

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO EM LOGÍSTICA E PESQUISA
OPERACIONAL

CIRO MARQUES ARRUDA

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE CAPACIDADE
DE PORTOS

FORTALEZA
2008

CIRO MARQUES ARRUDA

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE CAPACIDADE
DE PORTOS

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Logística e Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

FORTALEZA
2008

CIRO MARQUES ARRUDA

PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE CAPACIDADE
DE PORTOS

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Logística e Pesquisa Operacional.

Aprovada em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^a. Dr^a. Sílvia Maria de Freitas
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Hito Braga de Moraes
Universidade Federal do Pará- UFPA

À DEUS, ao meu pai Tarcisio e minha mãe Celina, aos meus irmãos Regis e Daniel, a minha namorada Eloneide, a minha família e aos meus amigos e amigas, todos sempre presentes e me apoiando durante toda essa caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que me protegeu, iluminou e deu forças para concluir mais este trabalho.

Aos meus pais, José Tarcisio Furtado Arruda e Celina Maria Marques Arruda pelo amor, carinho, apoio incondicional e empenho na minha educação e formação como cidadão.

Aos meus irmãos, Daniel Marques Arruda e Regis Marques Arruda, pela amizade e amor fraterno.

Ao Prof. Ernesto Ferreira Nobre Júnior, que me incentivou desde o primeiro contato como bolsista, pela paciência, amizade e colaboração para meu crescimento profissional.

Ao Eng. Petrônio Sá Benevides Magalhães que me ensinou os conceitos básicos para a elaboração desta dissertação e colaborou para meu crescimento profissional.

A Companhia Docas do Ceará, principalmente ao diretor presidente Sergio Novais, Eng. Joaquim Bento e o economista Oswaldo Fontenelle que forneceram os dados essenciais para a elaboração desta dissertação.

A minha namorada Eloneide Meneses França pelo amor, carinho e compreensão nos momentos em que estive ausente.

Aos meus amigos de mestrado, Auricélio, Cristiano, Glawter, Elienay, Márcio, Marília, Mauri, Luciana, Messias, Paulo Luz, Regis, Emílio Junior, Roberto Linard e Francisco Roberto pelo companheirismo, apoio e momentos de alegria proporcionados.

Ao meu grande amigo Bruno Prata pelo apoio e ajuda incondicional nos momentos difíceis da elaboração desta dissertação.

Ao meu colega engenheiro Marcos Lima Leandro Sucupira em especial, pela ajuda no desenvolvimento do modelo computacional.

Aos professores Hito Braga e Silvia Maria por terem aceitado o convite para participarem da banca examinadora e por terem contribuído através de críticas e conselhos para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores do GESLOG pela dedicação, competência e paciência para transmitir o conhecimento que servirá para meu crescimento como profissional e como cidadão.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo apresentar metodologia para avaliação de capacidade de terminais de contêineres, baseada em simulação e na análise de indicadores de desempenho. Partiu-se do princípio de que o limite de capacidade para movimentação de contêineres seria obtido quando os navios atingissem tempo médio de espera igual a 6 horas. A metodologia foi aplicada ao Porto de Fortaleza, para o qual foi desenvolvido modelo computacional no software ARENA para representar suas operações. O modelo considerou o atendimento aos navios, enquanto a capacidade de estocagem do porto foi avaliada a partir de método determinístico. Não foi considerada a parte de acesso terrestre ao porto na avaliação. Após a verificação e validação do modelo determinou-se a capacidade de movimentação de contêineres do porto para a situação operacional de 2006. Depois foram avaliados cenários que variaram entre destinar berço exclusivo para navios de contêineres, melhorar a eficiência das operações de embarque e desembarque de contêineres, aumentar a quantidade de berços de atracação e a combinação destas mudanças. Como resultados o modelo mostrou que se aumenta mais a capacidade do Porto de Fortaleza com a melhoria da produtividade das operações do que com o aumento da quantidade de berços de atracação. A destinação de berço exclusivo para embarcações com contêineres também gerou aumento significativo da capacidade. O crescimento da consignação dos navios reduziu a capacidade do porto devido ao crescimento dos tempos de operação. Tanto o aumento da eficiência das operações quanto a disponibilização de mais berços para movimentação de navios de contêineres, intensificaram a utilização das infra-estruturas. A maior capacidade de movimentação de contêineres dentre os cenários propostos foi atingida com a colocação de dois berços exclusivos equipados com dois portêineres cada, totalizando 624.300 unidades por ano para tempo médio de espera dos navios de contêineres de 6 horas. Contudo, a capacidade ficou limitada a 397.550 unidades por ano, devido a restrições da área de estocagem. Por fim a metodologia mostrou-se eficiente e permitiu a avaliação de alternativas para a melhoria da capacidade.

Palavras-Chave: Terminais de contêineres, simulação, capacidade, Porto de Fortaleza.

ABSTRACT

This dissertation has as objective presents methodology for evaluation of capacity of terminals of containers, based on simulation and in the analysis of performance indicators. It depart from the principle that the capacity limit for movement of containers would be reached when the ships reach average wait time same to 6 hours. The methodology was applied in Port of Fortaleza, for which was developed computational model in the software ARENA to represent it operations. The model considered the service to the ships, while the capacity of stockpiling of the port was evaluated from deterministic model. The part of terrestrial access to the port was not considered in the evaluation. After the verification and validation of the model was determined the capacity of movement of containers of the port for the operational situation of 2006. Then were appraised sceneries that varied among destining exclusive mooring for ships of containers, the improve of the efficiency of the operations of embarkment and disembarkation of containers, the increase of the amount of mooring and the combination of these changes. As results the model showed that the improvement of the productivity of the operations increases more the capacity of Port of Fortaleza than the increase of the amount of mooring. The destination of exclusive mooring for embarkations and disembarkation of containers also generated significant increase of the capacity. The growth of the consignment of the ships reduced the capacity of the port due to the growth of the times of operation. As much an increase of the efficiency of the operations as the make available of more cradles intensified the use of the infrastructures. The largest capacity of movement of containers among the proposed sceneries was reached with the placement of two exclusive cradles equipped with two ship to shore cranes each, totaling 624.300 units a year for average wait time of the ships of containers of 6 hours. However the capacity was limited to 397.550 units a year due to restrictions of the stockpiling area. Finally the methodology was shown efficient and it allowed the evaluation of alternatives for the improvement of the capacity.

Keywords: Terminals of container, simulation, capacity, Port of Fortaleza.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Variação dos custos portuários com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984)	15
Figura 2.2 – Variação do custo de permanência do navio no porto com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984).....	15
Figura 2.3 – Variação do custo total de permanência do navio no porto com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984)	16
Figura 2.4 – Variação da produtividade com o aumento da consignação dos navios de contêineres (adaptado de DSC <i>apud</i> FOURGEAU, 2000).....	20
Figura 2.5 – Efeito da diminuição do tempo de operação no tempo de espera (adaptado de UNCTAD, 1988)	23
Figura 2.6 – Contêiner fechado de 20’ (NOVO MILENIO, 2008).....	25
Figura 2.7 – Contêiner fechado de 40’ (NOVO MILENIO, 2008).....	25
Figura 2.8 – Tipos específicos de contêineres (NOVO MILENIO, 2008).....	26
Figura 2.9 – Contêiner de 20’ com teto de lona removível (NOVO MILENIO, 2008).....	26
Figura 2.10 – Stradle Carrier	31
Figura 2.11 – Transtêiner	32
Figura 2.12 – Reach Stacker.....	33
Figura 2.13 – Top Loader.....	33
Figura 2.14 – Tratores de pátio	34
Figura 2.15 – Guindaste MHC	35
Figura 2.16 – <i>Portêiner</i>	35
Figura 2.17 – Composição Básica da Simulação (CHUNG, 2003)	38
Figura 2.18 – Exemplo para simulação integrada de portos (AGERSCHOU <i>et al</i> , 1984)	40
Figura 2.19 – Modelo de simulação para portos desenvolvido por Amborski <i>et al</i> (2006)....	43
Figura 3.1 – (a) Portão para entrada e saída de veículos do Porto de Fortaleza até o início de 2008 e (b) Novo Portão para entrada e saída de veículos do Porto de Fortaleza a partir de julho de 2008	52
Figura 3.2 – (a) Pátio na retaguarda dos armazéns A-3 e A-4 do Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Pátio na retaguarda do armazém A-5 e berço 106 do Porto de Fortaleza em 2008.....	53
Figura 3.3 – (a) Pátio para contêineres <i>reefer</i> do Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Plugs para contêineres reefer do Porto de Fortaleza em 2008	54
Figura 3.4 – Armazém para inspeção de cargas refrigeradas do Porto de Fortaleza em 2008	54
Figura 3.5 – (a) Organização das pilhas de contêineres no Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Organização das pilhas de contêineres no Porto de Fortaleza em 2008.....	55
Figura 3.6 – Planta geral do Porto de Fortaleza (adaptado de CDC, 2008)	56
Figura 3.7 – Planta com a reorganização do pátio de estocagem do Porto de Fortaleza.....	57
Figura 3.8 – Estrutura metálica de andaimes com escada para acesso dos funcionários aos contêineres <i>reefer</i> empilhados	59
Figura 3.9 – Amarração do contêiner a bordo do navio no Porto de Fortaleza em 2006.....	63
Figura 3.10 – Operação de descarga com guindaste de bordo no Porto de Fortaleza em 2006	64

