À minha amada esposa Marina, pelo apoio, paciência e compreensão ao longo de todo o mestrado. Agradeço especialmente por sonhar junto comigo e me proporcionar o suporte necessário para que eu pudesse me dedicar na conclusão deste estudo.

Ao meu filho Gabriel, pela minha ausência parcial durante a fase conclusiva desta dissertação. Espero que este mestrado, no futuro, sirva de incentivo para suas conquistas.

À minha família, à minha mãe Cristina, ao meu pai Radagasio, revisor deste estudo, à minha irmã Lorena, aos meus avós, aos meus tios (as), aos meus primos (as), ao meu sogro e aos meus cunhados, pelo incentivo, preocupação e compreensão que sempre tiveram em todos os momentos de minha vida.

Agradeço de forma especial ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa, um guerreiro, sempre disponível e disposto a ajudar. Obrigado pelas incansáveis horas de ensinamento e troca de experiência, por acreditar no meu potencial e me apoiar na conclusão deste mestrado.

Aos professores membros da banca examinadora do Projeto de Qualificação e da Dissertação, Prof. Dr. Adelmo Inácio Bertolde e Prof. Dr. Leandro Colombi Resendo, pela disponibilidade em avaliar este projeto e pelas críticas construtivas apresentadas.

Aos colegas que concluíram o mestrado e àqueles que por algum motivo não puderam concluir, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e amizade. À Bianca Arpini, pelo auxílio na utilização do CPLEX e ao companheiro de todo o mestrado, Fabiano C. G. Nascimento, nós sabemos o que foi conciliar o trabalho, a família e o mestrado.

Aos gestores e colegas da Vale S/A que de uma forma geral compartilharam minha disponibilidade com a atenção dada a este estudo, mas especialmente à Karina Peixoto pelo incentivo e apoio na revisão do Projeto de Qualificação e ao Felipe Araya por compartilhar seu conhecimento em operações portuárias.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização dessa meta pessoal.

Obrigado!!!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

O crescimento da demanda mundial por produtos com custos cada vez menores, está diretamente relacionada à aquisição das matérias primas, independentemente de onde sejam ofertadas, mas que apresentem o menor custo final possível, de modo a viabilizar a competitividade das empresas ao redor do mundo, inclusive no Brasil. Nesse cenário, o comércio mundial utiliza em grande parte o transporte marítimo, e para movimentar essas matérias primas, os portos se tornam cada vez mais exigidos, visto o aumento da representatividade do custo logístico no custo total dos produtos. Navios de carga granel são usualmente contratados sob o contrato *Charter Party* entre o armador e o embarcador onde é estabelecido um tempo limite de permanência do navio no porto. Caso o navio permaneça abaixo deste tempo, o embarcador recebe um prêmio financeiro e, caso contrário, paga uma multa ao armador. Após a revisão bibliográfica, não foram encontrados artigos sobre o Problema de Alocação de Berços (PAB) que tratassem das questões referentes a prêmio e multa sob a ótica do contrato *Charter Party* com o objetivo de maximizar o resultado financeiro do embarcador, calculado como prêmio menos multa. Assim, um modelo matemático é proposto para o PAB com considerações sobre *Charter Party* e, instâncias baseadas no Porto de Tubarão foram desenvolvidas e executadas no CPLEX 12.6. Os resultados mostraram a aplicabilidade do modelo na programação dos navios e também diretrizes para apoiar a negociação deste tipo de contrato.

Palavras-chave: Problema de Alocação de Berço (PAB), *Charter Party*, Logística Portuária, Portos Graneleiros.

ABSTRACT

The growth of world demand for products with ever-lower costs is directly related to the acquisition of raw materials, regardless of where they are offered, but with the lowest final cost possible in order to enable the competitiveness of businesses around the world, including Brazil. In this scenario, almost all traders of the world use maritime transport, and to transport these raw materials, ports are becoming more required since the increased representation of logistics costs in the total cost of the products. Bulk cargo ships are usually contracted under the Charter Party contract between the owner and the shipper and establish a time limit for vessel to stay at port. If the vessel is below this time the shipper receives a financial award and, if not, pay a fine to the owner. After the literature review, no articles were found on the Berth Allocation Problem (BAP) that addressed the issues related to premium and fine from the perspective of Charter Party contract in order to maximize the financial result of the shipper, calculated as a reward less fine. Thus, a mathematical model is proposed for the BAP with consideration of the Charter Party, and instances based in the Port of Tubarão were developed and implemented in CPLEX 12.6. The results showed the applicability of the model in the scheduling of ships and also guidelines to support the negotiation of this type of contract.

Keywords: Berth Allocation Problem (BAP), Charter Party, Port Logistics, Bulk Ports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Utilização prática do período de <i>layday</i>	25
Figura 2 - Cálculo do tempo para prêmio e multa	26
Figura 3 - Representação gráfica do PAB discreto, contínuo e híbrido.....	29
Figura 4 - Etapas Desenvolvidas da Metodologia da Pesquisa.....	39
Figura 5 - Porto de Tubarão – Destaque para os três berços estudados.....	40
Figura 6 - Resultado Financeiro do Grupo A - Período de <i>Layday</i>	56
Figura 7 - Resultado Financeiro do Grupo B - Período de <i>Laytime</i>	58
Figura 8 - Resultado Financeiro do Grupo C - Tempo de Operação.....	59
Figura 9 - Resultado Financeiro do Grupo D – Relação Valor do Prêmio x Valor da Multa	61
Figura 10 - Resultado Financeiro do Grupo E – Berço Adicional	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – A Evolução do Comércio Internacional Marítimo.....	12
Tabela 2 – Evolução Financeira da Movimentação de Cargas nos Portos Brasileiros	13
Tabela 3 - Características Operacionais dos Berços de Granéis Minerais no Porto de Tubarão.....	40
Tabela 4 - Instâncias Desenvolvidas para Teste do Modelo Proposto.....	44
Tabela 5 - Resultados apresentados pelo CPLEX para as instâncias desenvolvidas.	54

LISTA DE SIGLAS

ACO	<i>Ant Colony Optimization</i>
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CNT	Confederação Nacional de Transportes
COA	<i>Contract of Affreightment</i>
CPLEX	C é a linguagem de programação e PLEX o método SIMPLEX
FCFS	<i>First Come First Server</i>
FO	Função Objetivo
LB	<i>Lower Bound</i>
NOR	<i>Notice of Readiness</i>
PAB	Problema de Alocação de Berço
PAB-MC	Problema de Alocação de Berço para Múltiplas Cargas
PABC	Problema de Alocação de Berço Contínuo
PABD	Problema de Alocação de Berço Discreto
PABH	Problema de Alocação de Berço Híbrido
PIM	Programação Inteira Mista
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PTA/LP	<i>Algorithm Training Population / Linear Programming</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
UB	<i>Upper Bound</i>
UNCTAD	United Nations Conference of Trade and Development
VNS	<i>Variable Neighborhood Search</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	CONTRATO <i>CHARTER PARTY</i>	19
2.2	CÁLCULO DE PRÊMIO E MULTA EM OPERAÇÃO PORTUÁRIA.....	21
2.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	36
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	36
3.2	ETAPAS DESENVOLVIDAS	37
3.3	PORTO EM ESTUDO.....	39
3.4	INSTÂNCIAS DESENVOLVIDAS.....	41
4	MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO	48
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
5.1	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS.....	64
6	CONCLUSÃO	66
6.1	TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo desempenha um papel fundamental para o comércio internacional, que integrado a outros sistemas de transportes, representa o meio de transporte de grande parte da carga movimentada no mundo, inclusive no Brasil. Devido ao crescimento do comércio entre os países, o modal marítimo de transporte se empenhou na construção de navios com maiores dimensões e dedicados ao transporte específico de determinadas cargas (ASSIS, 2010).

O crescimento do comércio marítimo internacional é apresentado na Tabela 1, com destaque para a evolução na movimentação de granel sólido, que em 2013 passou o segmento de óleo e gás e movimentou 2.920 milhões de toneladas, correspondente a 30,6% das cargas mundialmente movimentadas neste ano por meio do modal marítimo (UNCTAD, 2014).

Tabela 1 – A Evolução do Comércio Internacional Marítimo

Ano	Óleo e gás		Granel Sólido		Carga Geral		Total	
	<i>ton x 10⁶</i>	%						
1970	1.440	55	448	17	717	28	2.605	100
1980	1.871	51	608	16	1.225	33	3.704	100
1990	1.755	44	988	25	1.265	32	4.008	100
2000	2.163	36	1.295	22	2.526	42	5.984	100
2010	2.772	33	2.335	28	3.302	39	8.409	100
2013	2.844	30	2.920	31	3.784	40	9.548	100

Fonte: UNCTAD (2014)

Nota: Dados adaptados pelo autor

Neste contexto, a logística assumiu um papel de destaque na determinação do nível de competitividade entre as empresas, visto o aumento da representatividade do custo logístico no custo total dos produtos. Por ser um dos mais importantes agentes desta cadeia produtiva, os portos foram cada vez mais exigidos a operar de maneira eficiente, de forma segura e com menores custos (BARROS, 2010).

O sistema portuário brasileiro responde por aproximadamente 90% das exportações e importações no país, sendo que a movimentação total de cargas a granel nas instalações portuárias brasileiras em 2014 foi de 590 milhões o que representa aproximadamente 61% das 969 milhões de toneladas movimentadas nos portos brasileiros, Tabela 2 (ANTAQ, 2015).

Tabela 2 – Evolução Financeira da Movimentação de Cargas nos Portos Brasileiros

Ano	Óleo e gás		Granel Sólido		Carga Geral		Total	
	R\$ x 10 ⁶	%						
2010	210	25	510	61	117	14	837	100
2011	212	24	545	61	130	15	887	100
2012	218	24	555	61	132	15	904	100
2013	219	24	569	61	141	15	929	100
2014	232	24	590	61	147	15	969	100

Fonte: ANTAQ (2015)

Nota: Dados adaptados pelo autor

Os navios de granel, como minério de ferro e agrícolas, são usualmente contratados sob o contrato de *Charter Party* entre o armador (dono do navio) e o embarcador. As cargas a granel são usualmente transportadas em grande quantidade e, assim, muitas empresas que comercializam estas cargas optam por ter seus próprios portos ou por operarem terminais portuários específicos para suas cargas. (SILVEIRA, 2013)

A partir deste ponto, define-se para efeitos deste estudo que ao se referenciar o embarcador, entende-se por um embarcador que é proprietário do porto ou um embarcador operador de um terminal específico dedicado às suas operações.

Para atender aos interesses dos armadores e dos embarcadores, no contrato de *Charter Party* são definidos: um período de tempo para chegada do navio e um período de tempo para operar o navio no porto. O período de tempo para chegada do navio no porto é denominado *layday* e caso o navio chegue ao porto e esteja apto para operar neste período, ele terá prioridade de atendimento. O prazo que o porto tem para operar o navio é denominado *laytime*. O *laytime* passa a contar a partir de uma data marco denominada *aceite*, que será mais detalhada no Capítulo 2, sendo

que este aceite é dado pelo embarcador em função do navio chegar dentro do período de *layday* ou fora deste período.

O tempo de permanência do navio no porto é calculado como sendo a soma do tempo de espera para atracar a partir da data do aceite mais o tempo de operação. Caso o tempo de permanência seja menor do que o prazo máximo estabelecido no contrato, *laytime*, o embarcador tem direito a receber uma compensação financeira denominada prêmio, *dispatch*, e, caso contrário, cabe ao embarcador pagar uma compensação financeira ao armador denominado multa, *demurrage*. Tendo em vista que o embarcador é o proprietário do porto ou o operador do porto, ele visa obter resultados positivos, ou seja, pagar o menor valor de multa e receber o maior volume de prêmio a fim de ter um resultado positivo. Assim sendo, o embarcador estende as relações contratuais operacionais constantes no *Charter Party* para as metas operacionais do porto (WILSON, 1988).

No contrato de operação portuária ficam estabelecidas as compensações financeiras de prêmio e multa, geradas da antecipação ou atraso na operação do navio e da utilização do período de tempo em que o navio permanece à disposição do embarcador.

Muitos embarcadores convivem com significativos impactos financeiros negativos gerados pelo pagamento de multa por não conseguirem operar os navios dentro dos tempos estabelecidos nos contratos de *Charter Party*. Assim, neste estudo, que se considera o embarcador proprietário ou operador do porto, um bom planejamento da sequência de atracação dos navios poderia, eventualmente, ser revertido em recebimento de prêmio. No entanto, a regra mais utilizada na relação porto e navios é a *First Come First Served* (FCFS) onde a ordem de atracação é definida pela ordem de chegada do navio ao porto.

O que se propõe neste estudo é a análise da flexibilização desta regra e, assim, elaborar a sequência de atendimento aos navios visando à melhoria do resultado financeiro do embarcador advinda da relação do total de prêmio recebido menos o total de multa paga.

Para planejar a atracação de navios no porto, é proposto na literatura científica o Problema de Alocação de Berços (PAB), que se trata do problema de planejar a sequência de atendimento dos navios em cada berço disponível no porto, em certo horizonte de tempo de planejamento e atendendo às restrições operacionais e existentes. O principal objetivo do PAB é minimizar o tempo de permanência dos navios no porto, e assim reduzir o tempo de espera dos navios para atracar e o tempo da operação portuária (BIERWIRTH e MEISEL, 2010).

Diante dos altos custos dos navios e portos, muitos pesquisadores têm direcionado seus estudos ao PAB e diversos artigos foram publicados sobre o tema. Pode-se citar dentre os vários artigos publicados as revisões realizadas por Meersmans e Dekker (2001), Vis e Koster (2003), Steenken *et al.* (2004), Vacca *et al.* (2007), Stahlbock e Voss (2008), Bierwirth e Meisel (2010) e Rashidi e Tsang (2013).

Apesar da importância do contrato de *Charter Party*, tendo em vista a grande quantidade de navios a granel que são contratados por meio deste tipo de contrato e pelo volume de multa pago pelos embarcadores aos armadores, após a revisão da literatura, Capítulo 2, pôde-se perceber que nenhum artigo abordou as questões relativas ao contrato de *Charter Party* como função objetivo e/ou restrição de um modelo PAB.

Esta dissertação propõe um modelo matemático para o PAB com foco nos navios sob o contrato de *Charter Party*, principalmente em portos graneleiros, com o objetivo de elaborar a sequência de atracação dos navios visando à melhoria do resultado financeiro do embarcador, que neste estudo é também o proprietário do porto, calculado como sendo a diferença entre os valores recebidos de prêmio do armador menos os valores pagos de multa ao armador. O modelo proposto considera todos os itens contratuais, tempo de *layday*, chegada ao porto, aceite, atracação, *laytime* e desatracação para poder calcular os valores de prêmio e multa.

Para avaliar o modelo proposto, o mesmo foi testado com dados do Porto de Tubarão, localizado em Vitória/ES, um dos maiores portos mundiais especializados na movimentação de granéis minerais, sendo que a totalidade dos navios é operada em contrato de *Charter Party* e a empresa proprietária do porto é o embarcador da

maioria das cargas. O porto opera mais de 600 navios por ano com uma movimentação superior a 100 milhões de toneladas por ano. Possui três berços de carregamento de minério de ferro e pelotas, sendo eles: Píer 1 Sul, Píer 1 Norte e Píer 2 (VALE, 2015a).

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Propor um modelo matemático para o planejamento da atracação de navios em contrato *Charter Party*, com objetivo de aumentar o recebimento de prêmio e reduzir o pagamento de multa pelo embarcador, em função do tempo total em que os navios permaneceram à disponibilidade do porto para operação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento sobre o contrato *Charter Party* e sua influência no conceito de prêmio e multa gerados nas operações portuárias;
- Apresentar as características e metodologia de aplicação do prêmio e multa;
- Analisar os possíveis ganhos financeiros quando aplicado o modelo proposto em instâncias desenvolvidas;
- Gerar uma ferramenta de análise operacional, com foco financeiro, para auxílio na tomada de decisões estratégicas de longo prazo e operacionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante da crescente demanda do mercado internacional por uma operação logística mais eficiente e com custos cada vez menores, a necessidade em reduzir o tempo de operação portuária torna-se um diferencial competitivo entre as empresas.

Dentre os indicadores de desempenho portuário, a ordem de atracação dos navios vem sendo um dos principais itens abordados na negociação entre o armador e o embarcador, visto os altos custos envolvidos para ambos.

Tanto o armador do navio quanto o embarcador, buscam reduzir o tempo à disposição da operação de carregamento ou descarga. De um lado, o porto busca carregar e descarregar a maior quantidade de carga em um menor período de tempo e assim otimizar os ativos portuários e aumentar a sua produtividade. Do outro lado, o armador do navio busca permanecer o menor período de tempo à disposição do porto e ainda assim movimentar um maior volume de carga para diluir seus custos fixos, custo de construção do navio e custo de oportunidade, este último gerado quando o navio está inoperante, aguardando atendimento ou aguardando carga.