Figura 3.11 – (a) Primeira tentativa, (b) Segunda tentativa, (c) Terceira tentativa e (d) Quarta tentativa. Porto de Fortaleza, 2006.	65
Figura 3.12 – Histórico de Movimentação de Contêineres nos Portos do Ceará (DATAMAR, 2008).....	67
Figura 3.13 – Histórico das Exportações de Contêineres no Porto de Fortaleza	69
Figura 3.14 – Histórico das Importações de Contêineres no Porto de Fortaleza	69
Figura 4.1 – Aderências das curvas as distribuições de intervalo de chegadas dos navios.....	74
Figura 4.2 – Fluxograma representativo do modelo desenvolvido	76
Figura 4.3 – Representação do modelo no ARENA	78
Figura 4.4 – Comparação entre o tempo de atendimento médio dos navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006.....	81
Figura 4.5 – Comparação entre o tempo de espera médio dos navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006	82
Figura 4.6 – Comparação entre a taxa de ocupação dos berços no modelo e nos dados reais do ano de 2006.....	82
Figura 4.7 – Comparação entre quantidade de navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006	83
Figura 5.1 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0, 1 e 2	93
Figura 5.2 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 3	97
Figura 5.3 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 3.....	98
Figura 5.4 – Berço 106 para atracação de navios de contêineres localizado na Praia Mansa. 99	
Figura 5.5 – Representação do modelo computacional do cenário 4.....	100
Figura 5.6 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 4	102
Figura 5.7 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 4.....	103
Figura 5.8 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 5	105
Figura 5.9 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 6	107
Figura 5.10 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 6.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Descrição da geração dos portos (UNCTAD,1992, 1999)	8
Tabela 2.2 - Fatores que influenciam no planejamento de terminais de contêineres (UNCTAD, 1984).....	28
Tabela 2.3 – Características dos sistemas de operação de pátio de contêineres (AGERSCHOU et al, 1984)	30
Tabela 2.4 – Ordenação das variáveis (berço) segundo seu grau de importância para a decisão (RIOS, MAÇADA E BECKER, 2003)	47
Tabela 2.5 – Ordenação das variáveis (pátio) segundo seu grau de importância para a decisão (RIOS, MAÇADA E BECKER, 2003)	48
Tabela 3.1 – Histórico da movimentação de cargas no Porto de Fortaleza em toneladas (CDC, 2008).....	50
Tabela 3.2 – Características dos berços do cais comercial do Porto de Fortaleza (CDC, 2008)	52
Tabela 3.3 – Instalações de armazenagem do Porto de Fortaleza	53
Tabela 3.4 – Indicadores de Desempenho da Movimentação de Contêineres do Porto de Fortaleza em 2006	66
Tabela 3.5 – Histórico da Movimentação de Contêineres em Unidades no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008)	68
Tabela 3.6 – Histórico da Movimentação de Contêineres em TEU no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008)	70
Tabela 3.7 – Histórico da Movimentação de Contêineres no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008).....	70
Tabela 4.1 - Descrição da geração dos portos (CHWIF e MEDINA, 2006).....	72
Tabela 4.2 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas da chegada dos navios no Porto de Fortaleza.....	73
Tabela 4.3 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas do tempo de atendimento dos navios no Porto de Fortaleza por berço de atracação	74
Tabela 4.4 – Participação de cada tipo de carga nas atracações ocorridas nos berços 102 a 105 entre os anos de 2002 e 2005	78
Tabela 5.1 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo de espera de 6 horas no modelo operacional de 2006	86
Tabela 5.2 – Resultados do modelo nas condições operacionais existentes em 2006 para tempo de espera de 6 horas.....	86
Tabela 5.3 – Nova participação de cada tipo de carga nas atracações ocorridas nos berços 102 a 105 entre os anos de 2002 e 2005 para o cenário 1	88
Tabela 5.4 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres no Porto de Fortaleza	89
Tabela 5.5 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 1.....	89

Tabela 5.6 – Resultados do modelo para o cenário 1 com tempo de espera médio dos navios de contêiner de 6 horas	90
Tabela 5.7 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres operados por guindastes MHC	91
Tabela 5.8 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 2	92
Tabela 5.9 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres operados por portêiner	94
Tabela 5.10 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 3	94
Tabela 5.11 – Indicadores de Movimentação de contêineres nos portos do Brasil (ANTAQ, 2008)	95
Tabela 5.12 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas para a chegada e atendimento dos navios de contêineres para o cenário 3 com consignação média dos navios de 566 contêineres	96
Tabela 5.13 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 4	101
Tabela 5.14 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas para a chegada e atendimento dos navios de contêineres para o cenário 5 com consignação média dos navios de 566 contêineres	104
Tabela 5.15 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 6	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDC	Companhia Docas do Ceará
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste
CIPP	Complexo Industrial Portuário do Pecém
DTA	Despacho de Transito Aduaneiro
GPSS	<i>General Purpose Simulation System</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
KS	Kolmogorov-Smirnov
MHC	<i>Mobile Harbour Crane</i>
PCP	Planejamento e Controle de Produção
SEFAZ	Secretaria da Fazenda
SISCOMEX	Sistema Integrado de Comércio Exterior
TEU	<i>Twenty-feet Equivalent Unit</i>
TPP	Terminal Portuário de Pecém

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo Geral	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
1.2 Estrutura do Trabalho	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Definições de portos e principais características.....	5
2.1.1 Terminal de Carga Geral	6
2.1.2 Terminais de Contêineres	7
2.1.3 Terminal de Granel Sólido ou Líquido.....	7
2.2 Evolução portuária.....	8
2.2.1 Fase 1: Tradicional	9
2.2.2 Fase 2: Agrupamento de carga seca a granel.....	9
2.2.3 Fase 3: Movimentação de unidades de carga	9
2.2.4 Fase 4: Terminal polivalente de transição	9
2.2.5 Fase 5: Especialização.....	10
2.3 O Planejamento de Portos e Terminais	10
2.3.1 Quantidade de contêineres movimentados	17
2.3.2 Tamanho de Consignação médio.....	18
2.3.3 Produtividade Média (ou Prancha Média de Atendimento).....	18
2.3.4 Tempo Médio de Atendimento.....	22
2.3.5 Tempo Médio de Espera dos Navios.....	22
2.3.6 Nível de serviço.....	23
2.3.7 Índice Médio de Ocupação dos Berços (Taxa de Ocupação).....	24
2.4 Os Terminais de Contêineres.....	25
2.5 Simulação Aplicada aos Terminais de Contêineres	36
2.6 Capacidade de portos e terminais de Contêineres	44
3. ESTUDO DE CASO	49
3.1 Acessos Terrestres e Aquaviário	50
3.2 Caracterização Física do Porto de Fortaleza.....	52
3.3 Caracterização da Operação de Contêineres	59
3.4 Caracterização da Demanda por Transporte de Contêineres no Porto de Fortaleza	67

4. MODELO DE SIMULAÇÃO PROPOSTO	71
4.1 Análise dos Dados de Entrada	71
4.2 Proposição do Modelo de Simulação	75
4.3 Lógica do Modelo no ARENA	77
4.4 Verificação e Validação do Modelo Proposto	79
4.3.1 Tempo médio de atendimento dos navios	80
4.3.2 Tempo médio de espera dos navios	81
4.3.3 Taxa de ocupação dos berços	82
4.3.4 Quantidade de navios atendidos	83
5. PROPOSTAS DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS	84
5.1 Capacidade Anual do Porto de Fortaleza em 2006	85
5.2 Cenário 1	88
5.3 Cenário 2	91
5.4 Cenário 3	93
5.5 Cenário 4	99
5.6 Cenário 5	104
5.7 Cenário 6	105
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	109
6.1 Conclusões	109
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da globalização e o crescimento da economia mundial os portos passaram a desempenhar função muito importante no crescimento econômico dos países, inclusive aqueles em desenvolvimento. É através dos portos que estes países escoam a maior parte de suas mercadorias, proporcionando o crescimento do comércio exterior.

Segundo a UNCTAD (1992), para que os países apresentem altas taxas de crescimento econômico é crucial o incremento do comércio exterior. Este fato pôde ser observado nos países asiáticos que se desenvolveram rapidamente nos últimos anos, incrementando este comércio e expandindo os seus portos, instrumentos privilegiados deste desenvolvimento.

Na visão logística, os portos passaram a ser pontos estratégicos para o desenvolvimento da cadeia logística no comércio exterior, devido à presença de vários atores desta cadeia na zona portuária. Isso vem atraindo cada vez mais novos serviços e as empresas vêm agregando mais valor aos seus produtos dentro das zonas portuárias. Este incremento de atividades, nas áreas próximas aos Terminais Portuários, tem gerado um alto grau de complexidade gerencial para as administrações, tanto dos Terminais Portuários quanto dos Complexos Industriais Portuários devido ao grande número de atividades neles realizadas.

Hoje, se exige eficiência e flexibilidade para a adaptação às mudanças e a redução dos custos de transportes, o porto não pode ficar a margem destas mudanças, nem da exigência dos demais atores da cadeia logística, necessitando, portanto, modernizar a sua organização e gestão (UNCTAD, 1992). Deste modo, cada vez mais o porto deve adotar técnicas para auxiliar na tomada de decisões e para garantir a sua eficiência.

Por outro lado, os portos brasileiros não acompanharam o desenvolvimento das cadeias logísticas por falta de investimentos e de planejamento, causando congestionamentos.

Especialistas falam que em um futuro próximo haverá um “apagão logístico”, gerado pela estagnação do fluxo de cargas no país, devido à superelevação dos custos de sua movimentação. Esta elevação demasiada dos custos de transportes é conseqüência da falta de capacidade dos portos e das demais infra-estruturas de transportes.

Grande parte dos portos brasileiros é composta por estruturas antigas, concebidas para a movimentação de carga geral. Com o desenvolvimento do transporte marítimo mundial estas

estruturas foram adaptadas às novas tecnologias de transporte, sempre visando à eficiência das operações e por isso dando-se maior foco aos equipamentos.

Todavia, o grande crescimento do comércio exterior tem feito com que estes portos atinjam o limite operacional e muitos não têm acompanhado o desenvolvimento das embarcações, que atualmente necessitam de estruturas maiores, mais robustas e de profundidade cada vez maior para atracação. Para contornar essa situação é necessário que investimentos sejam realizados em infra-estruturas portuárias, observando as limitações nos recursos nacionais.

De acordo com UNCTAD (1984), a solução seria investir em portos especializados em um tipo de carga, localizados em pontos estratégicos, onde toda carga de determinada região ou até mesmo do país seria escoada. A justificativa é que apesar de se ter maiores custos ocasionados pela especialização e pelo maior deslocamento geográfico das mercadorias de algumas regiões produtoras, estes seriam compensados pelo ganho de eficiência e de escala na utilização de navios maiores.

Além das vantagens citadas, seria evitado que os investimentos viessem a ser diluídos em vários portos, com a aquisição de equipamentos de baixa produtividade, provocando redução de eficiência. Além disso, mesmo com a construção de vários terminais eficientes haveria desperdício de recursos, já escassos, com a subutilização dessas infra-estruturas.

Faz-se necessário planejar a aplicação dos investimentos em infra-estrutura, visando identificar que portos receberiam o benefício. De acordo com a UNCTAD (1984), os países em desenvolvimento devem realizar frequentemente o planejamento dos seus portos partindo do pressuposto de que haverá crescimento contínuo da quantidade de mercadorias em virtude do desenvolvimento do comércio exterior. Deve-se realizar o planejamento de longo prazo de todos os portos com o objetivo de prever os investimentos necessários em equipamentos e infra-estruturas.

Outro fator importante é a previsão de quando o porto atingirá a sua capacidade máxima de operação, para que, em tempo hábil, sejam disponibilizados os recursos necessários, uma vez que a infra-estrutura e os equipamentos exigem grandes investimentos e tempos para construção e aquisição elevados.

O Ceará vem apresentando essa necessidade de planejamento portuário de longo prazo. Este é um dos poucos Estados brasileiros a possuir dois portos administrados pela iniciativa pública,

os quais não apresentam planos conjuntos para o desenvolvimento, chegando a competir por cargas.