Neste contexto, foi realizado um levantamento bibliográfico e não foram identificados estudos propondo solucionar o PAB por meio da abordagem financeira do prêmio e multa. Este fato gera um campo de estudo importante para as empresas deste segmento, mas ainda pouco explorado pelo meio acadêmico. Desta forma, a presente dissertação aborda os principais conceitos de operação portuária e busca exemplificar a aplicação prática do prêmio e multa gerada na operação portuária para os navios em *Charter Party*. Em seguida é proposto um modelo matemático para solução do PAB por meio da maximização para o embarcador do saldo entre prêmio e multa.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos que são estruturados como segue.

No Capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho que contém a contextualização e definição do problema a ser tratado e a elaboração da hipótese para solução. Fazem parte deste capítulo o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa do assunto e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 é abordado o referencial teórico, contendo o conceito do contrato *Charter Party*, a explicação do cálculo de prêmio e multa em operação portuária e a revisão bibliográfica do PAB. Este capítulo serve para nivelar o entendimento sobre o problema em estudo e levantamento da bibliografia existente.

O Capítulo 3 abrange a classificação da pesquisa, as etapas desenvolvidas, a descrição e contextualização do Porto de Tubarão e a criação das instâncias para teste do modelo proposto.

O Capítulo 4 é dedicado à apresentação e explicação do modelo matemático proposto.

No Capítulo 5 são apresentados e analisados os resultados dos experimentos computacionais obtidos pelo modelo proposto.

O Capítulo 6 é dedicado à conclusão do trabalho e também recomendações para desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme visto no Capítulo 1, este estudo contextualiza a operação portuária de maneira ampla a fim de apresentar o mecanismo de prêmio e multa na relação existente entre o armador e o embarcador.

A revisão bibliográfica realizada no campo de estudo sobre PAB observou a ausência de modelo matemático para planejamento da sequência de atendimento aos navios anunciados em um determinado porto graneleiro, com função objetiva a fim de maximizar os prêmios do embarcador em relação às multas geradas no adiantamento ou atraso das operações de carregamento ou descarga de navios.

Este referencial teórico está estruturado com os seguintes tópicos:

- Contrato *Charter Party*;
- Cálculo de Prêmio e Multa em Operação Portuária;
- Revisão Bibliográfica do PAB;

2.1 CONTRATO *CHARTER PARTY*

O transporte marítimo é uma das indústrias mais internacionais do mundo e se relaciona diretamente com o nível de atividade do comércio mundial, sendo regido, assim como qualquer outro mercado, pela lei de demanda e oferta (STOPFORD, 1997). Este modo de transporte pode ser dividido em três tipos de operação, os quais os navios podem ser destinados: *Tramp Trade*, *Liner Trade* e *Industrial Trade* (RONEN, 2002).

- *Tramp Trade* ou Navio a Frete se refere ao afretamento de navios, em sua maioria graneleiros, sujeito a cotação de mercado conforme demanda e oferta, para determinada viagem ou período de tempo. Normalmente é formalizado por meio de um contrato *Charter Party*, objeto deste estudo.

- *Liner Trade* ou Navio de Linha é operado em linhas e itinerários regulares (rotas), com portos e escalas fixos. As cargas nele transportadas possuem o frete cotado a uma tarifa de frete fixa e por prazo determinado.
- *Industrial Trade* ou Navio de Tráfego Industrial pertence às empresas que produzem e transportam suas cargas.

O contrato onde um armador se compromete a disponibilizar sua embarcação para transporte de mercadorias pertencentes a uma ou mais pessoas é chamado contrato de afretamento, e o montante pago para este transporte é chamado frete. O instrumento utilizado para formalizar o afretamento de um navio quando o afretador deseja transportar grandes quantidades de mercadoria, suficiente para ocupar todo ou quase todo o espaço do navio é denominado no meio comercial de *Charter Party*, onde o fretador cede ao afretador os direitos sobre a embarcação. O afretador é aquele que toma uma embarcação em afretamento ou que contrata o serviço de transporte e o fretador é aquele que cede a embarcação para afretamento ou é contratado para realizar o transporte (ZOCK, 1970).

O *Charter Party* é um contrato bilateral de afretamento de navio, por viagem ou período de tempo, e mundialmente o mais utilizado no transporte marítimo de carga a granel. Nos contratos *Charter Party* são estabelecidos acordos e condições do que variam conforme a modalidade de contratação. Podem-se citar: o valor do frete, as condições de pagamento, o período do afretamento, os tempos para carregamento e descarga, o tipo e a quantidade de mercadoria a serem transportados, os portos de origem e destino, as condições de operação e o prêmio e multa (STOPFORD, 1997).

O *Charter Party* pode ser firmado entre o armador e o embarcador de três formas: 1) *Voyage Charter*, 2) *Time Charter* e 3) *Bare Boat*. Na *Voyage Charter*, o navio é contratado pelo embarcador para realizar uma viagem entre um porto de origem e um porto de destino para transportar certa carga. No *Time Charter*, o navio é contratado pelo embarcador por um período de tempo, usualmente anos, e, então o embarcador contratante pode realizar diversas viagens neste período. Na *Bare Boat* ocorre uma situação diferente onde o navio é arrendado à outra empresa a casco nu. (ZOGAHIB, 2008).

O maior foco desta dissertação é a *Charter Party* na forma *Voyage Charter*, cujo modelo proposto trata mais especificamente. Na *Voyage Charter* existem algumas definições importantes, tais como: *layday* e *laytime*, que serão explicadas a seguir.

2.2 CÁLCULO DE PRÊMIO E MULTA EM OPERAÇÃO PORTUÁRIA

Entende-se como porto o local provido de berços e com dimensões mínimas para receber navios e operá-los de forma segura. A posição geográfica do porto determina o nível de intervenção da natureza e o impacto sobre as operações que ali serão realizadas, ou seja, preferencialmente, os portos devem ser protegidos de ventos, correntes e ondas (UNCTAD, 1983).

O conjunto das operações realizadas pelo porto para movimentação da carga entre o modo marítimo e o modo terrestre é conhecido como operação portuária. O porto deve ser hábil para realizar no mínimo as seguintes funções (PAQUETTE *et al.*, 1982):

- Carregar e/ou descarregar cargas de navios com eficiência e rapidez;
- Prover adequado sistema de armazenagem para as cargas e,
- Prover conexões, ferroviária ou rodoviária, para movimento da carga dentro e fora da área do porto.

A competitividade portuária é fruto do nível de prestação de serviços e, como premissa, um porto eficiente deve minimizar a permanência do navio, ou seja, a soma da espera por atracação, operação e liberação do navio. Os principais fatores que geram a eficiência portuária são o desempenho operacional, a infraestrutura existente e o grau de segurança vinculado à operação (FIGUEIREDO, 2001).

Dentre as características físicas dos portos, o berço de atracação é o espaço físico destinado à ocupação dos navios em um cais de porto, onde as embarcações atracam para realizar com segurança a operação portuária de carregamento ou descarga das cargas (CNT, 2006). Nos berços ficam localizados os equipamentos responsáveis por esta movimentação, que variam de acordo com a operação realizada, com o tipo de carga, o tamanho do navio e características do berço.

A eficiência de um porto é medida pela unidade de carga processada anualmente nas operações de carregamento ou descarga, ou seja, os portos mais eficientes são capazes de processar ou movimentar maior unidade de carga em um menor tempo (GOMES, 1982).

A maioria dos portos busca reduzir seus custos por meio da eficiente utilização dos seus recursos. Destacam-se nesta dissertação os berços como o recurso de maior importância, pois o planejamento e agendamento dos berços, melhora a satisfação dos consumidores e aumenta a movimentação nos portos, gerando assim altos rendimentos para toda a cadeia.

Para formação da taxa de carregamento e descarga, o cálculo considera o tipo de carga, tipo e tamanho da embarcação, disponibilidade e tamanho da equipe de operação do porto e do nível de mecanização e métodos de manuseio da carga (PAQUETTE *et al.*, 1982). É fundamental que os indicadores operacionais sejam previamente negociados entre o armador e embarcador, com o objetivo de realizar a operação do navio e minimizar a permanência do mesmo no porto. A seguir serão abordados os principais indicadores operacionais, seus conceitos e a aplicabilidade neste estudo.

Quando o navio chega ao porto e está pronto para realizar as operações de embarque ou desembarque da carga, o armador emite o aviso de prontidão *Notice of Readiness* (NOR). Cabe ao embarcador dar o aceite ao navio apenas se o mesmo estiver física e legalmente pronto para realizar suas operações e, ainda assim, de acordo com a aderência ao período de *layday* contratualmente acordado, cuja regra de cálculo será apresentada a seguir. Após o aceite, o embarcador tem um período chamado *turntime*, contratualmente acordado para que realize os últimos ajustes antes da operação do navio, dentre os quais citamos o preparo da documentação e o preparo da carga que será movimentada. (KAO *et al.*, 1995).

Os principais conceitos a seguir foram adaptados da obra de Wilson (1988). O período de *layday* ou janela de atracação é definido em contrato entre o embarcador e o armador para estabelecer um período dentro o qual o navio deverá chegar ao porto e estar disponível para operar. Como será visto mais adiante, caso o navio

chegue ao porto antes ou após o período de *layday* acordado, caberá exclusivamente ao embarcador definir o tempo para aceite e atracação do navio.

Quanto maior for o período de *layday*, maior a incerteza de quando o navio poderá chegar ao porto. O armador prefere que o período de *layday* seja maior, em contrapartida, o embarcador opta por um período de *layday* menor, visto a possibilidade de antecipar ordem de atracação dos navios que serão atendidos e a melhor organização do porto.

O *laytime* ou estadia é o período acordado entre as partes do contrato, em que o armador do navio o mantém a disposição do porto para as operações de carga e/ou descarga, sem a necessidade de pagamento extra por esse período. Desta forma, entende-se como sobre estadia a utilização do navio por um período acima da estadia acordada entre o armador e embarcador.

A metodologia de contagem do *laytime* pode ocorrer de duas maneiras e está relacionada diretamente com a chegada do navio dentro ou fora do período de *layday*. Adiante serão abordados conjuntamente os conceitos de *layday* e *laytime* a fim de exemplificá-los e melhorar o entendimento.

O tempo de realização da operação de carga ou descarga do navio varia em função dos tempos de: manobra para atracação e desatracação, tempo de preparo da documentação e tempo de preparo da carga que será movimentada. Varia também em função das características do berço onde será realizada a operação portuária, devido à capacidade dos equipamentos que realizam a movimentação da carga.

A principal penalidade mundialmente utilizada na relação entre o embarcador e o armador é chamada *demurrage* ou multa. Trata-se de uma compensação financeira paga pelo embarcador ao armador em função da demora ou retenção do navio, que não seja por responsabilidade do armador, nas operações de carga ou descarga, e cujo tempo ultrapasse o *laytime* acordado em contrato (COLLYER, 2006).

A multa possui uma finalidade reparatória, principal propósito da indenização. O valor da multa varia conforme negociação entre armador e embarcador, e tem como objetivo retornar ao armador os custos fixos incorridos pelo atraso, acrescidos do custo de oportunidade do navio.

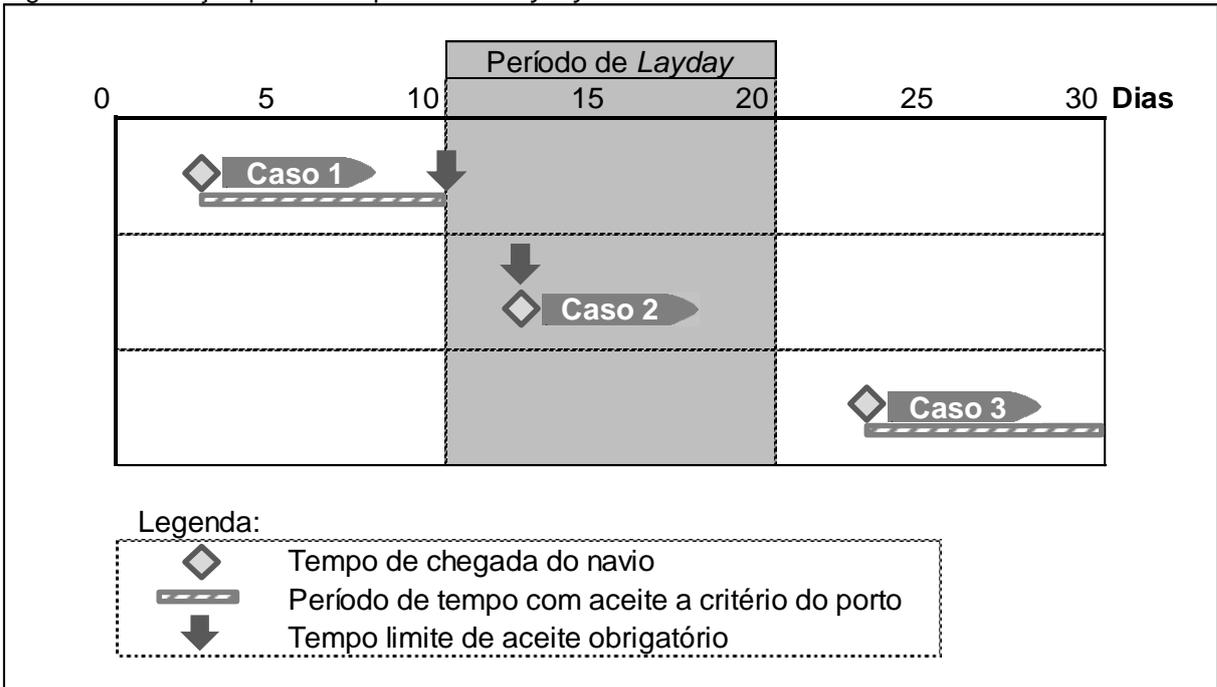
Para que haja um equilíbrio contratual, o embarcador deve buscar um período de *laytime* suficiente para as operações de carga e/ou descarga e, ainda assim, um custo de multa que não seja tão alto ao ponto de cobrir todos os custos do armador e o deixe preferir que seu navio continue parado.

O armador por sua vez, deve buscar o menor período de *laytime* que possibilite o porto operar de forma eficiente, sob o risco de pagar indenização em caso de sobre estadia, além de um custo de multa que remunere de forma suficiente as perdas com uma possível demora.

Em contrapartida à penalidade e com o intuito de premiar o embarcador pela eficiência na operação do navio, ou seja, pela realização da operação de carga ou descarga num tempo menor que o acordado, o armador remunera o embarcador com o *dispatch* ou prêmio. Em outras palavras, pode-se dizer que o prêmio nada mais é que o oposto da multa.

Internacionalmente, como prática de mercado, o embarcador e o armador acordam em contrato o valor para o prêmio como a metade do valor acordado para a multa. Porém existem negociações onde o valor de prêmio e multa são iguais e também casos onde a definição destes valores não obedeça a uma regra de proporcionalidade.

Para cálculo da multa e do prêmio, a primeira informação a ser conhecida é se o navio chegou antes, durante ou depois do período de *layday*. A Figura 1 apresenta as três situações: No Caso 1, o navio chegou antes do período de *layday*; no Caso 2 o navio chegou dentro do período de *layday* e no Caso 3, o navio chegou depois do período de *layday*. O embarcador deverá seguir uma regra de atracação específica para cada um dos três casos. Essas regras são descritas a seguir.

Figura 1 - Utilização prática do período de *layday*

Fonte: Autor (2015)

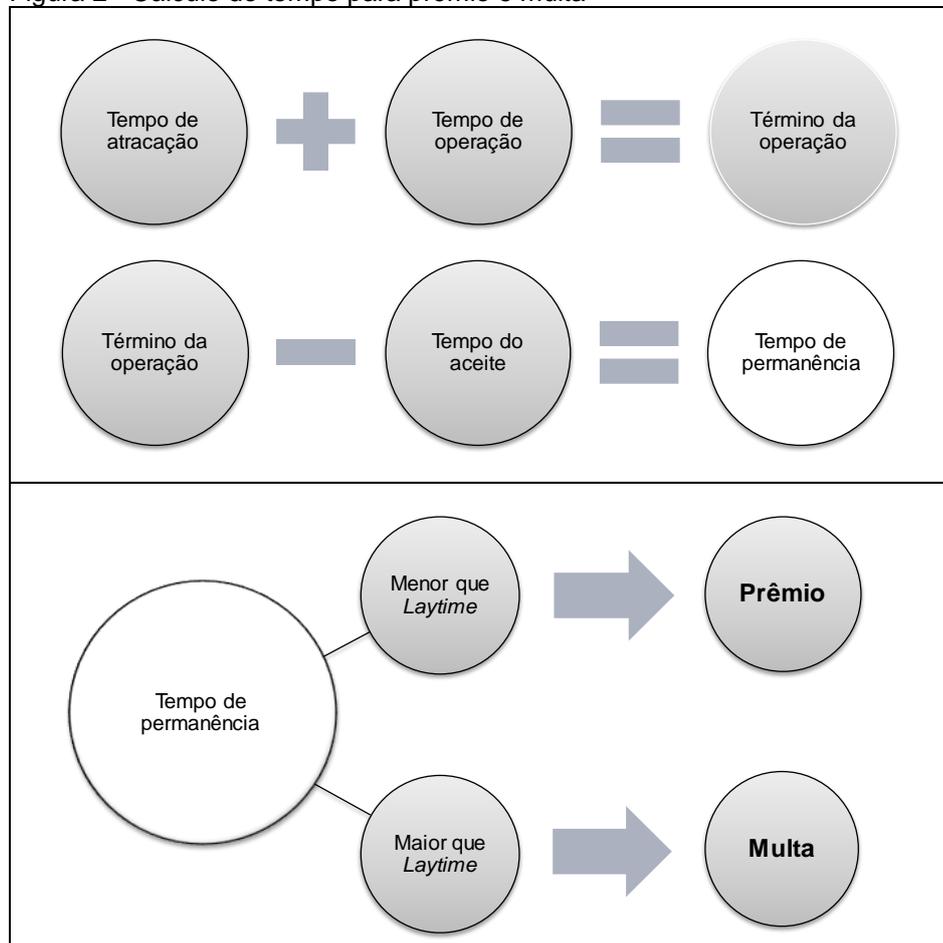
No Caso 1, quando o navio chega ao porto antes do início do período de *layday*, o embarcador pode optar em dar o aceite ao navio antes do período de *layday*, pois a partir do aceite começa a incorrer o *laytime*. Caso o embarcador não dê o aceite antes do período de *layday*, ele deve dar o aceite ao navio no tempo de início do período de *layday*, pois a partir deste momento incorre o *laytime*, Figura 1.