Isso começou a partir da construção do Complexo Industrial Portuário do Pecém - CIPP, cujo objetivo era oferecer a infra-estrutura necessária para atrair investimentos para a instalação de uma siderúrgica e de uma refinaria. No entanto, após sua conclusão em 2002, ainda não havia perspectivas concretas para a instalação destes empreendimentos.

Enquanto isso, mudanças aconteciam nas linhas de navegação para contêineres no país com a introdução de navios com calados superiores a 12 metros. Estes navios não podiam atracar no Porto de Fortaleza, pois o calado máximo permitido era de 10 metros.

Para não prejudicar os exportadores locais, a solução encontrada foi atender a estes navios no Pecém, a partir da instalação de guindastes do tipo MHC por operadores interessados. Desta forma, boa parte da movimentação de contêineres foi transferida do Porto de Fortaleza para o Terminal Portuário de Pecém (TPP).

Entretanto, neste ano de 2008, foi anunciada a instalação no CIPP de uma siderúrgica e de uma refinaria, com capacidades e características diferentes daquelas que tinham sido utilizadas para o dimensionamento das infra-estruturas existentes.

Para a concretização da instalação da refinaria da PETROBRÁS com capacidade de processar 300 mil barris por dia, o TPP necessitará da construção de dois berços de atracação, duplicação do comprimento do píer petrolífero, ampliação do quebra mar e dragagem (DIARIO, 2008).

Já para a siderúrgica o terminal necessitará oferecer infra-estrutura para importação de minério de ferro e carvão e exportação de cinco milhões de toneladas de placas de aço. Desta forma o TPP precisará investir em novas infra-estruturas para a movimentação de contêineres.

Em contrapartida, o Porto de Fortaleza receberá recursos para dragagem do acesso aos navios e berços para 14 metros de profundidade, possibilitando a atracação das maiores embarcações que movimentam atualmente contêineres no Brasil (OPOVO, 2008).

Faz-se necessário então o planejamento conjunto dos portos do Estado, de forma que estes possam atuar atendendo, de forma adequada e complementar, as necessidades dos diversos clientes, na busca de otimizar a alocação dos recursos disponíveis. Para isso, é necessário que

seja determinado, num primeiro momento, o limite de capacidade dos portos do Estado, comparando-o com a demanda projetada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objeto deste trabalho é desenvolver metodologia capaz de determinar a capacidade de terminais de contêineres visando auxiliar na definição do limite de sua capacidade operacional e no seu planejamento de longo prazo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento de bibliografia relativa a metodologias para determinar a capacidade de operação de terminais de contêineres e planejamento portuário;
- Desenvolver metodologia para cálculo da capacidade com auxílio da técnica de simulação;
- Aplicar a metodologia desenvolvida no Porto de Fortaleza;
- Verificar a consistência da metodologia proposta;
- Determinar as possíveis limitações da aplicação.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido em seis capítulos, dos quais o primeiro destina-se a fazer a introdução da dissertação, com contextualização do problema e apresentação de objetivo.

No Capítulo 2 é apresentado o estado da arte sobre o planejamento portuário, as características dos terminais de contêineres e os estudos de simulação aplicados em terminais de contêineres.

No Capítulo 3 é apresentado o estudo de caso da dissertação, descrevendo a infra-estrutura existente no Porto de Fortaleza, as peculiaridades das operações de contêineres e a caracterização da demanda desta carga no porto.

A metodologia é mostrada no Capítulo 4, no qual é descrito o modelo de simulação desenvolvido e sua validação. Após verificação do modelo, os resultados obtidos são analisados no Capítulo 5 e as conclusões e sugestões apresentadas no Capítulo 6.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é mostrado o estado da arte sobre os temas portos, planejamento portuário, terminais de contêineres, simulação aplicada a portos e terminais de contêineres e estudos de capacidade.

Primeiro são apresentadas as definições encontradas na literatura sobre portos, suas principais características e formas de desenvolvimento. Em seguida é tratado o tema planejamento portuário, com definições, descrições de etapas e dos custos portuários e apresentação dos indicadores de desempenho que auxiliam no planejamento. Na terceira parte são apresentados conceitos sobre simulação, com descrição das principais características, vantagens, desvantagens e apresentados trabalhos elaborados por diversos autores sobre simulação em portos. Por fim é tratado o tema estudo de capacidade, mostrando o cálculo da capacidade de portos e de terminais portuários.

2.1 Definições de portos e principais características

Segundo Bruun (1973), a função primária do porto é transferir cargas entre embarcações marítimas e veículos de transporte interior. Já a função secundária é estocar, comercializar e processar mercadorias, possuindo também funções auxiliares como fornecer serviços aos navios e ao tráfego terrestre.

Os portos são antes de tudo terminais de cargas, considerados como uma das instalações físicas das estações de transporte e desempenham as seguintes funções (HANDABAKA, 1994):

- Manuseio de cargas;
- Interface entre modos de transporte;
- Consolidação de cargas.

Os portos, entretanto, diferenciam-se dos demais terminais de transporte de cargas, pois são considerados uma interligação, elo ou passagem e também áreas industriais globais onde os terminais de carga são apenas uma pequena parte do complexo global. Nos portos o tipo de carga determina (mais do que em outros terminais) toda a infra-estrutura das instalações e serviços.

O porto é a instalação que oferece facilidades para fazer transbordo de carga entre navios ou entre estes e os modais terrestres, fluviais ou dutoviários, provido de berços de atracação protegidos da ação dos ventos e das ondas, além de dispor de equipamentos eficientes para atender aos navios da forma mais rápida possível e disponibilizar áreas para a armazenagem das mercadorias (AGERSCHOU *et al*, 1984).

A infra-estrutura portuária é dotada de várias instalações físicas caras, como quebra mares, cais, píer, muros de contenção do cais, canais dragados e equipamentos especializados. Os quebra mares são estruturas artificialmente construídas e protegem os navios da ação das ondas dentro de seus limites. Os cais e os píeres são locais onde os navios atracam e descarregam (ou carregam) as mercadorias. A diferença entre cais e píer está no local onde a estrutura é construída, pois o primeiro localiza-se ao longo da praia e o segundo dentro do mar, ligado a terra por uma ponte de acesso (HANDABAKA, 1994).

Os cais e os píeres são geralmente divididos em berços, que quando atendem a diversos tipos de cargas são classificados como de múltiplo uso. Quando atendem a apenas um tipo de carga são classificados como especializados em graneis líquidos, graneis sólidos, carga geral ou contêineres.

A especialização portuária gera desvantagens como a perda de capacidade de atracação pelo resultado da divisão dos berços para cada tipo de carga, diminuindo a flexibilidade de atracação. Por outro lado ela aumenta a qualidade do serviço em virtude da maior produtividade média, além de obter utilização plena de instalações de alto custo. Por isso sempre que determinada mercadoria proporcionar movimentação suficiente para se investir em terminal especializado, esta deve ser a base ótima para planejamento (UNCTAD, 1984).

A especialização do berço é geralmente determinada pelo equipamento fixo instalado no local, que gera maior eficiência de movimentação de mercadorias do que os berços de múltiplo uso. A seguir são apresentadas algumas características de cada tipo de especialização dos berços.

2.1.1 Terminal de Carga Geral

Os terminais de carga geral movimentam vários tipos de carga de um único navio. Essas cargas tradicionalmente são estivadas nos porões dos navios individualmente em sacos, fardos, caixas, engradados, tambores, etc. (HANDABAKA, 1994). Nas últimas décadas essas

cargas tem sido agrupadas em *pallets* e eslingas e são carregadas (descarregadas) dos navios através de guindastes.

Existe a tendência de que este tipo de carga deixe de ser movimentada no futuro, devido ao surgimento dos contêineres. Isso ocorreria pelo fato de sua operação ser geralmente dispendiosa em relação aos outros tipos de cargas por causa de sua baixa eficiência.

2.1.2 Terminais de Contêineres

De acordo com Handabaka (1994) o contêiner é um equipamento de transporte de caráter permanente, resistente o suficiente para agüentar usos repetidos e proteger a mercadoria transportada, além de ser especialmente projetado para facilitar o transporte de mercadorias por um ou mais modais. É fácil de encher e esvaziar, tendo volume interno de 1 m³ ou mais. Existem duas dimensões básicas para os contêineres que são 8'x 8'x 20' (denominado *Twenty feet Equivalent Unit – TEU*) e 8'x 8'x 40' (denominado *Forty feet Equivalent Unit – FEU*).

Os terminais especializados na movimentação de contêineres geralmente possuem equipamentos bastante específicos e caros. Para carregar (descarregar) os navios podem ser utilizados guindastes, portêineres ou guindastes de bordo. Para o transporte de contêineres dentro do porto são utilizados transtêineres, empilhadeiras, *stradle carriers* e/ou tratores de pátio.

Os terminais de contêineres dispõem de grandes áreas para o armazenamento dos contêineres. Nestas áreas os contêineres cheios são empilhados em geral até cinco unidades e os vazios em até oito unidades, dependendo das limitações de suporte do pavimento e do tipo de equipamento utilizado.

2.1.3 Terminal de Granel Sólido ou Líquido

Estes terminais movimentam exclusivamente graneis sólidos ou líquidos ocasionando ganho maior de eficiência. Entre as cargas movimentadas pelos terminais de graneis sólidos estão os minérios (ferro, carvão, bauxita, fosfatos, sal, etc), grãos (trigo, milho, aveia, cevada, centeio, etc.) e outras cargas (soja, açúcar, etc.). Já os terminais de granel líquido movimentam petróleo, seus derivados, produtos químicos e outras cargas (HANDABAKA, 1994).

Os navios que freqüentam este tipo de terminal são de grande porte, pois o valor das mercadorias movimentadas é baixo, exigindo grandes volumes para compensar o custo de transporte. Isto requer dos terminais, cais com grandes profundidades e equipamentos especializados para movimentação dos graneis, como *grabs*, correias transportadoras, absorvedores pneumáticos, dutovias, bombas de sucção e transportadores verticais.

2.2 Evolução portuária

Segundo o relatório da UNCTAD (1992), a necessidade de desenvolver o comércio exterior e contribuir para o crescimento econômico nacional impõe pesada responsabilidade aos portos de todos os países, principalmente aos dos países em desenvolvimento, dada a exigência de funcionamento eficiente. “Não se tem conhecimento de nenhum país que tenha tido grande crescimento econômico sem o desenvolvimento de seu comércio exterior, com base em portos eficientes.”

Com o desenvolvimento da economia mundial o porto tem passado a ser o ponto obrigatório de transbordo entre o modal marítimo e os demais modais, tornando-se ponto estratégico do comércio exterior e pólo de desenvolvimento econômico e industrial da região em que se insere (UNCTAD, 1992).