No Caso 2, quando o navio chega dentro do período de *layday*, o embarcador necessariamente deve emitir o aceite ao navio no momento da chegada do navio no porto, mesmo que o navio não seja operado de imediato. Desta forma, usualmente os embarcadores geram uma preferência pela atracação imediata destes navios, a fim de reduzir o risco do pagamento de multa, Figura 1.

No Caso 3, quando o navio chega após o período de *layday*, o embarcador pode optar em dar o aceite a qualquer momento posterior à chegada do navio. Usualmente o embarcador emite o aceite no momento que está disponível para atracar o navio, evitando assim qualquer pagamento de multa. Neste caso, o aceite do embarcador e o início da contagem do *laytime* se dará no momento da atracação do navio, Figura 1.

Conforme visto anteriormente, a atracação do navio pode ocorrer exatamente no tempo do aceite ou em um tempo posterior. A soma do tempo de atracação com o tempo de operação do navio, que representa o tempo de término da operação do navio no porto, se subtraído ao tempo de aceite, dará o tempo de permanência do navio no porto. Se este tempo de permanência for maior que o *laytime* acordado, o embarcador pagará multa ao navio, caso seja menor, o embarcador receberá prêmio do armador e caso seja zero não haverá multa nem prêmio na operação do navio. Essas três situações podem ser vistas na Figura 2.

Figura 2 - Cálculo do tempo para prêmio e multa



Fonte: Autor (2015)

Como o embarcador, neste estudo, é o proprietário do porto, ele estende estes quesitos operacionais do *Charter Party* como metas operacionais visando obter um melhor resultado financeiro, e assim, obter mais prêmio que multa na sua relação com os armadores.

Nos contratos de *Charter Party* do tipo *Time Charter* não há a cobrança de prêmio e multa. No entanto, vários *trades*, dentre eles citam-se: minérios e agrícolas adotam contratos adicionais onde são definidos o período de *laydays* e o *laytime* para os navios em um contrato adicional entre o embarcador, o armador e o embarcador a fim de se estabelecer níveis de serviço do porto. Isto também ocorre, pois o embarcador necessita de uma definição do período em que o navio estará disponível para operar e, assim, planejar sua logística de entrega ao porto das cargas, normalmente em grande volume, a serem transportadas pelo navio. Com base neste contrato adicional, o embarcador define o aceite de um navio sob o contrato *Charter Party* do tipo *Time Charter* da mesma forma explicada anteriormente para um contrato *Charter Party* do tipo *Voyage Charter*.

2.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O PAB tem por objetivo atender um conjunto de navios, num layout de berços de um porto, dado um horizonte de tempo de planejamento, a fim de se obter uma sequência de atendimento aos navios onde as principais decisões envolvem a escolha de onde e quando os navios deverão atracar (CORDEAU *et al.*, 2005).

O PAB atribui aos navios anunciados para operar no porto, uma ordem de atracação, um berço para operar e um tempo para operação de navio, de forma que uma função objetiva seja otimizada (ROSA *et al.*, 2012).

O principal objetivo destes estudos é minimizar a soma do tempo de espera e operação dos navios, ou seja, minimizar o tempo de permanência no porto. A função objetivo do PAB também pode ser mensurada em termos de custo (BIERWIRTH e MEISEL, 2010).

O PAB é um dos problemas mais críticos e amplamente estudados quando se trata de operação portuária. Significantes contribuições vêm sendo realizadas, por meio de métodos e técnicas para resolver o PAB em terminais de contêineres. (UMANG *et al.*, 2012).

Devido ao fato de atualmente a maior parte do transporte de cargas no mundo ser realizada com a utilização de contêineres, cada vez mais os estudos relacionados aos problemas dos portos são direcionados a este segmento, e por sua vez os estudos necessários aos problemas existentes nos portos que operam cargas a granel, acabam sendo pouco trabalhados (BARROS, 2010).

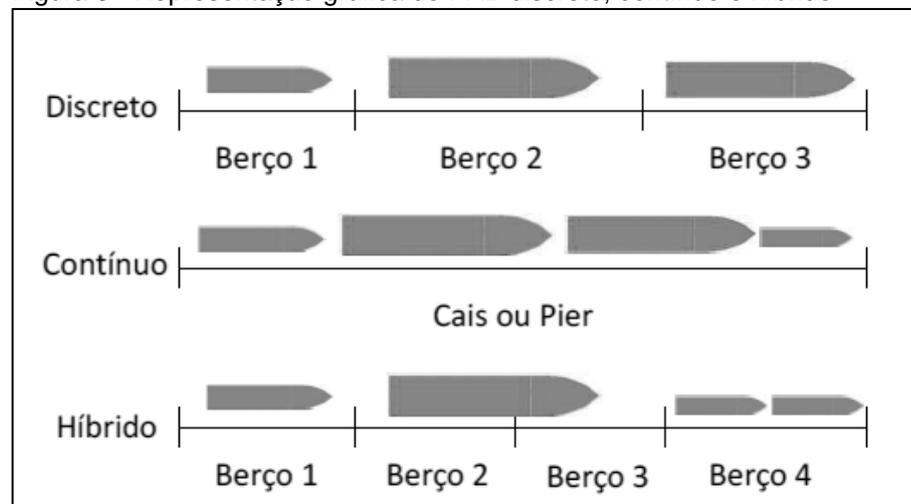
Uma das principais diferenças entre os estudos de PAB para terminais de contêiner e portos de cargas a granel, está nos equipamentos específicos necessários para realizar as operações de carga e descarga, principalmente no costado. Enquanto nos terminais de contêiner as cargas são unitizadas em contêineres de 20 ou 40 pés, principalmente, em portos de cargas a granel são necessários equipamentos específicos para realizar as operações, inclusive com características muito distintas quando se tratam de uma operação de carga ou uma operação de descarga (UMANG *et al.*, 2012).

Em modo geral, entende-se que o PAB independe da particularidade do porto em operar carga em contêineres ou a granel. Serão abordadas adiante as definições sobre o problema de restrição temporal e o problema de restrição espacial, fundamentais para o entendimento do PAB. A restrição temporal está relacionada aos horários de chegada dos navios, horário de atracação, tempo de espera na fila de navios, horário de desatracação dentre outros e são divididas principalmente em chegada estática e chegada dinâmica (IMAI *et al.*, 2001; CORDEAU *et al.*, 2005; STAHLBOCK e VOSS, 2008; BIERWIRTH e MEISEL, 2010).

Na chegada estática os navios já estão disponíveis para atracação, ou seja, quando os navios já estão no porto ou mesmo quando estão perto do porto, podendo adiantar o seu tempo de chegada sem impactar na fila de atracação do porto. A chegada dinâmica possui a característica de horários fixos para chegada, atracação, operação e desatracação dos navios. Estes horários de início e término são chamados de “janelas de atracação” (IMAI *et al.*, 2001).

A restrição espacial ou restrição dimensional é fator determinante na aceitação dos navios para atracação e operação no porto, tendo como base o layout do cais e as dimensões do navio, tais como calado, comprimento e boca do navio. Na Figura 3, apresentam-se os três tipos de restrição espacial: PAB Discreto (PABD), PAB Contínuo (PABC) e o PAB Híbrido (PABH) (BIERWIRTH e MEISEL, 2010; IMAI *et al.*, 2005).

Figura 3 - Representação gráfica do PAB discreto, contínuo e híbrido



Fonte: Adaptado de Bierwirth e Meisel (2010)

No PABD um cais é segmentado em berços, onde cada navio pode ocupar apenas um determinado berço. A dimensão do berço é um fator determinístico para restrição espacial e atracação do navio. Usualmente no PABD os berços possuem características específicas para atracação de navios que operam determinados produtos, ou seja, um berço de descarga de soja não opera carregamento de minério de ferro, pois entre outros fatores os equipamentos utilizados nestas operações são muito distintos. Por sua vez no PABC o cais não possui segmentação em berços, porém pode apresentar posição restritiva para atracação dos navios. Uma característica deste modelo é a operação de navios que necessitam dos mesmos tipos de equipamento para operar. O PABH possui as características tanto do PABD quanto do PABC (BIERWIRTH e MEISEL, 2010; IMAI *et al.*, 2005).

Em sua maioria, os estudos de PAB mostram que os portos que operam cargas a granel possuem a restrição espacial do PABD, enquanto os portos que operam cargas em contêineres possuem a característica do PABC ou PABH.

O levantamento em questão apresenta uma análise sobre as contribuições científicas dos estudos de PAB. Serão apresentadas adiante de maneira cronológica as publicações selecionadas sobre o PAB.

2.3.1 PAB discreto (PABD)

Imai *et al.* (1997) foram os primeiros a introduzir a ideia de que a regra FCFS deveria ser abandonada para atribuições ótimas de navios a berços. Desenvolveram uma heurística para minimizar o tempo de espera.

Imai *et al.* (2001) complementaram o estudo anterior com uma proposta de janelas de atracação para portos cujos navios possuem chegada dinâmica e os berços taxas de produtividade distintas. Foi criado um modelo utilizando a relaxação langrangeana.

Além dos estudos realizados por Imai *et al.* (1997) e Imai *et al.* (2001), o PABD com chegada estática, também foi estudado por Hansen e Oguz (2003), Theofanis *et al.* (2007) e Imai *et al.* (2008). Todos utilizaram uma função objetivo para minimizar o

tempo total de operação e os desvios entre o sequenciamento de chegada e atendimento dos navios, porém cada estudo possui sua particularidade. Dentre estes estudos, Hansen e Oguz (2003) propuseram um modelo mais compacto de Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

Imai *et al.* (2003) realizaram também estudos de PABD com chegada dinâmica, assim como Monaco e Sammarra (2007). Adicionalmente ao PABD com chegada dinâmica, Nishimura *et al.* (2001) propuseram a utilização de Algoritmo Genético, ao passo que Zhou *et al.* (2008) e Han *et al.* (2010), consideraram chegada e o tempo de operação do navio como um comportamento estocástico, ou seja, de forma probabilística.

Cordeau *et al.* (2005) utilizaram a meta-heurística *Tabu Search* para o problema de roteamento de veículos multi depósitos com janela de tempo, onde os navios são vistos como clientes e os berços como depósitos.

Golias *et al.* (2006) e Golias (2007) consideraram como variáveis estocásticas os horários de chegada e tempos de movimentação de navios. Golias *et al.* (2010) propuseram uma formulação para analisar o PABD por meio de Algoritmo Genético, com o objetivo de refletir uma política de meio ambiente, maximizar a produtividade do berço e minimizar o consumo de combustível dos navios.

Hansen e Oguz (2003) e Hansen *et al.* (2008) propuseram o uso da meta-heurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) que apresentou resultados superiores aos encontrados por outros trabalhos que utilizaram outras meta-heurísticas, como Nishimura *et al.* (2001). Han *et al.* (2006) e Zhou *et al.* (2006) utilizaram Algoritmo Genético para resolver o problema que considera a chegada dos navios como estocástica e restrição do tempo de espera. Imai *et al.* (2008) propuseram a utilização do Algoritmo Genético com o objetivo de minimizar os navios rejeitados, ou seja, os navios que não são atendidos dentro do prazo máximo acordado.

Lorenzoni *et al.* (2006) desenvolveram um modelo matemático com base no problema de *Scheduling* para solucionar o problema de alocação de recursos para atender os navios visando reduzir o pagamento de multas. No entanto, eles não se preocuparam em elaborar a sequência de atendimento dos navios e optaram por manter a regra *First Come First Served* (FCFS), ou seja, o primeiro navio a chegar é o primeiro navio a ser atendido. Em contrapartida, o modelo proposto neste estudo tem por hipótese a flexibilização da regra FCFS e, a partir desta flexibilização buscar definir uma sequência ideal para atracação dos navios considerando os tempos de chegada do navio e as cláusulas do *Charter Party* com enfoque operacional.

O objetivo do modelo proposto neste estudo é similar ao de Lorenzoni *et al.* (2006), ou seja, a maximização do resultado financeiro. Mas neste ponto, os estudos também diferem, pois no modelo por eles proposto considera somente os valores pagos de multa e não leva em conta valores recebido de prêmio, enquanto no modelo proposto neste estudo leva em conta o resultado financeiro advindo dos valores recebidos de prêmio menos os valores pagos de multa. Considerando como base o trabalho elaborado por Cordeau *et al.* (2005), Mauri *et al.* (2008) utilizaram uma abordagem baseada em geração de colunas e apresentaram uma melhora no tempo de execução para encontrar as soluções, assim como Mauri *et al.* (2010) trataram como um Problema de Roteamento de Veículos, utilizando a heurística *Algorithm Training Population / Linear Programming* (PTA/LP).

Buhrkal *et al.* (2011) realizaram um comparativo entre os três modelos principais de PAB utilizando uma perspectiva computacional por meio de extensos testes numéricos. Ting *et al.* (2013) formularam um modelo de Programação Inteira Mista (PIM) a partir da atribuição dos navios aos berços e com o objetivo de minimizar o tempo total de espera e o tempo de manuseio para os navios. Rosa *et al.* (2012) sugeriram a criação do PAB Múltiplas Cargas (PAB-MC), por meio de um modelo matemático baseado em PLIM e comparado com soluções reais.

2.3.2 PAB contínuo (PABC)

Garey *et al.* (1979) propuseram uma análise do PABC representado como um problema de corte bidimensional com restrições. Solucionar o PABC considerando a chegada estática, ou seja, sempre com disponibilidade para atracação, e minimizando o tempo de permanência do navio no porto, foi proposto nos estudos de Li *et al.* (1998), Guan *et al.* (2002), Park *et al.* (2002) e Guan e Cheung (2004).

Tratando a particularidade de cada proposta, Li *et al.* (1998) o resolveram por meio da heurística, assim como Guan *et al.* (2002), porém não apresentaram ou discutiram os exemplos numéricos. Park *et al.* (2002) utilizaram a PLIM, com o objetivo de minimizar as penalidades relacionadas aos atrasos e custos decorrentes da alocação inadequada dos navios nos berços. Um caso raro na prática é proposto por Brown *et al.* (1994 e 1997) e Lee e Chen (2008) que em seus estudos, trataram da movimentação dos navios no cais durante a operação.

Lim (1998 e 1999) e Tong *et al.* (1999) consideraram que todos os navios já estavam no porto. Lim (1998), Tong *et al.* (1999) propuseram minimizar o comprimento utilizado do cais em dado tempo de carregamento. Lim (1999), Tong *et al.* (1999) e Goh e Lim (2000) consideraram como tempos de atracação os mesmos tempos de chegada, assim, ao chegar ao porto o navio realizava diretamente a atracação. Lim (1998) propôs minimizar espaço no cais considerando que o navio não seria movimentado no cais até o seu momento de saída, com a utilização de uma versão do problema de empacotamento bidimensional. Tong *et al.* (1999) utilizaram a meta-heurística *Ant Colony Optimization* (ACO). Imai *et al.* (2005) e Chang *et al.* (2008) consideraram também o calado e a relação do tempo de carregamento com a posição de atracação do navio no berço contínuo. Esta proposta sugeriu uma primeira etapa que resolveu o problema de forma geral e uma segunda modificando as posições dos navios.

Wang *et al.* (2007) propuseram solucionar o PABC com chegadas estáticas, minimizando os custos de penalização para navios rejeitados, por meio da utilização da heurística *Stochastic Beam Search*, que conseguiu resolver instâncias com até 400 navios.