A UNCTAD (1992, 1999) classifica os portos por geração como pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Descrição da geração dos portos (UNCTAD,1992, 1999)

Geração	Descrição
Primeira	(Antes de 1950) Acessos marítimos, transferência de mercadorias, armazenagem prévia e entrega.
Segunda	(Entre 1950 e 1980) Foram acrescidas as atividades industriais e comerciais, que agregam valor as mercadorias. O porto é um centro de manutenção e de serviços.
Terceira	(Após 1980) Atividades anteriores mais estruturação da comunidade portuária, fortalecimento dos vínculos entre a cidade, o porto e os usuários, mais a ampliação da gama de serviços do porto, inclusive fora e o sistema integrado de levantamento e tratamento de dados. O porto se transforma em plataforma logística do comércio.
Quarta	(Atualmente) O porto possui estratégia de globalização e diversificação das atividades, serviços logísticos para os donos de mercadorias, redes de intercambio de dados (EDI) com os demais portos, além de adotar novas ferramentas de gestão como o <i>agility</i> e o <i>lean port</i> .

Como se pode perceber na Tabela 2.1, à medida que o porto se desenvolve, aumenta o nível de complexidade de sua gestão devido ao incremento do número de atividades realizadas.

O porto mais desenvolvido atualmente (quarta geração) passou a adotar técnicas de gestão como o *agility* e o *lean port* para poder avaliar e melhorar seu desempenho (PAIXÃO e MARLOW, 2003).

Ao dar maior enfoque no cais, ou seja, na interface porto/navio, a UNCTAD (1984) afirma que os portos passam normalmente por cinco fases de evolução descritas a seguir:

2.2.1 Fase 1: Tradicional

O porto é formado por um grupo de postos de atraque para usos gerais em que se manipulam uma combinação de carga geral fracionada e pacotes de mercadorias embaladas (trigo em sacos, petróleo em barris, etc).

2.2.2 Fase 2: Agrupamento de carga seca a granel

Ocorre quando o volume de carga a granel aumenta a ponto de ser economicamente viável fretar navios graneleiros. A partir deste ponto o porto deve ampliar sua estrutura para criar um terminal exclusivo para granel e continuar movimentando carga geral.

2.2.3 Fase 3: Movimentação de unidades de carga

Quando começam a chegar ao porto unidades de carga como *pallets* e contêineres em número reduzido. Ao mesmo tempo começa-se a diminuir o volume de carga geral fracionada e o volume de carga a granel num nível em que é necessário dispor de terminais especializados para cada tipo de carga.

2.2.4 Fase 4: Terminal polivalente de transição

Ao aumentar a quantidade de contêineres movimentados faz-se necessária a criação de terminais especializados. Contudo, como não se sabe como será a evolução do tráfego das mercadorias, cria-se um terminal polivalente flexível e adaptável que substitua os antigos postos de atraque de carga geral fracionada. Entretanto, segue-se aumentando e diversificando a movimentação de carga a granel.

2.2.5 Fase 5: Especialização

Os diferentes tipos de carga movimentadas no porto (granéis sólidos e líquidos, contêineres e carga geral) aumentam a ponto de ser necessária a divisão em diversos terminais especializados. O terminal polivalente da fase 4 pode transformar-se facilmente em um terminal de contêineres dotado de novo equipamento ligeiramente distinto. Quando esta fase é alcançada, o volume de carga geral fracionada acabará diminuindo a ponto de fechar suas antigas instalações.

Os terminais especializados podem alcançar ritmo de movimentação de carga cinco a dez vezes superiores ao cais de múltiplo uso (UNCTAD, 1984).

A maioria dos portos brasileiros encontra-se na fase 4 descrita anteriormente, possuindo apenas um ou dois terminais especializados. Hoje, a maioria dos terminais construídos são especializados, pois não é viável a construção de terminais para a movimentação de carga fracionada em virtude do baixo desempenho e dos altos investimentos em infra-estrutura.

2.3 O Planejamento de Portos e Terminais

Os avanços tecnológicos dos últimos anos tornam indispensável o planejamento global do sistema de transportes dos países em desenvolvimento a fim de chegar a um equilíbrio entre as capacidades das diversas partes do sistema.

Na esfera do transporte marítimo é possível às vezes, em particular no que diz respeito ao movimento de mercadorias a granel e de cargas unitizadas, incluir um plano coordenado das instalações marítimas portuárias e de transporte interior.

A evolução das técnicas de transportes requer instalações de manipulação de carga cada vez mais especializadas e caras, justificando uma coordenação nacional de investimentos em terminais especializados (UNCTAD, 1984).

Em virtude dos custos elevados dos investimentos portuários e da demora para execução das mudanças, torna-se importante fazer o planejamento freqüente destas instalações, comparando-se a demanda em longo prazo com as instalações existentes.

O porto é uma instalação cujo principal objetivo é realizar o transbordo de cargas entre os modais terrestres e o marítimo e vice versa, utilizando-se de seu *layout*, infra-estrutura e equipamentos específicos para este fim.

Como qualquer indústria ou prestador de serviços, sua principal função é atender aos clientes com o máximo de eficiência e mínimo de custos, utilizando-se de maneira otimizada seus recursos.

Segundo Russomano (1995) a prestação de serviços difere da produção industrial devido a diversas peculiaridades como: insumos de difícil padronização, grande exigência de mão de obra e impossibilidade de estocar, transformar ou transportar a sua produção. Russomano (1995) complementa ainda afirmando que “o prestador de serviços precisa construir capacidade antes mesmo da demanda”.

A primeira definição de porto fornecida pela UNCTAD (1992) é de ponto de transbordo de cargas entre o modal marítimo e os demais modais e vice versa, fornecendo acesso aos navios e o armazenamento prévio das cargas, sem apresentar grande complexidade quanto a sua organização e gestão.

Observando-se as definições citadas anteriormente, chega-se a conclusão de que o porto pode ser considerado como a infra-estrutura na qual entram diversos tipos de insumos e há grande demanda de recursos para movimentação das cargas. Estes recursos seriam equipamentos, mão de obra e infra-estrutura necessárias a realização dos serviços.

Sendo assim, pode-se aplicar no porto a metodologia de Planejamento e Controle de Produção (PCP) que, de acordo com Russomano (1995), se constitui no planejamento do seqüenciamento de produção, da programação de movimentação e da coordenação de inspeção, e no controle de materiais, métodos, ferramental, e tempos operacionais. Seu objetivo é a organização do suprimento e movimentação de recursos humanos, utilização de máquinas e atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados.

O PCP possui seqüência de atividades abordadas por Burbidge (1984), Mayer (1990) e Russomano (1995) que também é mostrada no modelo de planejamento portuário da UNCTAD (1984). Desconsiderando algumas diferenças de denominações, a seqüência de atividades do PCP é composta basicamente por:

- Levantamento os recursos existentes;
- Previsão da demanda de produção;
- Planejamento da operação e do *layout*;
- Planejamento da aquisição de equipamentos e insumos;
- Acompanhamento da produção.

O levantamento da infra-estrutura existente consiste no cadastro físico do porto, coletando dados sobre as estruturas existentes, área total do porto, área utilizada, capacidade de armazenamento, quantidade e características dos berços, tipos de cargas atendidos, etc.

Após determinar as mercadorias e cargas que o porto atende e pretende receber, elabora-se um estudo de mercado para verificar as tendências de cada uma delas. Depois se faz projeções para 5, 10, 15 e até 20 anos a partir de séries históricas ou tendências de mercado.

Com base nas projeções, infra-estruturas e equipamentos existentes, faz-se a comparação entre a capacidade atual e a demanda futura. Caso o porto não seja capaz de atender a demanda com a estrutura atual faz-se o planejamento da aquisição de equipamentos, de insumos e da construção de estruturas.

Por último faz-se o acompanhamento da produção para verificar se as mudanças propostas surtem o efeito esperado, sempre fazendo a revisão das tendências de movimentação de mercadorias para detectar alterações que venham a prejudicar o porto ou aos clientes.

O acompanhamento da produção pode ser feito através da coleta dos indicadores de desempenho. Uma forma de antecipar o conhecimento dos impactos de uma mudança, com vistas a verificar sua eficácia, é o uso da simulação computacional.

De acordo com Bruzzone *et al* (1999), os portos são locais de trabalho intenso, funcionando 24h por dia, 365 dias do ano e em qualquer situação de clima. Estas infra-estruturas envolvem grandes investimentos e requerem gerenciamento e operação especiais.

Um princípio chave do planejamento portuário é que os planos de desenvolvimento e zoneamento sejam os mais flexíveis possíveis, a fim de que possam mudar rapidamente em caso de alterações na demanda. Além disso, devem-se proporcionar instalações e sistemas operacionais pelo custo mais baixo possível para o porto e seus usuários (UNCTAD, 1984).

A adoção de flexibilidade ocorre em virtude da demanda a ser atendida pelo porto poder sofrer alterações bruscas em seu crescimento por diversos motivos e por isso faz-se necessária

uma capacidade de reserva. Esta capacidade ociosa é gerada por instalações de alto custo, que torna sua aquisição financeiramente inviável, porém é economicamente viável devido aos elevados custos de congestionamentos nos portos em casos de pico de movimentação de carga.

Como citado anteriormente, o porto é formado por diversas estruturas e processos, entretanto este pode ser resumido em esqueleto principal composto por berços de atracação, área de armazenagem, acesso terrestre e equipamentos.

A quantidade de berços é dimensionada com base em previsões estatísticas da distribuição de chegada e atendimento dos navios, podendo-se utilizar de técnicas de simulação ou teoria das filas (UNCTAD, 1984).

O tamanho das áreas de estocagem deve ser determinado a partir da avaliação econômica entre os custos adicionais de maiores capacidades de armazenagem e os benefícios da redução dos tempos de espera e de serviço dos navios e dos transportes terrestres.

Entretanto, Agerschou *et al* (1984) afirma que normalmente os equipamentos que fazem o carregamento ou descarregamento dos navios no porto, também chamados de equipamentos de beira de cais (*ship to shore*), são mais eficientes que aqueles utilizados para atender os outros modais, devido a custo significativamente superior de mobilização dos navios. Dessa maneira, as áreas de estocagem devem ser suficientes para compensar essa diferença de velocidade.

O dimensionamento de equipamentos ocorre de maneira semelhante, comparando o custo de compra, operação e manutenção destes com os benefícios da redução dos tempos de espera e serviço dos navios.

Pode-se classificar o planejamento portuário como de curto, médio e longo prazo, o primeiro encontra-se no nível tático, o segundo concentra-se nas questões estratégicas e o último se detém na visão mais imaginativa (UNCTAD, 1993).

De acordo com UNCTAD (1993), o planejamento de curto prazo trata da distribuição dos equipamentos, mão de obra e instalações de forma a atender adequadamente os navios e a movimentação de mercadorias. Dentre as informações necessárias estão os pedidos dos agentes de navegação e os informes sobre a situação dos berços de atracação, das equipes e das áreas de estocagem. Como resultado tem-se o plano semanal dos locais de atracação de

cada navio, a distribuição diária dos operários e equipamentos e o plano mensal ou semanal de manutenção, com o objetivo de obter a máxima eficiência dos recursos disponíveis.