Moon (2000), Park *et al.* (2002), Park *et al.* (2003), Kim *et al.* (2003) e Briano *et al.* (2005) trataram da minimização de atrasos e, por conta dos elevados tempos de execução, todos utilizaram heurística para solução do problema, tais como Relaxação Langrangiana e *Simullated Annealing*. Park *et al.* (2002) e Kim *et al.* (2003) testaram o método em instâncias com até 20 navios e o resultado foi satisfatório.

A utilização do *Simulated Annealing* foi proposta por outros autores com aplicações diferenciadas. Moorthy *et al.* (2006) utilizaram o agendamento estocástico de projetos aplicada ao tempo de espera dos navios quando a chegada e operação seguem distribuições normais. Barros *et al.* (2011) utilizaram a Programação Linear Inteira (PLI), para o PAB em portos graneleiros com restrição de estoque e variação de maré. Xu *et al.* (2012) consideraram a incerteza no tempo de chegada e operação dos navios, desenvolvendo um algoritmo de agendamento de berços baseado no *Simulated Annealing* e algoritmo *branch-and-bound*. Oliveira *et al.* (2012) aplicaram o método *Clustering and Search* para PABC com chegada dinâmica e comparam o *Simulated Annealing* com outros métodos existentes.

Arabshahi *et al.* (2010) propuseram uma função objetivo de minimizar o tempo de espera dos navios utilizando um modelo onde os navios possuem um ponto ótimo no cais para atracação. Penalizações são aplicadas para a disparidade entre o ponto de atracação e o ponto ótimo

2.3.3 PAB híbrido (PABH)

Os estudos sobre PABH localizados na literatura utilizaram em sua maioria a chegada dinâmica. Dentre eles Chen e Hsieh (1999) e Moorthy e Theo (2006) consideraram fixo o tempo de carregamento e de forma estocástica a data de chegada dos navios. Cordeau *et al.* (2005) e Imai *et al.* (2007) consideraram ainda o tempo de operação dependente da posição de atracação do navio. Nishimura *et al.* (2001) e Cheong *et al.* (2010) consideraram restrições de calado como fator determinante para alocação dos navios.

Chen e Hsieh (1999) propuseram a formulação PLIM para resolver o PABH, ao passo que Hoffarth *et al.* (1994), Nishimura *et al.* (2001), Cordeau *et al.* (2005), Imai *et al.* (2007) e Cheong *et al.* (2007) estudaram o PABH variando as funções objetivo e restrições.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo é apresentada a classificação da pesquisa, as etapas desenvolvidas no estudo, uma breve apresentação do Porto de Tubarão, tomado como exemplo para aplicação do modelo proposto, e as instâncias desenvolvidas para os testes.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa realizada pode ser classificada quanto aos fins e quanto aos meios, conforme proposto por Vergara (2011).

Quanto aos fins, é classificada como aplicada e metodológica, conforme as seguintes evidências das classificações apresentadas:

- Aplicada: A pesquisa tem por objetivo gerar conhecimento para aplicação prática do modelo matemático que visa maximizar o somatório entre a receita de prêmio e a despesa de multa para o embarcador;
- Metodológica: A partir da elaboração de um modelo matemático que define uma proposta de prioridade para atracação dos navios em um porto.

Quanto aos meios de investigação, é classificada como bibliográfica, documental e de campo, conforme as seguintes evidências da classificação apresentadas:

- Bibliográfica: A base desta pesquisa foram os estudos publicados em artigos, revistas, periódicos, dissertações, teses, relatórios, leis e decretos, apresentados de forma resumida no referencial teórico desta dissertação;
- Documental: As informações operacionais informadas nesta dissertação são oficiais e divulgadas ao mercado por meio dos órgãos reguladores;
- De campo: Foram realizadas entrevistas com especialistas em operação portuária e agências de navegação, visando exclusivamente o entendimento e aplicação prática do Referencial Teórico.

3.2 ETAPAS DESENVOLVIDAS

Etapa 1: Definição do Problema

O tema desta dissertação surgiu na identificação da relevância financeira que a organização da ordem de atendimento dos navios gera para o porto, uma vez que a grande maioria dos portos utiliza a regra de atracação FCFS.

A opção levantada para gerar um aumento de receita ao embarcador foi elaborar um modelo matemático para solucionar o PAB com uma abordagem financeira, a partir do aumento da receita de prêmio e redução da despesa de multa.

Etapa 2: Fundamentação Teórica

Nesta etapa foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o contrato de *Charter Party*, cálculo de prêmio e multa na operação portuária e PAB, onde foi notada a ausência de estudos com a elaboração de um modelo matemático para maximizar a receita do embarcador a partir de uma visão financeira considerando o prêmio e a multa.

Etapa 3: Elaboração do Modelo

Para resolver o PAB a partir do cálculo de prêmio e multa, foi desenvolvido um modelo matemático PLIM e transcrito na linguagem do *solver* CPLEX 12.6.

O modelo elaborado foi validado com cenários de teste criados especificamente para este propósito e executados no *solver*. Os resultados gerados foram comparados com os resultados dos testes realizados manualmente e se obteve resultados satisfatórios.

Etapa 4: Aplicação do Modelo

Devido à representatividade na balança comercial brasileira e características ideais para aplicação do modelo matemático proposto foi utilizado o Porto de Tubarão como porto a ser analisado.

Para garantir a confidencialidade das informações, foram utilizadas nesta dissertação informações públicas, adquiridas junto aos órgãos reguladores, e históricos de movimentação portuária no Porto de Tubarão, multiplicadas aleatoriamente por um fator de ajuste.

Etapa 5: Elaboração das Instâncias

Nesta dissertação foram elaboradas 30 Instâncias com o objetivo de validar a aplicabilidade do modelo matemático proposto em um porto existente e assim fornecer uma ferramenta gerencial que possibilite a tomada de decisão estratégica, na organização dos navios, com uma abordagem financeira.

Etapa 6: Execução do Modelo

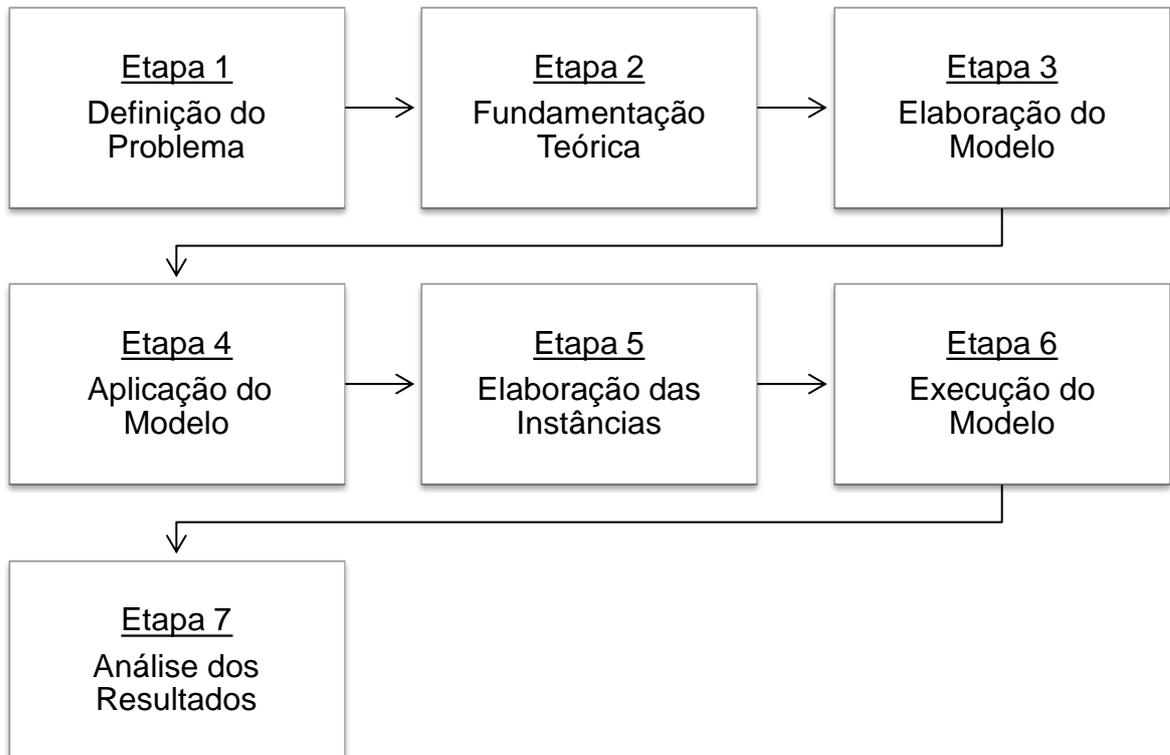
O modelo matemático proposto foi executado no *solver* para cada uma das 30 instâncias elaboradas, com tempo máximo de 14.400 segundos para execução de cada instância.

Etapa 7: Análise dos Resultados

Os resultados obtidos foram comparados entre si a fim de avaliar o correto funcionamento de ferramenta desenvolvida e analisar aquelas instâncias que se tornariam viáveis para aplicação no caso real.

A Figura 4 apresenta a ordem de execução das etapas desenvolvidas nesta dissertação.

Figura 4 - Etapas Desenvolvidas da Metodologia da Pesquisa



Fonte: Autor (2015)

3.3 PORTO EM ESTUDO

Criada pelo governo brasileiro em junho de 1942 e privatizada em maio de 1997, a empresa Vale S/A está presente em cinco continentes, sendo no mundo, uma das maiores mineradoras, a maior produtora de minério de ferro e a segunda maior de níquel. A empresa atua nos seguintes segmentos: ferrosos, metais básicos, carvão, fertilizante e logística, sendo este último o qual será abordado a seguir (VALE, 2015b).

No Brasil a Vale S/A possui uma logística de operação com mais de 9 mil km de malha ferroviária e 10 terminais portuários próprios. Em abril de 1966 inaugurou o Porto de Tubarão localizado em Ponta de Tubarão, Vitória (ES), cujas condições marítimas são favoráveis à operação portuária devido à profundidade natural, à baixa altura de ondas e velocidade baixa dos ventos (VALE, 2015b).

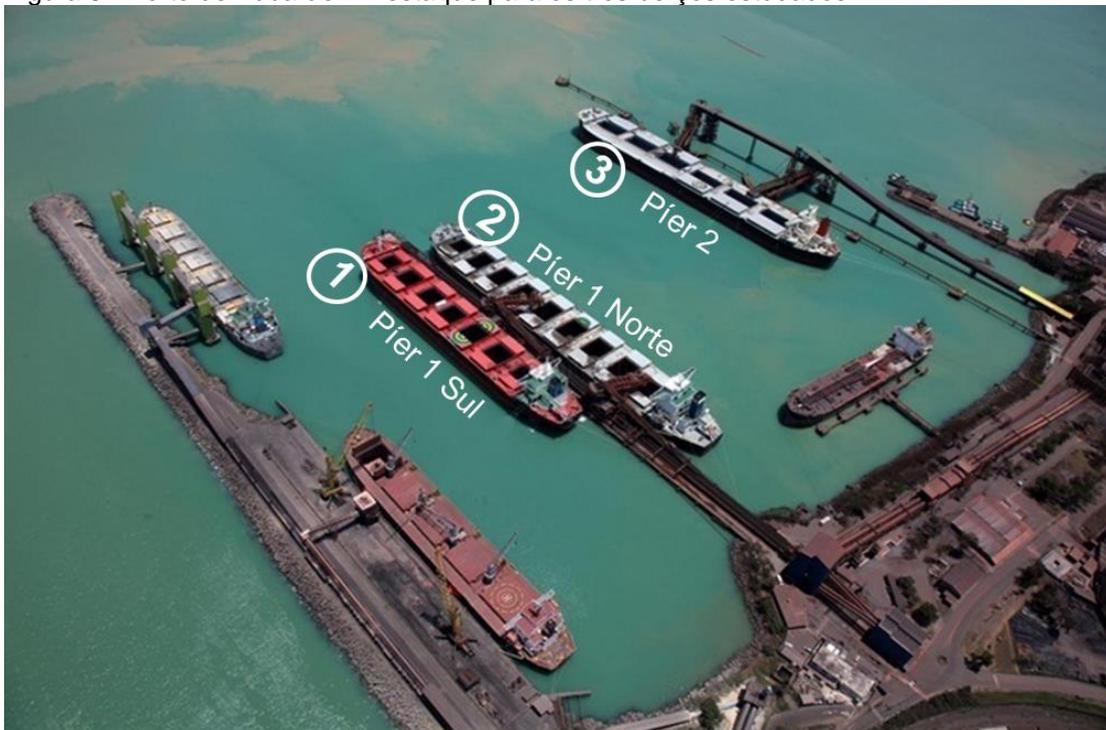
O Porto de Tubarão se destaca em um complexo portuário com área total aproximada de 14 km². Dentre seus 6 berços de atracação, será abordado nesta dissertação os 3 berços de atracação dedicados ao carregamento de minério de ferro e pelotas, sendo eles: (1) Píer 1 Sul, (2) Píer 1 Norte e (3) Píer 2, cujas características estão descritas na Tabela 3 e apresentadas na Figura 5 (PERINI, 2010).

Tabela 3 - Características Operacionais dos Berços de Granéis Minerais no Porto de Tubarão.

Referência	Berço	Operação	Carga	Calado do Berço (m)	Capacidade do Navio (ton x 10 ³)	Taxa operacional (ton x 10 ³)
1	Pier 1 Sul	Carregamento	Minério de Ferro e Pelotas	16	120	12
2	Pier 1 Norte	Carregamento	Minério de Ferro e Pelotas	16	180	12
3	Pier 2	Carregamento	Minério de Ferro e Pelotas	24	405	16

Fonte: Perini (2010)

Figura 5 - Porto de Tubarão – Destaque para os três berços estudados



Fonte: Adaptado de Vale (2015b)

São atendidos aproximadamente 600 navios graneleiros anualmente no Porto de Tubarão, com uma movimentação total superior a 100 milhões de toneladas de minério de ferro e pelotas.

O contrato de transporte mais utilizado entre os armadores de navios que movimentam graneis minerais no Porto de Tubarão é o contrato de *Charter Party*. Como explicado em detalhes no Capítulo 2, a característica em destaque do contrato *Charter Party*, em foco neste estudo, é a aplicação da cláusula de prêmio e multa para o contrato de operação portuária.

Devido à utilização da regra FCFS pelo Porto de Tubarão, identificou-se a oportunidade de flexibilizar esta regra e elaborar uma ordem para atracação dos navios, com objetivo de maximizar a relação existente entre a receita total de prêmio e a despesa total de multa, por meio da formulação de um modelo matemático para solucionar o PAB.

Conforme será visto a seguir, a análise dos resultados das instâncias testadas fornece ao Porto de Tubarão um conjunto de informações para análise de oportunidade a partir de ajustes nas cláusulas contratuais.

3.4 INSTÂNCIAS DESENVOLVIDAS

Para avaliar o modelo matemático proposto, os dados operacionais das movimentações portuárias realizadas no Porto de Tubarão foram obtidos junto ao sítio da Praticagem do ES (PRATICAGEM, 2015) e correspondem ao mês de junho de 2015. As informações operacionais obtidas foram: quantidade de navios movimentados, data de chegada dos navios, volume de carga movimentada, tempo de operação e berço utilizado.

As informações comerciais foram formuladas com base em referencial de mercado obtidas a partir de históricos de movimentação portuária no Porto de Tubarão. Os dados gerados foram: período de tempo de *layday* e tempo de *laytime* acordado.

As informações financeiras também foram formuladas com base em referencial de mercado, obtidas a partir de históricos comerciais do Porto de Tubarão. Porém, a fim de conservar a confidencialidade das informações da empresa, todos os dados foram multiplicados aleatoriamente por um fator de ajuste. Os dados gerados foram:

o valor de prêmio e o valor de multa, acordados entre armador do navio e o embarcador.

O objetivo da busca por uma referência de informações fidedignas se deve ao interesse desta dissertação em apresentar uma análise mais próxima possível da realidade do porto estudado.

A programação dos navios no Porto de Tubarão é realizada diariamente com visão quinzenal, assim, foi decidido testar o modelo para um horizonte de planejamento de 15 dias e considerando 25 navios com carregamento previsto para o porto. O objetivo é testar a capacidade do modelo por meio da criação de instâncias reais, a fim de prover à equipe de planejamento do porto uma ferramenta que apoie o planejamento dos navios.

A partir dos dados levantados os marcos foram elaboradas conforme apresentado na Tabela 4. A coluna Grupo informa o grupo das instâncias que serão analisadas. A coluna Instância informa o número da instância.

A coluna *Layday* informa o prazo em dias negociado entre armador do navio e o embarcador, para que o navio chegue ao porto com preferência para operação. Os portos mundiais que atendem navios graneleiros costumam operar com um *layday* de 10 dias, assim como o Porto de Tubarão. Desta forma, foram criadas quatro possibilidades de *layday* para teste do modelo matemático proposto. São eles: 5 dias, 10 dias, 15 dias e 20 dias.