No planejamento de longo prazo, ou plano diretor, destina-se ao desenvolvimento das instalações e aquisição de equipamentos para atender a demanda futura, no prazo médio entre 10 e 25 anos. Inicialmente coletam-se informações sobre os tipos de carga, de navios e quantidades de mercadorias movimentadas atualmente pelo porto, analisando seu comportamento e tendências de mercado, para finalmente elaborar projeções de demanda de carga (UNCTAD, 1993).

Já as atividades de planejamento de médio prazo dividem-se entre financeiras e estratégicas. A primeira gerencia as mudanças nos custos e receitas, alterando a distribuição dos investimentos para atender a demanda futura, enquanto a segunda faz a revisão de cinco em cinco anos dos planos diretores (UNCTAD, 1993).

As estratégias para reduzir os custos dos usuários dos portos concentram-se primordialmente no aumento da produtividade dos berços de atracação para reduzir o tempo médio de permanência do navio no porto. O melhor índice de taxa de movimentação de contêineres tem sido atingido com investimentos em equipamentos mais especializados e de maior tecnologia, assim como a melhor coordenação dos sistemas de movimentação.

Isso é confirmado quando UNCTAD (1984) afirma que o principal fator determinante para melhor solução econômica de investimento portuário está relacionado à diminuição do tempo de permanência do navio no porto.

Os custos portuários são divididos em custos fixos (capital investido na construção de berços e aquisição de equipamentos), que independem da quantidade de carga movimentada, e custos variáveis (mão de obra, operação e manutenção de equipamentos), que variam de acordo com a tonelagem movimentada. À medida que a quantidade de carga movimentada aumenta, o custo fixo diminui, enquanto o custo variável continua constante até que em certo ponto começa a aumentar como mostra a Figura 2.1, devido à necessidade de adotar técnicas de movimentação de carga mais onerosas (UNCTAD, 1984). Deste modo, no ponto em que o custo variável começa a aumentar pode-se determinar o custo portuário mínimo (ponto A).

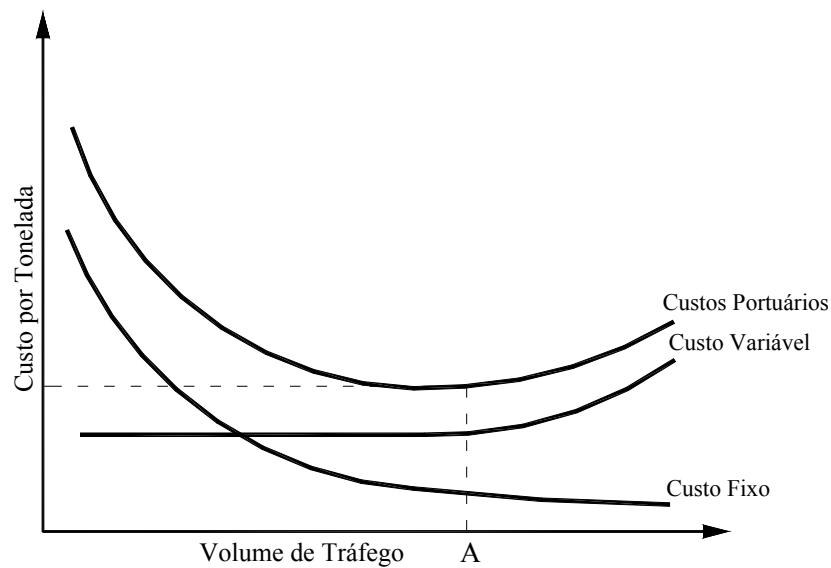


Figura 2.1 - Variação dos custos portuários com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984)

O custo de permanência do navio em um porto é dividido em custo de atendimento do navio no berço e custo de espera do navio para atracar. Quando a taxa de ocupação do berço fica muito alta, pode haver aumento considerável nos tempos de espera para atracação e conseqüentemente nos custos por espera do navio como mostra a Figura 2.2 (UNCTAD, 1984).

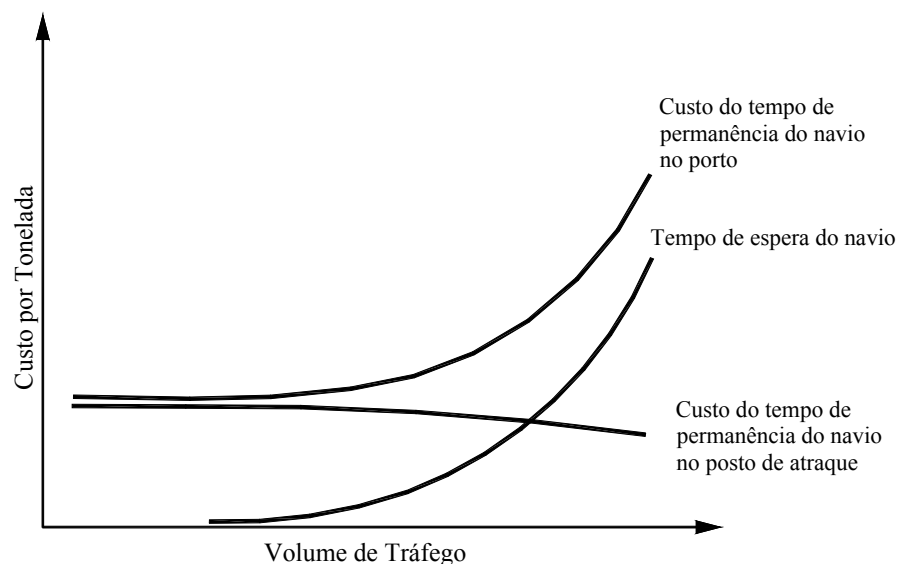


Figura 2.2 – Variação do custo de permanência do navio no porto com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984)

Quando se insere os custos de permanência do navio em um porto e os custos portuários em um mesmo gráfico para determinar o custo total de permanência do navio por quantidade de carga movimentada, observa-se que existem dois pontos de mínimo como mostrado na Figura 2.3. O custo mínimo de permanência do navio no porto (ponto B) aparece com quantidade de carga movimentada menor que o mínimo para os custos portuários (ponto A) (UNCTAD, 1984).

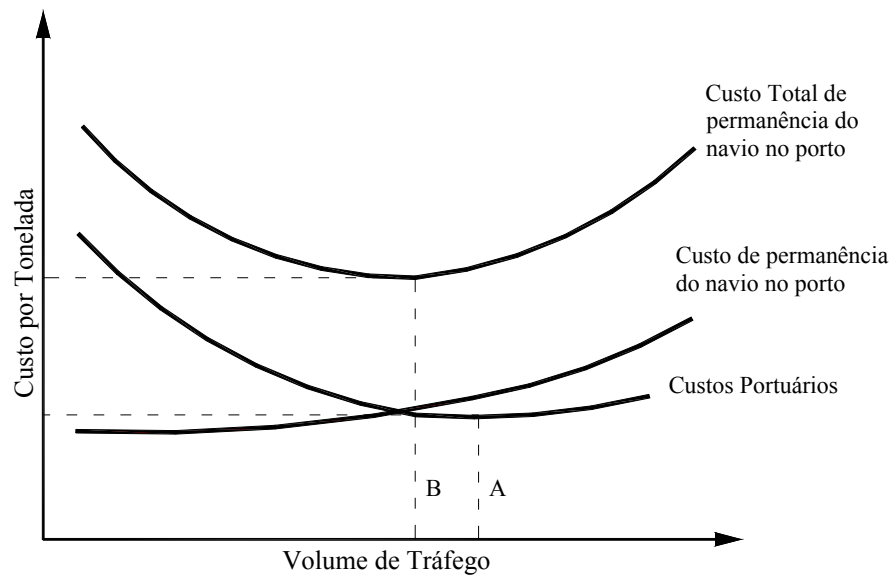


Figura 2.3 – Variação do custo total de permanência do navio no porto com o aumento do volume de tráfego (adaptado de UNCTAD, 1984)

Isso mostra que há discordância de interesses entre a autoridade portuária e os armadores, porém é preferível atender as necessidades dos armadores para que estes não mudem de porto. Também deve ser levado em conta o pagamento da *demurrage*, multa paga pelo porto devido ao navio ter passado muito tempo esperando para atracar.

Juntamente com outros índices, os tempos de espera e atendimento do navio são utilizados como indicadores de desempenho para avaliar a eficiência das operações e auxiliar no planejamento e gerenciamento dos portos.

Segundo Takashina e Flores (1996), os indicadores representam características de produtos e processos, sendo utilizados para controlar e melhorar a qualidade do desempenho destes ao longo do tempo.

Ferreira (1991), *apud* Aleluia (2000) afirma que os indicadores de desempenho são padrões expressos por uma função matemática, que permitem quantificar, medir e avaliar em termos quantitativos ou qualitativos a eficiência ou a eficácia de um processo ou serviço.

Os indicadores operacionais são medidas de desempenho que auxiliam o planejamento e verificam se os processos ou serviços estão atendendo as necessidades dos clientes, avaliando o desempenho da organização. Caso estejam ocorrendo falhas, os indicadores apontam onde os operadores devem atuar para corrigir essa falha e melhorar os processos (ARRUDA, 2006).

Através deles busca-se a melhoria contínua da qualidade dos produtos e serviços e da produtividade da organização, aumentando a satisfação de seus clientes, sua competitividade e sua participação no mercado. A comparação com referências de excelência (*benchmarking*) pode dar grande contribuição para a identificação de possibilidades mais amplas de melhorias.

Os indicadores ajudam aos operadores a prevenirem e a evitarem problemas, melhorando continuamente os processos. Cada processo deve possuir indicadores específicos, monitorados e analisados pelos envolvidos. Ao apurar os resultados dos indicadores, é possível verificar o que está ocorrendo, visualizar possibilidades de melhorias e colher subsídios para a tomada de decisões e o replanejamento (TEIXEIRA, 1999).

Os indicadores que serão utilizados neste trabalho para avaliarem as propostas simuladas no ARENA são apresentados a seguir.

2.3.1 Quantidade de contêineres movimentados

A quantidade de contêineres movimentados é medida em unidades ou em TEU (*twenty-foot equivalent unit*) por determinado período de tempo. É importante para observar a evolução da movimentação de mercadorias no porto e para se prever, através de uma série histórica e de cálculos econométricos, a quantidade de carga que será movimentada nos próximos anos. Com essas informações é possível verificar se o porto atenderá a demanda com a infraestrutura existente.

Segundo De Monie (1988), a quantidade de carga movimentada não possui nenhuma indicação de eficiência se observada isoladamente. Esta magnitude só tem sentido se houver o levantamento dos equipamentos, infra-estruturas e técnicas de movimentação da carga.

Somente levando em consideração estes fatores, pode-se determinar a eficiência do porto através deste indicador.

2.3.2 Tamanho de Consignação médio

Tem como objetivo caracterizar o tamanho médio dos navios que são atendidos por um berço ou conjunto de berços do porto através da consignação, ou seja, da quantidade de carga em toneladas ou unidades de contêineres carregados ou descarregados dos navios (ANTAQ, 2003). Também é utilizado para verificar se a infra-estrutura existente é adequada para atender o tráfego de navios.

2.3.3 Produtividade Média (ou Prancha Média de Atendimento)

A prancha de atendimento é a quantidade de carga movimentada por navio (medida em toneladas ou unidades de contêineres) durante o seu atendimento no berço, dividido pelo tempo que este passou atracado no berço (em horas) (ANTAQ, 2003).

$$prancha = \frac{\text{quantidade de carga movimentada pelo navio}}{\text{número de horas atracado}}$$

Da média das pranchas obtém-se a produtividade média de atendimento no berço para cada tipo de carga, apresentada em unidades por hora (unidade/h) para contêineres e toneladas por hora (t/h) ou por dia (t/dia) para os demais tipos de carga (granéis sólidos, líquidos e carga geral).

$$\text{Produtividade média de atendimento} = \text{Média das pranchas do navio no berço}$$

“A determinação da produtividade do sistema de carga e descarga dos navios constitui um claro indicador de eficiência do porto” (DE MONIE, 1988). Ao comparar dois ou mais portos esta afirmação só é válida se for considerado o equipamento utilizado pelo porto. Porém muitos armadores se valem somente deste indicador para escolher o porto de destino.

De acordo com Handabaka (1994) a eficiência das instalações de manuseio de carga e os serviços portuários têm influência decisiva sobre a competitividade do transporte de

mercadorias. Quando os armadores dos navios enfrentam dificuldades devido ao baixo nível de eficiência do porto ou problemas de congestionamento começam a procurar soluções alternativas. Uma dessas soluções é repassar os custos adicionais de espera do navio aos clientes por meio de sobretaxa à tarifa básica do frete. Outra é procurar portos alternativos com maior eficiência no manuseio de cargas.

Segundo UNCTAD (1984) a determinação da produtividade do porto é fundamental para o planejamento do desenvolvimento portuário. Quando o administrador portuário for fazer o planejamento, precisa saber qual é a produtividade do porto através de dados concisos e confiáveis, ou os resultados podem ser desastrosos.

A produtividade é importante para o planejador portuário, pois é através desta informação que ele determinará se o porto necessita de mais infra-estrutura para atender a demanda. Dado os custos elevados dos equipamentos e estruturas físicas do porto, faz-se necessário o planejamento com bastante antecedência da aquisição e construção.

Alguns equívocos podem ser cometidos ao determinar a produtividade dos equipamentos portuários. Muitos portos têm o costume de informar a produtividade nominal do equipamento, ou seja, a produtividade fornecida pelo fabricante, sem paralisações durante a operação do equipamento. Esta produtividade muitas vezes é superior à produtividade efetiva.

Outro equívoco pode ocorrer quando há acréscimo de produtividade ao mesmo tempo em que ocorre o aumento da movimentação de carga do porto. Melhores produtividades na movimentação de cargas são observadas em navios maiores, ou seja, quanto maior o navio maior é a produtividade. Alguns estudos foram realizados para descobrir um modelo analítico que representasse essa relação. O melhor apresentado foi desenvolvido por DSC (*apud* FOURGEAU, 2000), mostrada na Figura 2.4 (Contêineres por hora *versus* Consignação do navio (TEU)).

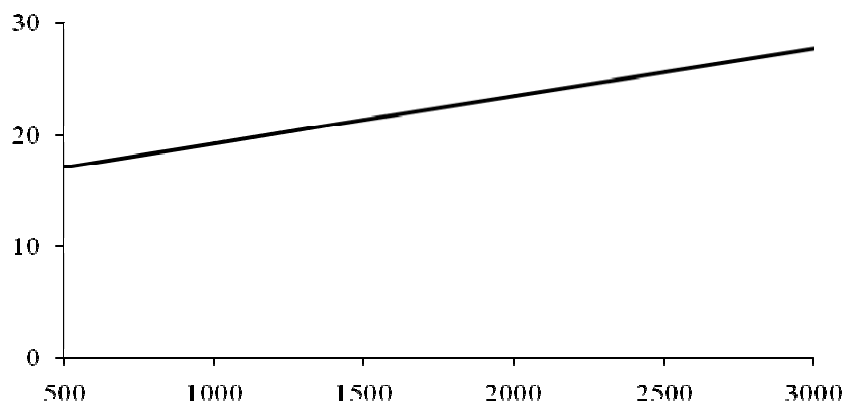


Figura 2.4 – Variação da produtividade com o aumento da consignação dos navios de contêineres (adaptado de DSC *apud* FOURGEAU, 2000)

Nestes casos os dois incrementos estão estritamente relacionados e deve-se verificar a taxa de ocupação e o tempo de espera dos berços para verificar se o porto não está excedendo seu limite de capacidade.

A produtividade nominal é a quantidade de carga movimentada (toneladas ou unidades de contêineres) dividido pelo tempo de operação do navio desconsiderando as interrupções, sendo esta fornecida pelos fabricantes (UNCTAD, 1984).

Já a produtividade efetiva considera o tempo morto (interrupções e jornada de trabalho) durante o tempo de operação (UNCTAD, 1984). Esta produtividade é determinada através de fórmulas fornecidas pela UNCTAD, apresentadas a seguir, para cada um dos tipos de carga:

i. Carga Geral

$$\text{Produtividade efetiva} = Pn \times fr \times e_1$$

Em que:

Pn : produtividade nominal (t/h);

fr : fração do tempo total que se trabalha em navios atracados;

e_1 : coeficiente de correção do número de equipamentos que é 1,0; 1,8 e 2,4 para um, dois e três equipamentos respectivamente.

A fração do tempo total que se trabalha em navios atracados (fr) é obtida pela seguinte fórmula:

$$fr = \frac{\text{número de horas trabalhadas por dia} \times \text{número de dias trabalhados na semana}}{24 \times 7}$$

ii. Contêineres

$$\text{Produtividade efetiva} = P_n \times e_1 \times e_2$$

Em que:

P_n : produtividade nominal (t/h);

e_1 : coeficiente de correção do número de equipamentos que é 1,0; 1,8 e 2,4 para um, dois e três equipamentos respectivamente;

e_2 : coeficiente de correção dos tempos mortos na operação de 0,6.

iii. Granéis sólidos

$$\text{Produtividade efetiva} = P_n \times e_1 \times e_2$$

Em que:

P_n : produtividade nominal (t/h);

e_1 : coeficiente de correção do número de equipamentos que é 1,0; 1,75; 2,25; 2,60 e 2,85 para um, dois, três, quatro e cinco equipamentos respectivamente;

e_2 : coeficiente de eficiência do equipamento (0,7 para carregadores e 0,5 para descarregadores).

Para o granel líquido considera-se que a produtividade nominal do equipamento é a mesma da produtividade efetiva com diferença de apenas 10%.

Os guindastes, *portêineres*, *transtêineres* e outros equipamentos de movimentação de carga podem quebrar ocasionando perda de produtividade e até mesmo estagnação da movimentação de carga (tempo morto). De acordo com Fourgeau (2000), a disponibilidade destes equipamentos deve ser maior que 90%. Em alguns portos modernos essa disponibilidade chega a 98%, havendo apenas 2% de perda.

A produtividade efetiva e a nominal devem ser comparadas com a produtividade média do berço para que seja feita a avaliação das operações de carga e descarga dos navios em cada berço e por tipo de carga.

2.3.4 Tempo Médio de Atendimento

O tempo de atendimento é a quantidade média de tempo (em horas) que o navio passa atracado no berço, por tipo de carga.

De acordo com Fourgeau (2000), o tempo de atendimento nos berços não deve exceder 5 dias para navios de contêiner, 7 a 10 dias para navios de carga geral e duas semanas para navios a granel.

Devido ao desenvolvimento tecnológico, estes tempos de atendimento citados podem ser considerados altos e dependem muito da quantidade de carga movimentada.

2.3.5 Tempo Médio de Espera dos Navios

Se a chegada dos navios ao porto fosse regular e o tempo de atendimento dos navios fosse constante, seria possível dimensionar o porto para ter ocupação constante dos berços sem gerar tempos de espera dos navios. Porém isso não é possível devido à chegada aleatória dos navios e à irregularidade do tempo de atendimento dos berços por causa de fatores de natureza externa à operação.

O tempo médio de espera dos navios é o tempo gasto em horas que os navios de mesmo grupo de mercadorias esperam para atracar em um berço devido este estar ocupado por outro navio de mesma carga ou não (ANTAQ, 2003). Este é um indicador de qualidade de atendimento, pois o tempo gasto ao esperar pelo berço gera altos custos.

A única maneira de não haver tempos de espera é manter baixas as taxas de ocupação dos berços. Porém para manter o berço operando constantemente seria necessária fila constante de navios, ocasionando tempos de espera. Isso mostra a contradição entre os armadores que querem tempos de espera mínimos exigindo mais postos de atraque do porto e os proprietários dos portos que querem níveis de espera razoáveis para economizar em infra-estrutura. Para determinar o ponto ótimo entre tempo de espera e taxa de ocupação devem ser considerados os custos portuários.

Através de estudos desenvolvidos pela UNCTAD determinou-se que ao diminuir o tempo de operação do navio, reduz-se consideravelmente o tempo de espera como mostra a Figura 2.5.

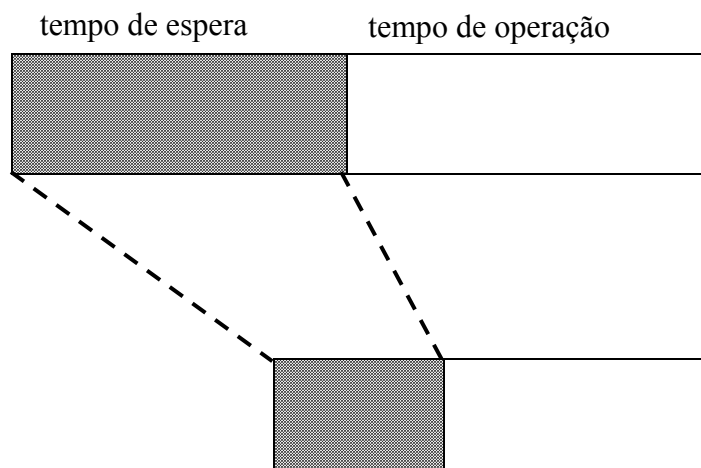


Figura 2.5 – Efeito da diminuição do tempo de operação no tempo de espera (adaptado de UNCTAD, 1988)

Deste modo os portos que possuem tempos de espera muito altos possuem duas opções para solucionar este problema: aumentar o número de postos de atraque (como pode ser visto no item de taxa de ocupação) ou diminuir o tempo de operação. Esta última opção é a melhor e mais econômica, pois basta aumentar a produtividade do terminal adquirindo equipamentos melhores, desde que não se tenha atingido a produtividade máxima que os equipamentos do mercado podem oferecer.