Na coluna *Laytime* é apresentado o tempo de operação negociado entre armador do navio e o embarcador. Este tempo é definido para que o porto realize a operação de carregamento do navio, e calculado entre o aceite do navio e o término da operação de carregamento. O termo Padrão informado na Tabela 4 coluna *Laytime*, significa que cada navio possui um *laytime* distinto, conforme negociação realizada. Nos demais casos onde consta Padrão +10%, +20%, +30% ou +40%, significa que foi aplicado para cada instância, respectivamente, em cada navio da instância, o aumento percentual informado.

O cálculo para definição do tempo de carregamento utilizou uma taxa operacional com 80% da produtividade de carregamento dos berços, conforme Tabela 3 anteriormente apresentada. Sobre este tempo foram acrescentadas 16 horas, das quais 12 horas são referentes ao *turntime*, cuja definição foi mencionada no Capítulo 2, e outras 4 horas referentes às manobras de atracação e desatracação do navio. Na Tabela 4 coluna Tempo de Carregamento, o termo Padrão informado significa que cada navio possui um tempo de carregamento para cada berço de atracação, ou seja, o tempo de carregamento é definido navio a navio e berço a berço. Nos demais casos onde consta Padrão -10%, -20%, -30% ou -40%, significa que o percentual informado foi aplicado para todos os tempos de carregamento, sem que o respectivo percentual incida sobre os tempos de *turntime* e manobras.

Na coluna Valor do Prêmio é informado o percentual do valor do prêmio correspondente ao valor da multa. Utiliza-se Padrão quando aplicada a regra mais utilizada no mercado, onde o valor do prêmio corresponde a 50% do valor da multa. Foram criadas três outras possibilidades de Valor de Prêmio para análise, sendo elas: 25% da Multa, 75% da Multa e 100% da Multa.

A coluna final da Tabela 4, intitulada Quantidade de Berços, informa o número de berços utilizados na respectiva instância analisada. No caso real do Porto de Tubarão, nomeado Padrão, existem 3 berços de atracação de navios com as respectivas capacidades: Berço 1 com 120.000 toneladas, Berço 2 com 180.000 toneladas e Berço 3 com 405.000 toneladas, porém foram criadas opções para testar a adição de um berço extra para carregamento no porto. As opções criadas são: Berço 1 Extra adicionando um berço com a mesma capacidade do Berço 1, Berço 2 Extra adicionando um berço com a mesma capacidade do Berço 2 e Berço 3 Extra adicionando um berço com a mesma capacidade o Berço 3.

Tabela 4 - Instâncias Desenvolvidas para Teste do Modelo Proposto

Grupo	Instância	Layday	Laytime	Tempo de Carregamento	Valor do Prêmio	Quantidade de Berços
A	1	5 dias				
	2	10 dias	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
	3	15 dias				
	4	20 dias				
5						
B	6	Padrão	Padrão +10%	Padrão	Padrão	Padrão
	7		Padrão +20%			
	8		Padrão +30%			
	9		Padrão +40%			
C	10	Padrão	Padrão	Padrão -10%	Padrão	Padrão
	11			Padrão -20%		
	12			Padrão -30%		
	13			Padrão -40%		
D	14	Padrão	Padrão	Padrão	25% da Multa	Padrão
	15				75% da Multa	
	16				100% da Multa	
E	17	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	Berço 1 Extra
	18					Berço 2 Extra
						Berço 3 Extra

Fonte: Autor (2015)

Considerando as explicações realizadas, são descritas a seguir as instâncias desenvolvidas, as quais são apresentadas e analisadas individualmente e em grupos de instâncias, a fim de criar situações em que se possa avaliar a aplicabilidade do modelo matemático proposto em casos reais.

A definição dos grupos de instâncias tem por objetivo analisar o comportamento do resultado financeiro do embarcador, por meio de uma análise de sensibilidade, a partir da variação de apenas um dos parâmetros do modelo e congelamento dos demais dados, exceto o último grupo em análise o qual se varia o Conjunto de berços disponíveis no porto.

Os parâmetros do modelo matemático proposto escolhido para análise foram baseados nos principais indicadores comerciais e operacionais dos portos que operam granel sólido e cuja influência está diretamente associada à definição da ordem de atracação dos navios. A seguir serão descritos estes grupos e suas particularidades.

No Grupo A, as Instâncias de 1 a 4 são diferenciadas exclusivamente pelo parâmetro término do período de *layday*, que visa estabelecer tempo máximo no qual o navio deverá chegar ao porto e estar disponível para operar. Como vimos anteriormente na Seção 2.2, a definição do período de *layday* impacta diretamente no aceite do navio, pois caso o navio chegue ao porto dentro do período definido, automaticamente o aceite é emitido pelo embarcador, mesmo que não haja berço disponível para atracação naquele instante.

O objetivo deste grupo de análise é avaliar a influência do período de *layday* para o embarcador, ou seja, identificar se o embarcador se beneficiaria com o aumento ou com a redução do período de *layday*, por meio do resultado financeiro gerado pelas instâncias analisadas.

Os valores definidos para o parâmetro término do período de *layday*, nas Instâncias de 1 a 4, foram respectivamente: 5 dias, 10 dias, 15 dias e 20 dias. Decidiu-se variar o período mais praticado no mercado (10 dias), para menos (5 dias) e para mais (15 dias), visto que estes períodos costumam ser utilizados em alguns portos analisados. Ainda assim, optou-se por criar mais uma instância (20 dias) a partir da duplicação deste período mais praticado pelo mercado.

O Grupo B tem por objetivo analisar o possível impacto no resultado de prêmio e multa a partir da variação no tempo de *laytime* acordado para operação do navio, que se trata do período de tempo em que o navio permanece à disposição do porto para realização das operações de carregamento e/ou descarga, pois a utilização do navio por um período superior ou inferior ao tempo de *laytime* acordado gera, respectivamente, um pagamento de prêmio ou recebimento de multa para o embarcador.

Com a variação exclusiva do parâmetro tempo de *laytime*, utilizou-se um aumento de 10% para cada uma das Instâncias de 5 a 8, com o objetivo de criar uma curva de sensibilidade para análise e avaliação do impacto deste parâmetro para o embarcador. As respectivas variações utilizadas são: Padrão +10%, Padrão +20%, Padrão +30% e Padrão +40%.

No Grupo C a análise financeira sobre o prêmio e a multa é realizada sob a ótica exclusiva do parâmetro tempo de operação do navio, que varia em função dos tempos de manobra, documentação, preparo da carga e, principalmente, do tempo de carregamento ou descarga do navio. O objetivo deste grupo é analisar especificamente o impacto no resultado financeiro do embarcador, gerado pela redução do tempo de carregamento dos navios no Porto de Tubarão.

Assim, as Instâncias 9 a 12 variam o tempo de carregamento dentro do parâmetro tempo de operação do navio, respectivamente, em: Padrão -10%, Padrão -20%, Padrão -30% e Padrão -40%, cujo cálculo foi anteriormente explicado nesta seção demonstra que somente parte do parâmetro tempo de operação do navio é impactada pelos percentuais de redução utilizados em cada instância.

Visto que, para o embarcador, o prêmio gerado pela eficiência da operação portuária possui um caráter de bonificação e a multa um caráter punitivo, o Grupo D analisa o impacto da variação do parâmetro valor do prêmio no resultado financeiro do embarcador e busca identificar a relação entre os valores de prêmio e os valores de multa gerados neste resultado.

Como prática de mercado o prêmio é definido como a metade do valor da multa, porém existem portos que não aplicam esta proporcionalidade, diante disto, foram criadas as Instâncias de 13 a 15 cujas variações no valor do prêmio são respectivamente: 25% da Multa, 75% da Multa e 100% da Multa.

Por fim, o Grupo E realiza uma análise considerando a expansão do porto em estudo, a partir do aumento da disponibilidade para carregamento dos navios, por meio da adição de um berço extra, e os impactos deste aumento no resultado financeiro do embarcador.

A fim de criar diferentes situações com a adição de um berço extra, foram desenvolvidas as Instâncias de 16 a 18 que variam a quantidade e capacidade dos berços disponíveis, sendo eles, respectivamente: Berço 1 Extra, Berço 2 Extra e Berço 3 Extra, conforme explicado anteriormente nesta seção. A ordem de inclusão dos berços considerou as possibilidades de expansão do Porto de Tubarão, a partir de possíveis investimentos em berços existentes e que atualmente realizam a operação de outras cargas.

4 MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O modelo proposto trata do PAB para berços discretos e visa planejar a sequência de atendimento dos navios a partir da data de chegada dinâmica ao porto, atendendo às restrições operacionais existentes. Este modelo está estruturado em um modelo de PLIM, e tem como objetivo maximizar a receita gerada pelo embarcador através da relação entre o prêmio recebido e a multa paga pelo embarcador aos armadores.

O modelo matemático proposto é apresentado em cinco partes como segue: conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

- **Conjuntos**

N Conjunto de navios para chegar ao porto, $i = 1..n$;

$N0$ Conjunto auxiliar de navios para chegar ao porto, $i = 0..n$, considerando o 0 como origem do fluxo;

B Conjunto de berços disponíveis no porto, $k = 1..b$;

- **Parâmetros**

s_i Tempo do início de *layday* do navio $i \in N$;

e_i Tempo do término de *layday* do navio $i \in N$;

l_i Tempo de *laytime* acordado para operação do navio $i \in N$;

n_i Tonelagem de porte bruto do navio $i \in N$;

b_k Tonelagem de porte bruto máxima admitida no berço $k \in B$;

m_i Valor da multa por hora do navio $i \in N$;

p_i Valor do prêmio por hora do navio $i \in N$;

a_i Tempo de chegada do navio $i \in N$;

o_{ik} Tempo de operação do navio $i \in N$ no berço $k \in B$;

M Número grande para lógica do modelo;

- **Variáveis**

δ_i Tempo de aceite do navio $i \in N$;

τ_{ik} Tempo de término da operação do navio $i \in N0$ no berço $k \in B$;

α_{ik} Tempo de prêmio do navio $i \in N$ no berço $k \in B$;

β_{ik} Tempo de multa do navio $i \in N$ no berço $k \in B$;

$x_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{Se o navio } i \in N0 \text{ precede imediatamente ao navio } j \in N0 \text{ no berço } k \in B; \\ 0 & \text{Caso contrário.} \end{cases}$

$z_{ik} \begin{cases} 0 & \text{Se o tempo de operação do navio } i \in N \text{ no berço } k \in B \text{ é superior ao } \\ & \text{laytime, ou seja, se a operação gerou multa para o embarcador;} \\ 1 & \text{Se o tempo de operação do navio } i \in N \text{ no berço } k \in B \text{ é igual ou inferior ao } \\ & \text{laytime, ou seja, se a operação gerou prêmio para o embarcador;} \end{cases}$

- **Função Objetivo**

$$\text{Max} \left(\sum_{i \in N} \sum_{k \in B} (\alpha_{ik} p_i) - \sum_{i \in N} \sum_{k \in B} (\beta_{ik} m_i) \right) \quad (1)$$

- **Restrições**

$$\sum_{k \in B} \sum_{i \in N0} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in B \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i \in N0 \\ i \neq h}} x_{ihk} - \sum_{\substack{j \in N0 \\ j \neq h}} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N, \quad k \in B \quad (4)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in N0, j \in N0, k \in B \quad (5)$$

$$\tau_{jk} \geq \tau_{ik} - M + (o_{jk} + M) x_{ijk} \quad \forall i \in N0, j \in N, k \in B \quad (6)$$

$$\tau_{0k} = 0 \quad \forall k \in B \quad (7)$$

$$\tau_{ik} \geq (a_i + o_{ik}) \sum_{j \in N_0} x_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in B \quad (8)$$

$$\delta_i \geq a_i \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$\delta_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$\delta_i = a_i \quad \forall i \in N, k \in B, a_i \leq e_i \text{ e } a_i \geq s_i \quad (11)$$

$$\delta_i \leq s_i \quad \forall i \in N, k \in B, a_i \leq e_i \text{ e } a_i \leq s_i \quad (12)$$

$$\delta_i \geq \tau_{ik} - o_{ik} - \left(1 - \sum_{j \in N_0} x_{ijk}\right) M \quad \forall i \in N, k \in B, a_i \geq e_i \quad (13)$$

$$l_i - (\tau_{ik} - \delta_i) - z_{ik} M \leq 0 \quad \forall i \in N, k \in B \quad (14)$$

$$l_i - (\tau_{ik} - \delta_i) + (1 - z_{ik}) M \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in B \quad (15)$$

$$0 \leq z_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in N, k \in B \quad (16)$$

$$\alpha_{ik} \leq (l_i - (\tau_{ik} - \delta_i)) + (1 - z_{ik}) M \quad \forall i \in N, k \in B \quad (17)$$

$$\alpha_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in B \quad (18)$$

$$\alpha_{ik} \leq M \sum_{j \in N_0} x_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in B \quad (19)$$

$$\alpha_{ik} \leq z_{ik} M \quad \forall i \in N, k \in B \quad (20)$$

$$\beta_{ik} \geq ((\tau_{ik} - \delta_i) - l_i) - z_{ik} M \quad \forall i \in N, k \in B \quad (21)$$

$$\beta_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in B \quad (22)$$

$$\beta_{ik} \leq M \sum_{j \in N_0} x_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in B \quad (23)$$

$$\beta_{ik} \leq (1 - z_{ik}) M \quad \forall i \in N, k \in B \quad (24)$$

$$b_k \geq n_i \sum_{j \in N_0} x_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in B \quad (25)$$

$$\tau_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in N_0, k \in B \quad (26)$$

A função objetivo, Equação (1) representa a maximização do valor recebido de prêmio menos o valor pago de multa por todos os navios operados pelo porto. A função objetivo é estabelecida por duas parcelas. A primeira parcela representa o valor de prêmio calculado como a multiplicação da taxa de prêmio de cada navio pelo valor de prêmio do navio. A segunda parcela representa o valor de multa calculado como a multiplicação da taxa de multa de cada navio pelo valor de multa.

As Restrições (2) asseguram uma sequência de atracação onde cada navio $j \in N$ tenha um único navio $i \in N$ predecessor imediato em um único berço $k \in B$. As Restrições (3) garantem que cada berço $k \in B$, se usado, tenha uma única sequência de processamento, onde o 0 é o início de atendimento. As Restrições (4) garantem a conservação do fluxo.

As Restrições (5) estabelece que a variável x_{ijk} é binária. As Restrições (6) garantem que o instante de término do navio $j \in N$ seja igual ao instante de término do navio $i \in N$ mais o tempo de operação do navio $j \in N$.

As Restrições (7) garantem que todos os berços $k \in B$ começam a operar no tempo 0. As Restrições (8) garantem que os navios $i \in N$ sejam atendidos somente após sua chegada ao porto, enquanto que as Restrições (9) garantem que os navios $i \in N$ somente receberão o aceite δ_i após o instante de chegada a_i do navio $i \in N$ no porto. As Restrições (10) garantem que o aceite δ_i dos navios serão obrigatoriamente maior ou igual ao instante 0.

As Restrições (11) garantem que se o navio $i \in N$ chegar ao porto dentro do período de *layday* ($a_i \leq e_i$ e $a_i \geq s_i$), o aceite δ_i do navio $i \in N$ pelo embarcador ocorrerá no tempo de chegada a_i . As Restrições (12) asseguram que se o navio $i \in N$ chegar ao porto antes do início de *layday* ($a_i \leq e_i$ e $a_i \leq s_i$), o aceite δ_i ficará a critério do embarcador e poderá ocorrer entre a chegada a_i do navio $i \in N$ e o tempo de início de *layday* s_i . As Restrições (13) asseguram que se o navio $i \in N$ chegar ao porto após o fim de *layday* ($a_i \geq e_i$) o aceite δ_i do navio $i \in N$ ficará a critério do embarcador e será considerado como o tempo do início da operação do navio ($\tau_{ik} - o_{ik}$).

As Restrições (14) definem se a operação gerou prêmio $z_{ik} = 1$ para o embarcador. As Restrições (15) definem se a operação gerou multa $z_{ik} = 0$ para o embarcador. As Restrições (16) garantem que a variável z_{ik} seja binária (0 ou 1).

As Restrições (17) definem que para os navios $i \in N$ que forem receber prêmio, $z_{ik} = 1$, o tempo de prêmio α_{ik} do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ seja menor ou igual que o *laytime* l_i menos o tempo de término da operação τ_{ik} do navio $i \in N$ mais o aceite δ_i do navio $i \in N$. As restrições (18) garantem que o tempo de prêmio α_{ik} do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ seja maior ou igual a zero. As Restrições (19) garantem que para os navios $i \in N$ que não forem atracar no berço $k \in B$, o tempo de prêmio α_{ik} do navio $i \in N$ atracado no berço seja menor ou igual a zero, caso o navio $i \in N$ atraque no berço $k \in B$, então, o tempo de prêmio do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ pode ser menor ou igual a um valor muito grande M . As Restrições (20) garantem que para os navios $i \in N$ que não recebem prêmio no berço $k \in B$, $z_{ik} = 0$, o tempo de prêmio α_{ik} do navio $i \in N$ atracado no berço $k \in B$ seja menor ou igual a zero, caso o navio receba prêmio, $z_{ik} = 1$, no berço $k \in B$, então, o tempo de prêmio pode ser menor ou igual a um valor muito grande M .