2.3.6 Nível de serviço

O nível de serviço é a relação entre os tempos de espera e os tempos de atendimento dos navios em porcentagem (%) e funciona como “indicador de presteza” do atendimento aos navios (ANTAQ, 2003).

$$\text{Nível de serviço} = \frac{\text{tempo de espera do navio}}{\text{tempo de atendimento do navio}}$$

De acordo com UNCTAD (1984), o nível de serviço ideal para o atendimento de navios de qualquer tipo de carga é de 30%. Níveis de serviços maiores podem ocasionar o aumento do tempo de espera culminando no pagamento de *demurrage*. Já níveis muito menores podem caracterizar ociosidade da infra-estrutura portuária.

Ao utilizar este indicador deve-se averiguar sempre o tamanho dos tempos de espera e atracado dos navios, pois se estes estiverem muito altos, pode-se ter a falsa impressão de que a operação está ocorrendo de maneira adequada.

2.3.7 Índice Médio de Ocupação dos Berços (Taxa de Ocupação)

A taxa de ocupação do berço é a relação entre o tempo que o berço passou ocupado e o tempo disponível do berço neste período, em porcentagem (%) (ANTAQ, 2003). “A taxa de ocupação indica o percentual de utilização das instalações durante um período de tempo determinado” (DE MONIE, 1988).

$$\text{taxa de ocupação} = \frac{\text{tempo em que o berço passou ocupado em horas}}{\text{tempo do berço disponível}}$$

Segundo Fourgeaud (2000), os berços em que operam navios que fazem os serviços de linha regular não devem ter taxa de ocupação superior a 60%. Acima desta taxa, os tempos de espera dos navios podem ser altos, ocasionando o cancelamento da atracação do navio no porto, pois estes têm cronograma rigoroso a ser cumprido. Quando isso ocorre, a carga é levada para outro porto ou espera a chegada de outro navio da mesma linha.

Para navios afretados a taxa de ocupação pode ser de até 80%, dependendo do tipo de carga a ser movimentada e do valor do *demurrage*, pois esta taxa costuma gerar tempos de espera consideráveis.

No trabalho desenvolvido por De Monie (1988), onde é realizada a análise do comportamento entre taxa de ocupação e tempo de espera, observou-se que em portos com mesmo nível de ocupação, o tempo de espera é maior naqueles com menos pontos de atraque. Dessa maneira fica difícil determinar uma taxa de ocupação ótima para todos os portos.

Neste mesmo trabalho verifica-se que mesmo obtendo-se o valor ótimo da taxa de ocupação para um porto, é muito difícil mantê-la devido às grandes variações da frequência de chegada dos navios ao porto. O valor ótimo de ocupação pode ser adquirido através do custo médio de total mínimo de permanência do navio no porto como mostrado anteriormente.

2.4 Os Terminais de Contêineres

O contêiner surgiu em meados da década de 1950 nos Estados Unidos, inicialmente para atender ao tráfego doméstico por organização que combinava transporte terrestre e marítimo. Este equipamento consiste em carga uniforme e modular na forma de prisma, a qual tem 20 ou 40 pés de comprimento, com largura e altura de 8 pés. Em geral suporta carga máxima de 20,3 toneladas (20 pés) e 30,5 toneladas (40 pés), sendo seu tráfego contabilizado em unidades ou em TEU (unidades equivalentes de 20 pés).

As Figuras 2.6 a 2.9 apresentam especificações e outros tipos de contêineres:

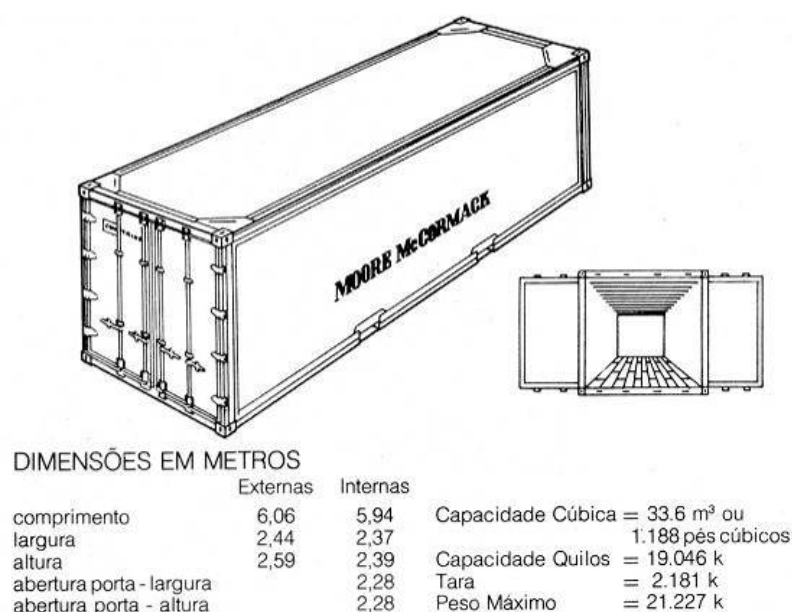


Figura 2.6 – Contêiner fechado de 20' (NOVO MILENIO, 2008)

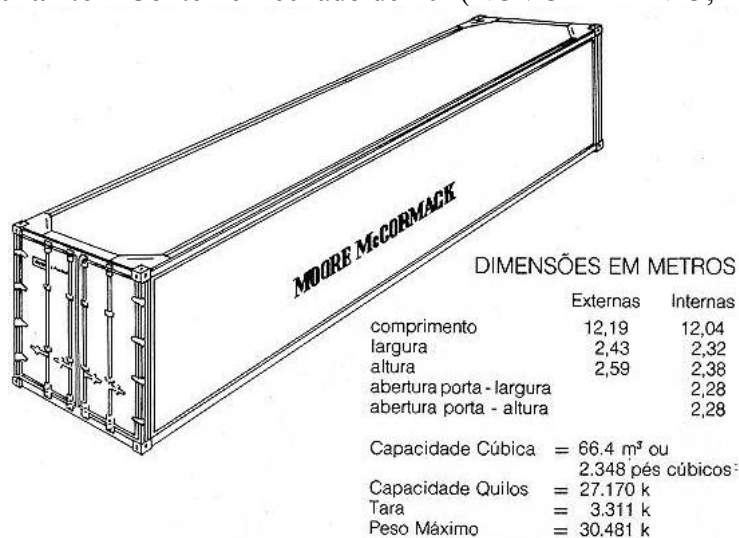


Figura 2.7 – Contêiner fechado de 40' (NOVO MILENIO, 2008)

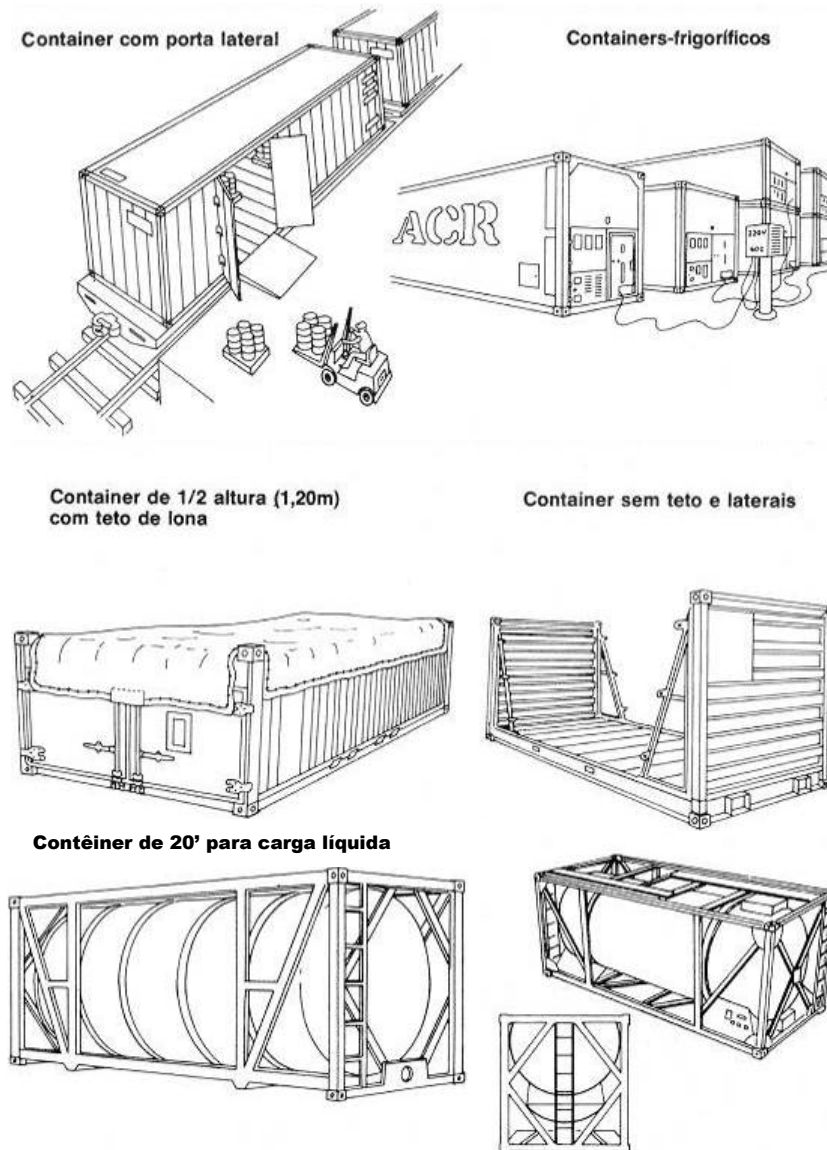


Figura 2.8 – Tipos específicos de contêineres (NOVO MILENIO, 2008)

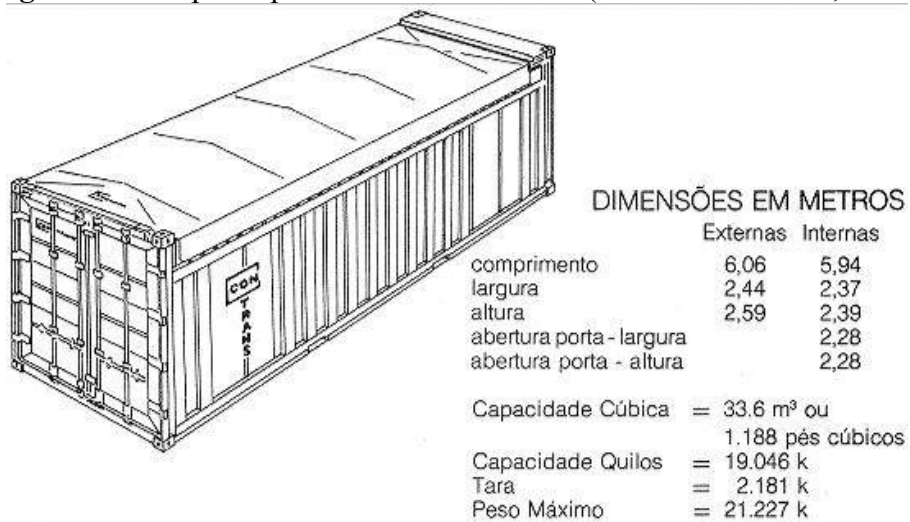


Figura 2.9 – Contêiner de 20' com teto de lona removível (NOVO MILENIO, 2008)

O contêiner eliminou dois dos principais problemas do passado no que tange ao transporte de carga geral solta: embalagem e falta de uniformidade. Este tipo de carga permitiu que as mercadorias fossem tratadas como *commodity* uniforme, reduzindo os tempos de transferências e as perdas e danos aos produtos. Sua vantagem mais importante frente ao transporte de carga geral solta é a redução do tempo de ciclo dos navios e dos custos de operação (BRUUN, 1973).