As Restrições (21) definem que quando o navio $i \in N$ receber multa, $z_{ik} = 0$, o tempo de multa β_{ik} do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ seja maior ou igual que o tempo de término da operação τ_{ik} do navio $i \in N$ menos o aceite δ_i do navio $i \in N$ menos o *laytime* l_i . As Restrições (22) garantem que o tempo de multa β_{ik} do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ seja maior ou igual a zero. As Restrições (23) garantem que se o navio $i \in N$ não atracar no berço $k \in B$, o tempo de multa β_{ik} do navio $i \in N$ atracado no berço $k \in B$ seja menor ou igual a zero, caso o navio $i \in N$ atraque no berço $k \in B$, então, o tempo de multa do navio $i \in N$ no berço $k \in B$ será menor ou igual que um valor muito grande M . As Restrições (24) garantem que os navios que não recebem multa, $z_{ik} = 1$, tenham o tempo de multa β_{ik} do navio $i \in N$ atracado no berço $k \in B$ menor ou igual a zero e, caso o navio receba multa, $z_{ik} = 0$, então, o tempo de multa será menor ou igual a um valor muito grande M .

As Restrições (25) garantem que o berço $k \in B$ tenha capacidade para atracação b_k do navio $i \in N$. As Restrições (26) garantem que o tempo de término da operação τ_{ik} do navio $i \in N$ seja positivo.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As características reais do Porto de Tubarão, conforme visto na Seção 3.3, assim como as 18 instâncias desenvolvidas na Seção 3.4, foram utilizadas para avaliar o modelo matemático proposto por meio da execução realizada no *solver* CPLEX versão 12.6, em um período de tempo limite de execução de 14.400 segundos, utilizando um computador Intel i7 com 16 GB de memória RAM.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos pelos testes computacionais do modelo matemático proposto quando executados no *solver*. A coluna Grupo informa o grupo das instâncias que serão analisadas e a coluna Instância informa o número da instância.

Os resultados obtidos pelos testes computacionais são apresentados nas colunas seguintes. Na coluna Função Objetivo (FO) é apresentado um resultado somente quando o modelo matemático consegue, dentro do período de tempo limite para execução, gerar uma solução ótima. Os valores apresentados nesta coluna serão identificados da seguinte forma: prêmio quando a FO estiver positiva, multa quando negativa e balanceado quando igual à zero.

Nas colunas *Lower Bound* (LB) e *Upper Bound* (UB) são apresentados respectivamente os resultados do limite inferior e do limite superior, geradas em situações onde o modelo matemático não atinja uma solução ótima. Na análise do modelo matemático optou-se em utilizar o LB para definir o resultado financeiro, sempre que modelo matemático não conseguir identificar uma solução ótima, pois se trata da pior situação, visto que a função objetivo é de maximização. Na prática, sabe-se que eventualmente a solução ótima pode ser maior que LB e menor que UB.

Para os casos onde não foi obtida a solução ótima, dentro do período de tempo limite definido, a coluna GAP informa o percentual de desvio. Quando o modelo matemático possui uma função objetivo de maximização, o GAP é calculado pela fórmula $GAP = ((LB - UB) / LB) * 100$.

O tempo utilizado para gerar a solução ótima é informado em segundos, na coluna Tempo de Execução. Para as instâncias que não atingirem a solução ótima dentro do período de tempo limite, serão informados 14.400,0 segundos (4 horas), que é o tempo limite estabelecido para execução do *solver*.

Os resultados adicionais elaborados são apresentados nas colunas Prêmio e Multa. Na coluna Prêmio é apresentado o somatório dos valores de prêmio gerados em cada instância, sempre positivo. Da mesma forma, na coluna Multa é apresentado o somatório dos valores de multa gerados em cada instância, sempre positivo.

Tabela 5 - Resultados apresentados pelo *solver* CPLEX para as instâncias desenvolvidas.

CPLEX								
Grupo	Instância	Função Objetivo (R\$)	Lower Bound (R\$)	Upper Bound (R\$)	GAP (%)	Tempo de Execução (s)	Prêmio (R\$)	Multa (R\$)
A	1	67.707	-	-	0,0	26,8	71.207	3.500
	2	-185.850	-	-	0,0	1.571,1	47.550	233.400
	3	-	-337.150	-121.295	64,0	14.400,0	41.050	378.200
	4	-	-337.150	-120.006	64,4	14.400,0	41.050	378.200
B	5	-128.900	-	-	0,0	4.477,8	87.700	216.600
	6	-70.900	-	-	0,0	2.449,2	117.900	188.800
	7	-9.600	-	-	0,0	3.683,4	157.400	167.000
	8	-	49.100	102.328	109,8	14.400,0	192.400	143.300
C	9	-137.100	-	-	0,0	590,6	63.300	200.400
	10	-76.600	-	-	0,0	301,8	71.300	147.900
	11	-26.200	-	-	0,0	206,5	86.300	112.500
	12	19.400	-	-	0,0	56,2	101.000	81.600
D	13	-209.625	-	-	0,0	1.060,4	23.775	233.400
	14	-	-162.075	-135.520	16,4	14.400,0	71.325	233.400
	15	-138.300	-	-	0,0	5.046,1	95.100	233.400
E	16	-185.850	-	-	0,0	4.709,2	47.550	233.400
	17	-185.850	-	-	0,0	3.568,6	47.550	233.400
	18	27.700	-	-	0,0	86,7	62.500	34.800

Fonte: Autor (2015)

Analisando a Tabela 5, percebe-se que foi encontrada a solução ótima em 14 das instâncias analisadas e em 4 instâncias não encontrou a solução ótima, dentro do período de tempo limite definido, apresentando um GAP. A seguir são apresentados e analisados os resultados computacionais gerados por instância e consolidados por grupos de instâncias.

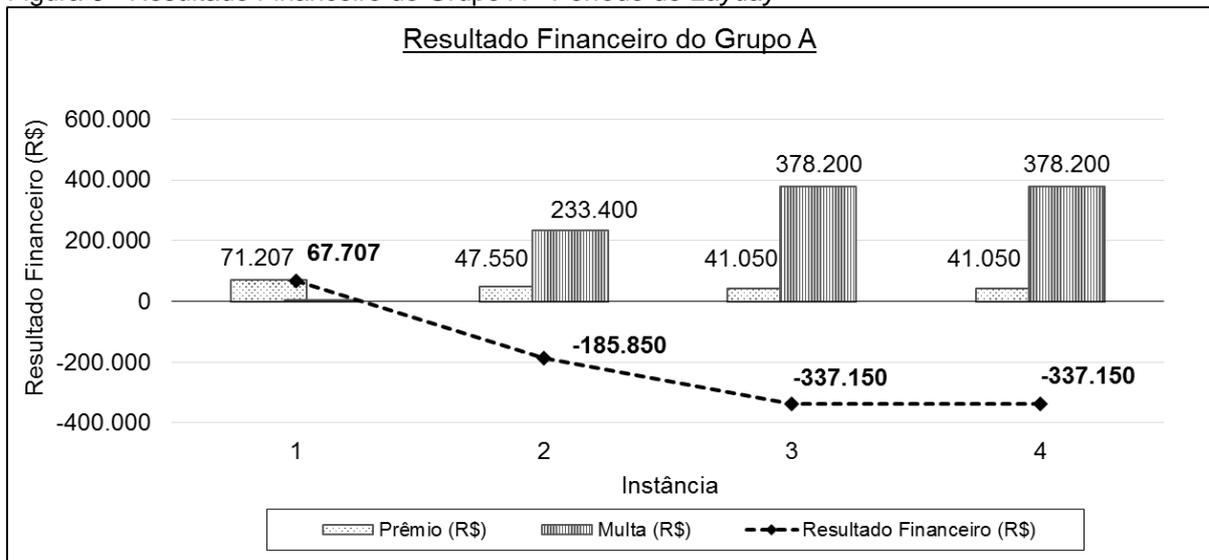
Antes de iniciar as análises, vale mencionar que as mesmas consideram o resultado do porto como resultado do embarcador, pois este é o proprietário do porto e todo o planejamento do porto foi realizado para dar o melhor resultado financeiro para o embarcador/proprietário do porto.

Grupo A – Período de *Layday*

Analisou-se nas Instâncias 1 a 4 a variação do parâmetro término do período de *layday* e seu impacto direto no aceite do navio, visto que, se o navio chegar ao porto dentro do período de *layday*, o aceite é emitido no mesmo instante, independente da disponibilidade de berço para atracação do navio.

Nos resultados deste grupo, gerados e apresentados na Tabela 5, obteve-se a solução ótima para as Instâncias 1 e 2, porém encontrou-se GAP para as Instâncias 3 e 4, sendo respectivamente 64,0% e 64,4%. Nota-se que para estas duas instâncias, o tempo de execução do modelo matemático foi de 14.400 segundos, tempo este definido como limite para execução.

Na Figura 6 são apresentados os resultados do Grupo A e pode-se, então, realizar análises sobre o comportamento de Multa de Prêmio e o impacto no resultado financeiro.

Figura 6 - Resultado Financeiro do Grupo A - Período de *Layday*

Fonte: Autor (2015)

A Instância 1, com *layday* definido em 5 dias, apresenta uma solução ótima de R\$67.707 de prêmio, gerando um resultado financeiro positivo para o embarcador. Já a Instância 2, com *layday* definido em 10 dias e solução ótima de R\$185.850 de multa gerando um resultado financeiro negativo para o embarcador.

As Instâncias 3 e 4, cujo *layday* definido foi, respectivamente, de 15 dias e 20 dias, apresentaram-se onerosas para o embarcador, visto que o CPLEX gerou um resultado financeiro de R\$337.150 de multa, ainda mais negativo que o resultado gerado pela Instância 2, de R\$185.850 de multa para o embarcador.

Com o aumento do período de *layday*, mostra-se que há uma tendência a gerar ao embarcador um resultado financeiro decrescente, pois entende-se que o aumento deste período traz benefícios diretos ao armador do navio, devido a possibilidade de trabalhar com prioridade de atracação em períodos mais dilatados. Por outro lado, esse aumento no período de *layday* gera ao embarcador a diminuição da eficiência na programação, pois trabalha sem precisão das informações de chegada dos navios.

Dentre os resultados observados nas instâncias do Grupo A e principalmente devido à similaridade com as características operacionais e de programação do Porto de Tubarão, cujo *layday* mais utilizado para os navios que operam neste porto é 10 dias, definiu-se a Instância 2, como a instância para servir de referência nas análises seguintes.

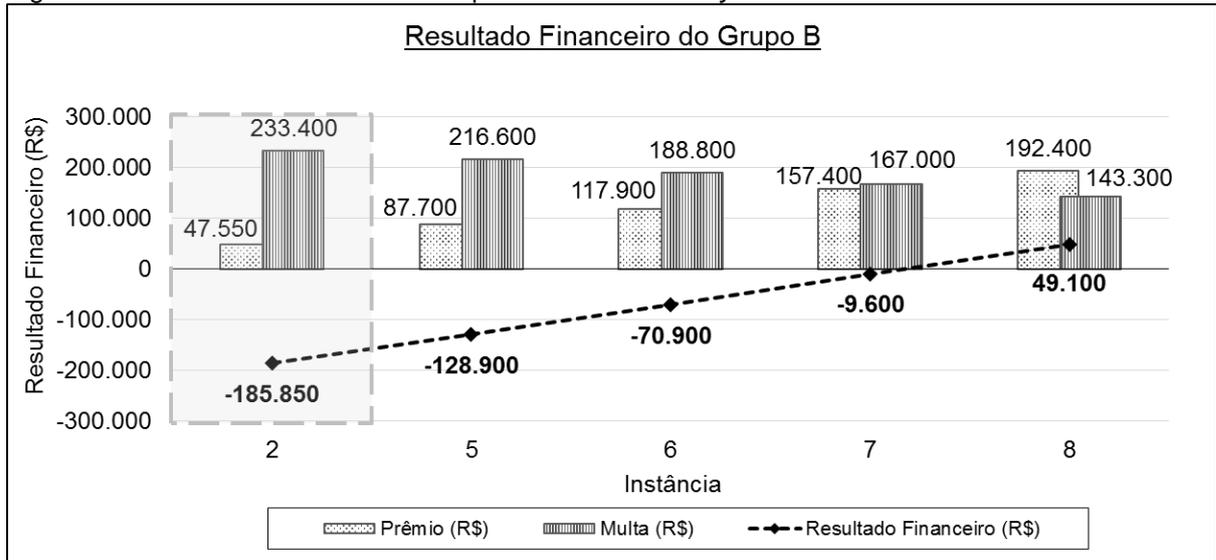
Grupo B – Período de *Laytime*

As Instâncias 5 a 8 se diferenciam pela variação no tempo de *laytime* acordado para operação do navio. Visto que este é o período de tempo em que o navio permanece à disposição do porto, para realizar as operações de carregamento, testa-se, neste grupo de instâncias, o impacto do aumento deste período no resultado financeiro do embarcador.

Os resultados obtidos neste grupo foram gerados e apresentados na Tabela 5, onde nota-se a solução ótima para as Instâncias 5 a 7. O tempo de execução do modelo matemático nestas três instâncias do grupo foram, respectivamente: 4.477,8, 2.449,2 e 3.683,4 segundos. Neste grupo, percebeu-se que para um aumento do parâmetro *laytime* ocorre um aumento proporcional do resultado financeiro para o embarcador.

A Instância 8 gerou um GAP alto de 109,8% e isso pode ser explicado pelo aumento das possibilidades geradas para o CPLEX maximizar o prêmio menos a multa, visto que na prática, com um aumento de 40% nos tempos de *laytime*, torna-se aparentemente mais confortável para o porto realizar a programação e operação dos navios, e por consequência, obter melhores resultados, visto que as possibilidades para atendimento dos navios dentro dos períodos de *laytime* tornam-se maiores.

Na Figura 7 são apresentados de forma gráfica os resultados obtidos pela execução do modelo matemático proposto, onde as instâncias analisadas neste Grupo B, assim com ocorrido no Grupo A, apresentaram uma linearidade entre as variações do parâmetro de *laytime* e os resultados financeiros obtidos pelo modelo.

Figura 7 - Resultado Financeiro do Grupo B - Período de *Laytime*

Fonte: Autor (2015)

A Instância 5, com *laytime* definido em Padrão +10%, apresenta uma solução ótima de R\$128.900 de multa e gera um provável resultado financeiro negativo para o embarcador, mas quando comparada à Instância 2, com *laytime* definido em Padrão e solução ótima de R\$185.850 de multa, nota-se uma melhoria no resultado financeiro gerado pela redução da coluna Multa, mas principalmente pelo crescimento da coluna Prêmio.

Esta melhoria no resultado do embarcador, comentada anteriormente no comparativo entre a Instância 5 e a Instância 2, permanece linear nas instâncias seguintes e gera ganhos crescentes para o embarcador, como segue: a Instância 6 com *laytime* Padrão +20%, gerou a solução ótima de R\$70.900 de multa; a Instância 7 com *laytime* Padrão +30%, também gerou a solução ótima, de R\$9.600 de multa; e por fim, a Instância 8 com *laytime* Padrão +40%, diferente as demais instâncias deste grupo, gerou a solução ótima de R\$49.100 de prêmio, mas uma melhoria no resultado financeiro ainda maior que as demais instâncias.

Como análise prática, conclui-se que o impacto positivo para o embarcador, gerado pelo CPLEX a partir do aumento percentual do período de *laytime*, seria uma possibilidade de ganhos para o embarcador em uma eventual negociação para aumento do período de *laytime*, visto a flexibilização e melhoria no resultado financeiro para o embarcador, como nota-se neste grupo de instância.

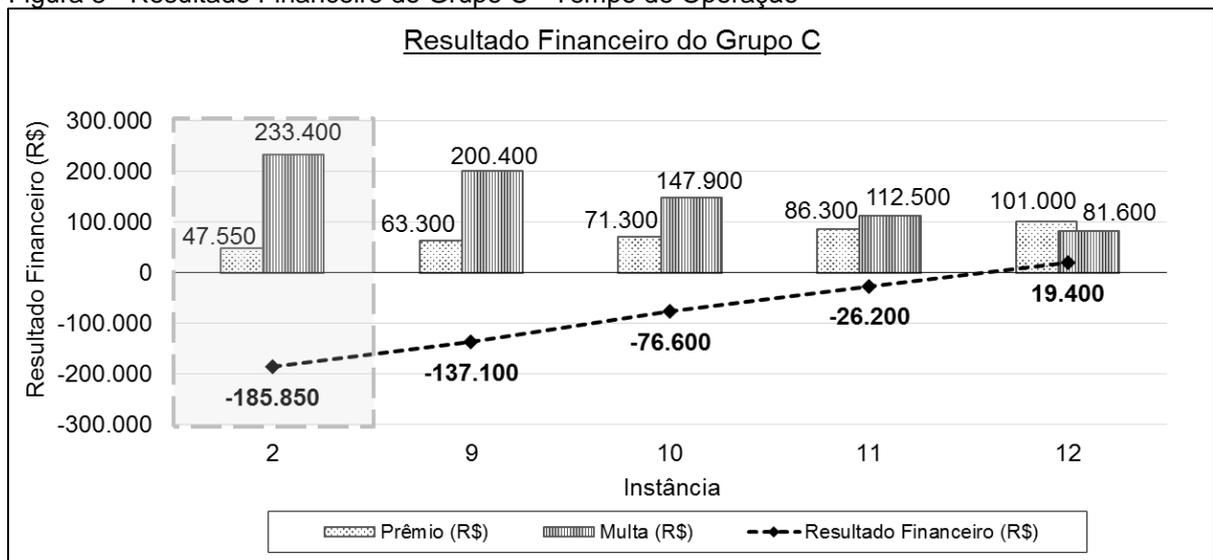
Grupo C – Tempo de Operação

O parâmetro tempo de operação do navio, varia em função dos tempos manobra, tempo de documentação, tempo para preparo da carga, mas principalmente, do tempo de carregamento ou descarga do navio. Neste Grupo C, formado pelas Instâncias 9 a 12, avalia-se o resultado financeiro do embarcador, a partir da variação percentual no tempo de carregamento dos navios.

Nos resultados gerados e apresentados na Tabela 5, nota-se que em todas as instâncias gerou-se solução ótima. A Instância 9, com tempo de carregamento Padrão -10%, apresenta uma solução ótima de R\$137.100 de multa, ou seja, um resultado financeiro para o embarcador melhor que a Instância 2, cuja solução ótima gera R\$185.850 de multa.

Na Figura 8 são apresentados de forma gráfica os resultados obtidos pela execução do modelo matemático proposto, onde nota-se que as instâncias analisadas neste grupo apresentam um resultado financeiro crescente, devido principalmente à redução da multa gerada em cada instância e ao aumento prêmio, mas este último em menor escala, conforme é explicado a seguir.

Figura 8 - Resultado Financeiro do Grupo C - Tempo de Operação



Fonte: Autor (2015)

Assim como ocorrido no Grupo 2, esta melhoria no resultado financeiro do embarcador, comentada anteriormente no comparativo entre a Instância 9 e a Instância 2, nota-se que a linha do resultado financeiro permanece crescente nas instâncias seguintes e gera os seguintes resultados para o embarcador: a Instância 10 com tempo de carregamento Padrão -20%, gerou a solução ótima de R\$76.600 de multa; a Instância 11 com tempo de carregamento Padrão -30%, também gerou a solução ótima, de R\$26.200 de multa; e por fim, a Instância 12 com tempo de carregamento Padrão -40%, diferentemente das demais instâncias deste grupo, gerou a solução ótima de R\$19.400 de prêmio e uma melhoria no resultado financeiro ainda maior que as demais instâncias.

Nota-se que a melhoria no resultado financeiro das instâncias analisadas é diretamente impactada pela redução no tempo de carregamento, pois quando o porto se torna mais eficiente, possivelmente ocorre também a diminuição da quantidade de navios aguardando disponibilidade de berço para atracar, e ao que tudo indica, o porto gera a possibilidade de operar mais navios em um mesmo horizonte de tempo e sem a necessidade de novos berços de atracação.

Com base nos resultados alcançados no Grupo C, identifica-se a oportunidade de aplicação deste modelo matemático em um porto real, com objetivo de utilizar esta ferramenta em análises de viabilidade financeira para tomada de decisão, tais como: compra de equipamento para aumento de produtividade, ampliação da capacidade dos berços para atendimento à navios maiores, e dragagem dos berços, canal de acesso e bacia de giro dos navios.

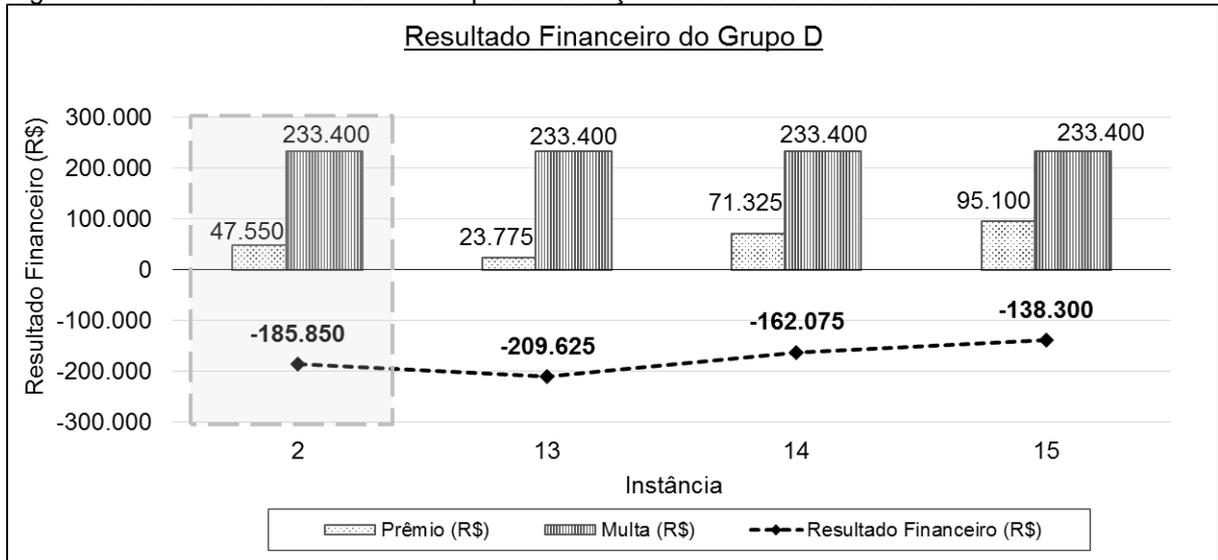
Grupo D – Relação Valor do Prêmio x Valor da Multa

Pretende-se neste grupo, avaliar o impacto financeiro gerado para o embarcador, devido a relação entre o parâmetro valor do prêmio e valor da multa. A prática, mas não a regra exclusiva de mercado, é utilizar o valor de prêmio correspondente a 50% do valor da multa, no entanto, alguns portos praticam outras diversas relações. Na análise deste grupo o valor de multa permanece fixo.

Os resultados das instâncias 13 a 15 gerados são apresentados na Tabela 5. Nota-se que o modelo matemático encontrou a solução ótima para as Instâncias 13 e 15, cujos tempos de execução foram respectivamente, 1.060,4 e 5.046,1 segundos. Em contrapartida, a Instância 14 gerou um GAP de 16,4% no limite máximo de 14.400 segundos.

As instâncias do Grupo D são apresentadas na Figura 9, onde se observa um aumento constante da coluna de prêmio. A tendência da coluna prêmio, obedece uma aparente proporcionalidade entre os valores de prêmio e a variação dos respectivos resultados financeiros das instâncias. Em contrapartida a coluna de multa permanece fixa, conforme objetivo desta análise.

Figura 9 - Resultado Financeiro do Grupo D – Relação Valor do Prêmio x Valor da Multa



Fonte: Autor (2015)

A Instância 13 com 25% da Multa gerou a solução ótima de R\$209.625 de multa, enquanto a Instância 14 com 75% da Multa apresentou um LB de R\$162.075 como resultado financeiro, pois este se trata do pior valor do GAP. Por fim, a Instância 15 com 100% da Multa, gerou a solução ótima de R\$138.300 de multa, criando uma curva constante entre o resultado financeiro das instâncias.

Acredita-se que o resultado financeiro do embarcador apresente maiores variações, quando alternado o valor de prêmio e o valor de multa, entre os navios. A variação aplicada no valor de prêmio, entre as instâncias deste grupo, parece não alterar a

ordem de atracação dos navios, mas apenas a variação do resultado financeiro do embarcador, pois se acredita que a mesma flutuação percentual aplicada sobre o valor de prêmio, para todos os navios da mesma instância, conduz a receita financeira a se comportar de maneira constante, conforme apresentado na Figura 9.

Alguns embarcadores já utilizam o valor de prêmio acima da relação de 50% do valor de multa, porém é aconselhável uma análise conjunta com outros indicadores de operação e comercial, a fim de elaborar uma estratégia de abordagem para novos contratos, com o intuito de maximizar o resultado financeiro do embarcador. Visto que o prêmio gerado pela eficiência da operação portuária possui um caráter de bonificação, entende-se que é dever do embarcador buscar a melhoria do resultado financeiro a partir deste parâmetro analisado no Grupo D.

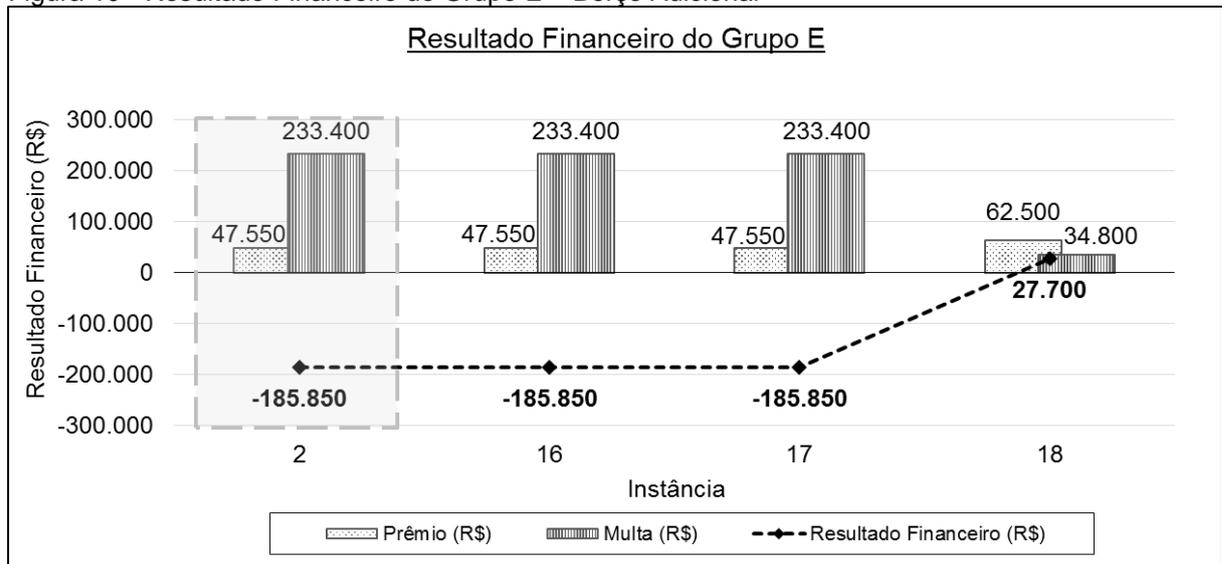
Grupo E – Berço Adicional

O Grupo E, formado pelas Instâncias 16 a 18, propõe analisar a curva entre o resultado financeiro do embarcador, a partir da disponibilização de um berço extra para realizar o carregamento. Optou-se por observar o comportamento desta curva, considerando a expansão do porto em estudo, a partir do aumento da disponibilidade para carregamento dos navios, por meio de opções como: a construção de novos berços de atracação ou melhoria de berços existentes, aumentando a tonelage de porte bruto máximo admitido no berço e capacitando o porto para o aumento da frota de navios, observada nos últimos anos.

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que foi encontrada a solução ótima para todas as Instâncias 16 a 18, cujos tempos de execução foram respectivamente: 4.709,2, 3.568,6 e 86,7 segundos. Acredita-se que o fato do tempo de processamento da instância 18 se mostrar reduzido, deve-se ao considerável aumento da disponibilidade criada para o porto com inclusão do Berço 3 Extra.

As instâncias do Grupo E são apresentadas na Figura 10 a seguir, onde nota-se que a disponibilização adicional do Berço 4 para operação de carregamento, aplicada na Instância 18, gera um considerável impacto positivo no resultado financeiro do embarcador, fato não observado quando comparado às Instâncias 16 e 17.

Figura 10 - Resultado Financeiro do Grupo E – Berço Adicional



Fonte: Autor (2015)

Na Instância 16, com a adição de um berço extra de mesma característica do Berço1, gera-se uma solução ótima de R\$185.850 de multa, mesmo resultado da solução ótima da Instância 17, que também considera a adição de um berço, porém com as características do Berço 2. A disponibilização de um berço extra para navios de até 120.000 toneladas ou de até 180.000 toneladas mostrou não influenciar a ordem de atracação dos navios e conseqüentemente o resultado financeiro do embarcador.

No entanto, na Instância 18, com a adição de um berço extra de mesma característica do Berço3, nota-se uma solução ótima diferente daquela observada nas instâncias anteriores deste mesmo grupo, no valor de R\$27.700 de prêmio para o embarcador. Conclui-se que a disponibilização de um berço extra para atendimento de navios com até 405.000 toneladas, aparentemente influencia positivamente o resultado financeiro do embarcador, devido principalmente a diluição dos navios de grande porte, em dois berços com capacidade para operá-los.

Na prática, para se obter uma melhor e mais eficiente análise do resultado financeiro do embarcador, a partir de disponibilização de novos berços para operação de carregamento de navio, torna-se necessário o teste com instâncias maiores e inserindo, neste contexto, os custos para o desenvolvimento e implantação de um novo berço. Além disso, a análise desse grupo é sensível aos tamanhos dos navios que solicitam atracação ao embarcador, se a maioria dos navios for de pequeno porte, pode ser que as Instâncias 16 e 17, que adicionam berços de menor capacidade, possam vir a dar resultados tão bons quanto a Instância 18.

5.1 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Foram testados 18 instâncias com o intuito de avaliar o impacto financeiro no resultado do embarcador, a partir da variação nos seguintes parâmetros: Período de *Layday*, Período de *Laytime*, Tempo de Operação e Relação Valor do Prêmio x Valor da Multa, mas também da variação do conjunto Berço Adicional.

No Grupo A, Instância 1 a 4, o aumento do período de *layday*, apresenta uma tendência decrescente no resultado financeiro do embarcador. Entende-se que o aumento deste período traz benefícios diretos ao armador do navio, devido a flexibilidade do período de atracação do porto. Para o porto, esse aumento no período de *layday* impacta na redução da eficiência na programação, visto a precisão da informação de chegada do navio.

No Grupo B, Instância 5 a 8, o aumento no tempo de *laytime* possibilita ao porto realizar as operações de maneira mais confortável, se analisado o resultado financeiro, uma vez que o período para atendimento do navio, sem o pagamento de multa pelo embarcador, é maior. Diferente do Grupo A, os resultados obtidos pelo Grupo B apresentam-se melhores para o embarcador.

No Grupo C, Instância 9 a 12, a redução no tempo de operação impacta diretamente na melhoria do resultado financeiro, pois o porto se torna mais eficiente. A diminuição da quantidade de navios aguardando disponibilidade de berço para atracar, também diminui ao que tudo indica, pois o há a possibilidade de operar mais

navios em um mesmo horizonte de tempo, sem a necessidade de novos berços de atracação. Os resultados financeiros obtidos neste Grupo C foram similares aos do Grupo B, porém reduzidos, visto que no parâmetro tempo de operação, a redução testada foi aplicada somente em uma parcela deste parâmetro, no tempo de carregamento.

No Grupo D, Instância 13 a 15, acredita-se que a variação aplicada no valor de prêmio, parece não alterar a ordem de atracação dos navios, mas apenas a variação do resultado financeiro do embarcador, pois nota-se a mesma flutuação percentual aplicada sobre o valor de prêmio, para todos os navios da mesma instância.

No Grupo E, Instância 16 a 18, testou-se a adição de um berço extra no porto, com uma característica de berço distinta para cada instância. Com a adição do Berço 1 ou do Berço 2, os resultados computacionais mostram que não houve influência na ordem de atracação dos navios e conseqüentemente no resultado financeiro do embarcador. Porém, com a adição de um Berço 3, nota-se o impacto positivo para o embarcador, e acredita-se em uma aparentemente diluição dos navios de grande porte e melhoria na eficiência do porto.

Assim, pode-se dizer com base nos testes realizados que a melhor opção para o embarcador seria negociar o aumento do período de *laytime* (Grupo B) e atuar na redução do tempo de carregamento dos navios (Grupo C). O aumento percentual no valor do prêmio em relação ao valor da multa (Grupo D) apresenta resultado financeiro positivo para o embarcador, com a mesma variação aplicada. A opção que causa a maior variação notada nos testes realizados é período de *layday* (Grupo A) e sugere-se reduzir este período ao limite necessário do embarcador.

6 CONCLUSÃO

Esta dissertação propôs um modelo matemático para o planejamento da atracação de navios em contrato *Charter Party*, com objetivo de aumentar o recebimento de prêmio e reduzir o pagamento de multa pelo embarcador, em função do tempo total em que os navios permanecem à disponibilidade do embarcador para operação.

Este modelo matemático é diferenciado por considerar a aplicação das cláusulas de prêmio e multa do contrato *Charter Party*, na relação de operação portuária entre o armador do navio e embarcador, tratando o PABD com o objetivo de maximizar para o embarcador o saldo entre prêmio e multa.

Identificou-se por meio da revisão da literatura realizada, que até o presente momento não foi desenvolvido um modelo matemático para tratar o PABD, considerando o resultado financeiro de prêmio e multa gerado nas operações portuárias. Assim, entende-se que esta nova abordagem contribui para futuros estudos do meio científico.

O modelo proposto foi executado para as 18 instâncias desenvolvidas, utilizando as características similares existentes no Porto de Tubarão e testado no solver CPLEX 12.6 para validação destas instâncias. As análises dos resultados foram realizadas por meio dos Grupos A a E.

A fim de definir uma instância para servir de referência nas análises dos grupos, definiu-se pela Instância 2, devido à similaridade com as características operacionais e de programação do Porto de Tubarão.

Nestes grupos realizou-se uma análise de sensibilidade do modelo matemático proposto por meio da abordagem de diversas situações, tais como: variação do período de *layday*, aumento do período de *laytime*, redução do tempo de carregamento, variação no valor do prêmio sem alterar o valor da multa e por fim, adição de berços adicionais para carregamento de navio.

Os resultados obtidos nestes grupos de análises foram satisfatórios, principalmente devido ao tempo de execução do processamento, da baixa incidência de GAPs e da melhoria marginal do resultado financeiro do embarcador. Destaca-se que estas

instâncias utilizaram características do Porto de Tubarão, podendo este modelo matemático proposto ser aplicado a casos reais de outros portos, que operem obrigatoriamente com a cláusula contratual de prêmio e multa em contrato de *Charter Party*.

Conclui-se que o modelo proposto pode atingir resultados significativos em termos de maximização do saldo entre prêmio e multa para o embarcador e demonstrou-se como uma ferramenta eficiente para: auxílio na análise de impactos, estudos de melhoria operacional, priorização de investimentos e, inclusive, na estratégia comercial, servindo principalmente para tomada de decisão.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Com a conclusão desta dissertação, notou-se a possibilidade de tornar o modelo proposto ainda mais completo, inserindo na análise de prêmio e multa, o valor da receita portuária obtida com a operação de carregamento ou descarrega dos navios. Assim, ao priorizar um determinado navio, o embarcador visualizaria o resultado financeiro total e não apenas o resultado financeiro de prêmio e multa, situação esta, que aproximaria a ferramenta proposta da realidade comercial dos embarcadores.

Outra possibilidade para trabalhos futuros é analisar a sequência de navios a serem atendidos pelo porto quando o modelo proposto for utilizado com a função objetivo para redução do tempo de atracação, comparando o resultado com tempo gerado pela regra FCFS.

Por fim, com o objetivo de alcançar resultados de grande escala, sugere-se o desenvolvimento de heurísticas e/ou meta-heurísticas, principalmente para portos maiores e instâncias com um número maior de berços ou navios.

REFERÊNCIAS

- ANTAQ. **Anuário 2014**. 2015. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/anuario/>> Acesso em: 07 jun. 2015.
- ARABSHAHI, N.; SEYADALIZADEH GANJI, S. R.; BABAZADEH, A. **Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using a genetic algorithm**. *Sci Technol*, 2010.
- ASSIS, F.; **Apostila Transporte Marítimo**, UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.
- BARROS, V. H.; COSTA, T. S.; OLIVEIRA, A. C. M.; LORENA, L. A. N. Model and heuristic for berth allocation in tidal bulk ports with stock level constraints. **Computers and Industrial Engineering**, v. 60, 2011. p. 606-613.
- BIERWIRTH, C.; MEISEL, F. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in contêiner terminals. **European Journal of Operational Research**, 202 (3), 2010. p. 615– 627.
- BRIANO, C.; BRIANO, E.; BRUZZONE, A. G.; & REVETRIA, R. Models for support maritime logistics: a case study for improving terminal planning. **In: 19th European Conference on Modeling and Simulation**, 2005.
- BROWN, G. G.; LAWPHONGPANICH, S.; THURMAN, K. P. Optimizing ship berthing. **Naval Research Logistics** 41 (1), 1994. p. 1–15.
- BROWN, G. G.; CORMICAN, K. J.; LAWPHONGPANICH, S.; WIDDIS, D. Optimizing submarine berthing with a persistence incentive. **Naval Research Logistics** 44 (4), 1997. p. 301–318.
- BUHRKAL, K.; ZUGLIAN, S.; ROPKE, S.; LARSEN, J.; LUSBY, R. Models for the discrete berth allocation problem: A computational comparison. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 2011. p. 461–473.
- CHANG, D.; YAN, W.; CHEN, C. H.; JIANG, Z. A berth allocation strategy using heuristics algorithm and simulation optimization. **International Journal of Computer Applications in Technology** 32 (4), 2008. p. 272–281.
- CHEN, C.Y.; HSIEH, T. W. A time-space network model for the berth allocation problem. **In: 19th IFIP TC7 Conference on System Modeling and Optimization**, Cambridge, 1999.
- CHEONG, C. Y.; LIN, C. J.; TAN, K. C.; LIU, D. K. A multi-objective evolutionary algorithm for berth allocation in a container port. **In: IEEE Congress on Evolutionary Computation 2007 (CEC 2007)**. IEEE Computer Society, Washington DC, 2007. p. 927–934.
- CHEONG, C.; TAN, K.; LIU, D.; LIN, C. Multi-objective and prioritized berth allocation in container ports. **Annals of Operations Research** 180, 2010. p. 63–103.

CNT. **Pesquisa CNT Aquaviária. 2006.** Disponível em: <http://www.sistemacnt.org.br/pesquisacntaquaviaria/2006/arquivos/pdf/pesquisa_aquaviaria_2006.pdf> Acesso em: 06 jun. 2015.

COLLYER, W. Sobreestadia de navios: a regra "once on demurrage, always on demurrage". **Jus Navigandi**, Teresina, ano 10, 2006. p. 1166.

CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G.; LEGATO, P.; MOCCIA, L. Models and tabu search heuristics for the berth-allocation problem. **Transportation Science**, v.39, n.4, 2005. p. 526-538.

FIGUEIREDO, G. S. O Papel dos Portos Concentradores na Cadeia Logística Global. **Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Bahia, 2001.

GAREY, M. R.; & JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness**. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.

GOH, K. S.; LIM, A. Combining various algorithms to solve the ship berthing problem. **In: Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'00)**. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 2000. p. 370–373.

GOLIAS, M.; BOILE, M.; THEOFANIS, S. The berth allocation problem: a formulation reflecting time window service deadlines. **In: Proceedings of the 48th Transportation Research Forum Annual Meeting**. Boston (MA): Transportation Research Forum. 2006.

GOLIAS, M. **The discrete and continuous berth allocation problem: Models and algorithms**. Tese (Doctor of Philosophy Graduate Program in Civil and Environmental Engineering). The State University of New Jersey, New Brunswick, 2007.

GOLIAS, M.; BOILE, M.; THEOFANIS, S.; EFSTATHIOU, C. The Berth-Scheduling Problem. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2166, n. -1, 2010. p. 20-27.

GOMES, C. M. N. **Análise do Desempenho Operacional de Pátios Ferroviários**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 1982.

GUAN, Y.; XIAO, W. Q.; CHEUNG, R. K.; Li, C. L. A multiprocessor task-scheduling model for berth allocation: heuristic and worst case analysis. **Operations Research Letters**, v. 30, 2002. p. 343-350.

GUAN, Y.; CHEUNG, R. K. The berth allocation problem: models and solution methods. **OR Spectrum** 26 (1), 2004. p. 75–92.

HAN, M.; LI, P.; SUN, J. The algorithm for berth scheduling problem by the hybrid optimization strategy GASA. In: **Proceedings of the Ninth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'06)**. IEEE Computer Society, Washington DC, 2006. p. 1–4.

HAN, X.; LU, Z.; XI, L. A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time. **European Journal of Operational Research**, 207 (3) 2010. p. 1327 – 1340.

HANSEN, P.; OGUZ, C. A note on formulations of static and dynamic berth allocation problems. **Les Cahiers du GERAD 30**, 2003. p. 1–17.

HANSEN, P.; OGUZ, C.; MLADENOVIĆ, N. Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation. **European Journal of Operational Research**, v. 191, n. 3, 2008. p. 636-649.

HOFFARTH, L.; VOB, S. Berth allocation in a container terminal – development of a decision support system (in German). In: Dyckhoff, H., Derigs, U., Salomon, M., Tijms, H.C. (Eds.). **Operations Research Proceedings 1993**. Springer, Berlin et al., 1994. p. 89–95.

IMAI, A.; NAGAIWA, K.; TAT, C. W. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia. **Journal of Advanced Transportation**, v. 31, n. 1, 1997. p. 75-94.

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. The dynamic berth allocation problem for a container port. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 35, n. 4, 2001. p. 401-417.

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation with service priority. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 37, n. 5, 2003. p. 437-457.

IMAI, A.; SUN, X.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 39, n. 3, 2005. p. 199-221.

IMAI, A.; ZHANG, J. T.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. The berth allocation problem with service time and delay time objectives. **Maritime Economics & Logistics**, v. 9, n. 4, 2007. p. 269-290.

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S. Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 1, 2008. p. 136-151.

KAO, C.; LEE, H. T. Coordinated dock operations: Integrating dock arrangement with ship discharging. **Computers in Industry**, v. 28, 1995. p. 113-122.

KIM, K. H.; MOON, K. C. Berth scheduling by simulated annealing. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 37, n. 6, 2003. p. 541-560.

- LEE, Y.; CHEN, C. Y. An optimization heuristic for the berth scheduling problem. **European Journal of Operational Research** 196 (2), 2008. p. 500–508.
- LI, C L.; CAI, X.; LEE, C Y. Scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern. **IIE Transactions**, v. 30, 1998. p. 433-445.
- LIM, A. The berth planning problem. **Operations Research Letters**, v. 22, 1998. p. 105-110.
- LIM, A. An effective ship berthing algorithm. In: Thomas, D. (Ed.), **Proceedings of the 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-99-vol-1)**. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 1999. p. 594–599.
- LORENZONI, L. L.; AHONEN, H.; ALVARENGA, A. G. A multi-mode resource-constrained scheduling problem in the context of port operations. **Computers & Industrial Engineering**, v. 50, n. 1, 2006. p. 55-65.
- MAURI, G. R.; OLIVEIRA, A. C. M.; LORENA, L. A. N. **A hybrid column generation approach for the berth allocation problem**. In: VAN EMERT, J.; COTTA, C. (Eds.), *EvoCOP 2008, Lecture Notes in Computer Science*, v. 4972, Springer, 2008. p. 110-122.
- MAURI, G. R.; OLIVEIRA, A. C. M.; LORENA, L. A. N. **Resolução do Problema de Alocação de Berços Através de Uma Técnica de Geração de Colunas**, *Pesquisa Operacional*, v. 30, n.3, 2010. p. 547– 562.
- MEERSMANS, P. J. M.; DEKKER, R. Operations research supports container handling. **Econometric Institute Report 234**, Erasmus University Rotterdam. 2001.
- MONACO, M. F.; SAMMARRA, M. The berth allocation problem: A Strong formulation solved by a lagrangean approach. **Transportation Science**, v. 41, n. 2, 2007. p. 265-280.
- MOON, K. **A mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning**. Ph.D. Thesis, Pusan National University, Pusan, 2000.
- MOORTHY, R.; TEO, C. P. Berth management in container terminal: the template design problem. **OR Spectrum**, v. 28, n. 4, 2006. p. 495-518.
- 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. p. 282-292.
- OLIVEIRA, R. M.; MAURI, G. R.; LORENA, L. A. N. Clustering search heuristics for solving a continuous berth allocation problem. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 7245, 2012. p. 49-62.
- PAQUETTE, R. J.; ASHFORD, N. J.; WRIGHT, P. H. **Transportation engineering: planning and design**. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., 1982.

PARK, K. T.; KIM, K. H. Berth scheduling for container terminals by using a sub-gradient optimization technique. **Journal of the Operational Research Society**, v. 53, 2002. p. 1054-1062.

PARK, Y. M.; KIM, K. H. A scheduling method for berth and quay cranes. **Operations Research Spectrum**, v. 25, 2003. p. 1-23.

PERINI, C. A. **Estudo do sistema de gestão de limpeza industrial no Porto de Tubarão**. Monografia do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Portuária da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Vitória, 2010.

RASHIDI, H.; TSANG, E. Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals. **Applied Mathematical Modelling**, 37, 2013. p. 3601–3634.

PRATICAGEM ES. Disponível em: <www.praticagem.org.br> Acesso em: 03 de jun. 2015.

RONEN, D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems. In: BROOKS, M. R.; BUTTON, K; NIJKAMP, P. (eds) **Maritime Transport: Classics in Transport Analysis**, vol. 1. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, United Kingdom, 2002.

ROSA, R. A.; RESENDO, L. C.; LOPES, F. T. Proposta de um modelo matemático para o problema de alocação de berços para múltiplas cargas (PAB-MC) com restrições temporais e espaciais. In: **XXVI Congresso nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte – ANPET**. Joinville, 2012.

SILVEIRA, M. M. **Guia Para Afretamento de Embarcações**. 1º ed. – Niterói/RJ: Edição do Autor, 2013. 49 p.

STAHLBOCK, R.; VOSS, S. Operations research at container terminals: a literature update. **OR Spectrum** 30 (1), 2008. p. 1–52.

STEENKEN, D.; VOSS, S.; STAHLBOCK, R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. **OR Spectrum** 26 (1), S004. p. 3–49.

STOPFORD, M. **Maritime economics**. London: Routledge ,1997.

THEOFANIS, S.; BOILE, M.; GOLIAS, M. An optimization based genetic algorithm heuristic for the berth allocation problem. **IEEE Congress on Evolutionary Computation 2007 (CEC 2007)**. IEEE Computer Society, Washington DC, 2007. p. 4439–4445.

TING, C. J.; LIN, S. W.; WU, K. C. The Continuous Berth Allocation Problem by Simulated Annealing. In: **APIEMS Conference 2013 Proceedings**, Cebu, Philippines, 2013.

TONG, C. J.; LAU, H. C.; LIM, A. Ant colony optimization for the ship berthing problem. In: **THIAGARAJAN, P.S.**; Yap, R. (Eds.), Fifth Asian Computing Science Conference (ASIAN'99), Lecture Notes in Computer Science, v.1742, Springer, 1999. p. 359-370.

UMANG, N.; BIERLAIRE, M.; VACCA, I. Exact and heuristic approach methods to solve berth allocation problem in bulk ports. **Technical Report**, TRANSP-OR, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, 2012.

UNCTAD, United Nations Conference of Trade and Development; APEC, Antwerp for Engineering and Consulting. **Seminar on Container Terminal Management Antwerp**, Bélgica, 1983.

UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development. **Review of Maritime Transport 2014**. New York: United Nations, 2014. p. 5.

VACCA, I.; BIERLAIRE, M.; SALANI, M. Optimization at container terminals: Status, trends and perspectives. In: **Proceedings of the Swiss Transport Research Conference (STRC)**. Monte Verità/Ascona, 2007. pp. 1–21.

VALE S/A. http://www.vale.com/PT/business/logistics/ports-terminals/Documents/pdf/memorial_descritivo_terminal_tubarao.pdf. Acessado em: 08/07/2015 (a).

VALE S/A. <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/certificacao-internacional-reconhece-trabalho-engenharia-confiabilidade-porto-tubarao.aspx>. Acessado em: 01/07/2015 (b).

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

VIS, I.F.A.; KOSTER, R. Transshipment of containers at a container terminal: an overview. **European Journal of Operational Research** 147 (1), 2003. p. 1–16.

WANG, F.; LIM, A. A stochastic beam search for the berth allocation problem. **Decision Support Systems** 42 (4), 2007. p. 2186–2196.

WILSON, J. F. **Carriage of Goods by Sea**. London: Pitman. 1988. p. 456.

XU, Y.; CHEN, Q.; QUAN, X. Robust berth scheduling with uncertain vessel delay and handling time. **Annals of Operations Research**, v. 192, n.1, 2012. p. 123-140.

ZHOU, P.; KANG, H.; LIN, L. A dynamic berth allocation model based on stochastic consideration. In: **Proceedings of the Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA 2006)**, vol. 2. IEEE Computer Society, Washington DC, 2006. p. 7297–7301.

ZHOU, P.; KANG, H. Study on berth and quay-crane allocation under stochastic environments in container terminal. In: **Systems Engineering - Theory & Practice**, 28 (1) 2008. p. 161 –169.

ZOCK, Anthony N. **Charter Parties in Relation to Cargo**. Tul. L. Rev., v. 45, 1970. p. 733.

ZOGAHIB, M. **Introdução ao Shipping**. Fundação de Estudos do Mar – FEMAR. Rio de Janeiro, 2008.