O desenvolvimento do transporte de contêineres gerou benefícios significativos ao transporte de cargas. Este equipamento trouxe segurança para as mercadorias transportadas e principalmente agilidade e flexibilidade, possibilitando o rápido transbordo da carga e transferência entre modais.

No Brasil, o transporte marítimo de contêineres é realizado basicamente por navios de linha regular, que realizam escalas em diversos portos da costa nacional. O funcionamento deste sistema é semelhante ao transporte de passageiros pelas linhas de ônibus, com a diferença de que os navios têm suas paradas pré-programadas.

O transporte de linha regular de contêineres, apesar de eficiente e econômico para os armadores, gera muita pressão por eficiência para os portos. Isso porque obedecem a um cronograma rígido, com datas de chegadas nos portos já definidas, nos quais os atrasos podem significar custos significativos para armadores e donos de mercadorias.

Os navios de linha convencionais gastam entre 30 e 50% do tempo de viagem nos portos e os custos de movimentação da carga representam entre 40 e 60% do frete (BRUUN, 1973).

Para atender a essa exigência por eficiência, os portos começaram a se especializar, destinando áreas específicas para a movimentação de contêineres e adquirindo equipamentos especializados.

De acordo com a UNCTAD (1984) para que o investimento em terminais de contêineres especializados seja justificado, deve-se ter a movimentação acima de 50.000 TEU/ano. Abaixo deste nível o porto terá que proporcionar serviços limitados para os navios porta contêineres, optando por terminais polivalentes de carga.

Do ponto de vista organizacional, os portos envolvem tantos atores e entidades que torna difícil sua gerência. Neste cenário os terminais de contêineres mostram-se os mais complexos de se gerenciar no sentido de conseguir bons resultados financeiros (BRUUN, 1973).

Os fatores que influenciam no planejamento de terminais de contêineres e sua discriminação são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Fatores que influenciam no planejamento de terminais de contêineres (UNCTAD, 1984)

Fatores	Discriminação dos fatores
Aquisição do Espaço	Movimento de contêineres, frequência de saídas, consignação do navio, número de usuários, prioridades, tempo de atendimento do navio, situação geográfica, demanda de importação e exportação, relação de contêineres de 20' e de 40', molhe, pátio de estocagem, estacionamento de caminhões, oficina de equipamentos e contêineres, administração, agências, possibilidade de ampliação.
Navio	Tamanho, tipo, volume médio e máximo, ritmo de trabalho necessário e tipos de contêineres.
Terra	Nível de serviço e disponibilidade de espaço.
Outros equipamentos	Água, combustível, telefone, eletricidade, esgoto, sistema contra incêndio e segurança.
Planejamento Financeiro	Custos financeiros e econômicos, benefícios financeiros e econômicos e meio de financiamento.
Planejamento das operações	Serviços especiais, sistema de controle, simulação, erro humano, segurança, inspeções, pesagens, sanidade, horário de trabalho, planejamento da estiva e procedimentos.
Planejamento da mão-de-obra	Quadro de empregados, turnos, disponibilidade, sistema de pagamento, negociações sindicais, práticas restritivas e formação.
Fatores Intangíveis	Tradições do porto e das companhias, política local e nacional e decisões das conferências.
Fatores Institucionais	Município, administração do porto, aduanas, agências sanitárias, imigração e bancos.

Dos fatores apresentados acima se destacam para o planejamento de terminais de contêineres o tempo de atendimento do navio, a prancha de atendimento ao navio, o nível de serviço e o espaço necessário para a construção e expansão do porto, pois estes aspectos estão relacionados aos maiores custos dos terminais.

Segundo a UNCTAD (1984), os navios porta contêineres são muito mais caros que os navios de carga geral, fazendo-se necessário minimizar o tempo de espera e trabalhar com taxas de ocupação mais baixas. No procedimento de planejamento o efeito econômico básico do tempo de espera é fator principal na decisão de investimentos.

A entidade afirma ainda que no planejamento de terminais especializados devem-se levar em consideração os seguintes aspectos:

- Se a taxa de ocupação obtida dos berços de atracação oferecerá equilíbrio adequado entre o tempo que o navio espera para atracar e o tempo que o berço passa desocupado;
- Se o tempo total de permanência do navio no porto será satisfatório para um usuário normal, independente da taxa de utilização dos berços;

- Se existe suficiente reserva de capacidade para oferecer serviço satisfatório ao usuário excepcional e dar garantias de que não haverá congestionamentos em períodos de pico de movimentação excepcionais.

Essa preocupação com o custo do atendimento aos navios pode ser justificada observando o valor do afretamento de navios porta contêineres. Em UNCTAD (2007) verificou-se que o custo médio diário do contêiner em navios de 2.500 TEU foi de US\$ 10,32 e para navios de 1.300 TEU foi de US\$ 14,21. Estimando que a maioria dos navios que trafegam na costa brasileira tem essas dimensões pode-se afirmar que o custo médio diário destes navios é de aproximadamente US\$ 22.150/dia.

Para se ter idéia do quanto esse valor representa, adota-se como exemplo o porto de Suape que atendeu em 2007 cerca de 571 embarcações com contêineres (ANTAQ, 2008). Supondo que esses navios esperassem em média 6 h para atracar, ter-se-ia o prejuízo anual de R\$ 3.162.000,00 o suficiente para viabilizar a construção de novo berço ou aquisição de novos equipamentos.

Por isso a maioria dos estudos de planejamento portuário e simulação focam nos serviços aos navios, pois os custos do navio e a demanda dos clientes são maiores (SGOURIDIS e ANGELIDES, 2002).

Entretanto para o planejamento de terminais de contêineres deve-se primeiramente verificar se existe espaço necessário para zona de armazenamento e zonas administrativas e só depois verificar o número de berços necessários (UNCTAD 1984).

Isso porque a falta de espaço para estocagem de contêineres gera menor eficiência portuária, ocasionada por congestionamentos e embarque/desembarque direto da unidade, acarretando em maiores custos de operação.

O embarque ou desembarque direto é aquele em que a unidade é colocada no navio ou sai do porto sem passar por estocagem prévia. A ineficiência desta operação está no fato de muitas vezes o navio ter de esperar pelos caminhões que chegam aleatoriamente ao porto.

O leiaute do pátio de estocagem de contêineres só é elaborado após a definição do tipo de equipamento que será utilizado, os quais possuem características peculiares. De acordo com Agerschou *et al* (1984) os sistemas de equipamentos utilizados tipicamente nos terminais de contêineres são:

- Semi-reboque: os contêineres são colocados ou retirados pelos guindastes de semi-reboques puxados por cavalos mecânicos ou tratores. No pátio de estocagem ficam armazenados sobre o semi-reboque, aguardando liberação e o cavalo mecânico que irá levá-lo até o destino final.
- *Stradle carriers* pegam o contêiner na beira do cais e o empilham no pátio de estocagem de dois a três unidades de altura. A operação inversa configura-se na exportação.
- *Transtêineres* sobre pneus ou trilhos combinados com cavalos mecânicos com reboque que fazem o transporte entre o cais e o pátio de estocagem. Os contêineres são empilhados em alturas que podem variar entre três e seis unidades.
- Combinação entre *transtêineres* e *stradle carriers*.
- Empilhadeiras telescópicas (*reach stackers*) ou de mastro (*top loader*) combinado com cavalos mecânicos com reboque que fazem o transporte entre o cais e o pátio de estocagem. No primeiro caso podem-se empilhar contêineres até três unidades em quatro filas de largura, enquanto no segundo podem-se empilhar três unidades em apenas duas filas de largura.

O sistema de movimentação de contêineres deverá ser escolhido considerando o tipo de movimento que será realizado, o número de contêineres que se deseja movimentar por hora e a distância de translação. As características de cada sistema são resumidas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Características dos sistemas de operação de pátio de contêineres (AGERSCHOU et al, 1984)

Sistema	Área do Pátio e Altura de Estocagem	Considerações Operacionais	Custo e Vida Útil	Flexibilidade no Uso	Confiabilidade	Observações
Semi-reboque	Sem empilhamento. Requer grandes áreas	Sempre acessa cada contêiner. Sem excesso de movimento das unidades.	Custo relativamente baixo e vida útil longa para o pátio e semi-reboques.	Mesmo reboque utilizado para transporte e estocagem.	Muito boa.	Normalmente adéqua melhor para terminal com único usuário e como parte de serviço integrado.
<i>Stradle Carriers</i>	2 a 3 de altura	Baixa visibilidade. Propenso a acidentes.	Altos custos de manutenção e pequena vida útil.	Pode ser utilizado em qualquer parte do terminal.	Baixa confiabilidade devido à freqüente quebra.	Derrame de óleo causa superfícies escorregadias e desintegração do pavimento.
<i>Transtêineres</i>	4 a 5 de altura	Movimentos para acesso aos contêineres aumentam com a altura de empilhamento. Quando em trilhos podem ser automatizados.	Baixo custo de manutenção e vida útil longa.	Menor que a dos outros equipamentos.	Muito boa.	O total dos benefícios não é conseguido sem controle do transporte terrestre.

O transporte de contêineres em semi-reboque é geralmente utilizado para quantidades pequenas de movimentação, pois requer grandes espaços de estocagem. Atualmente não se faz este tipo de transporte pela costa brasileira, entretanto o sistema é utilizado nas hidrovias da região Norte, onde é chamado de Ro-Ro Caboclo.

O sistema de reboques requer grandes espaços para armazenamento, pois não é possível o empilhamento das unidades, e requer quantidades significativas de reboques. As vantagens são de que o pavimento recebe menos esforços que em outras formas de estocagem de contêineres e a boa eficiência do sistema, pois os contêineres já se encontram prontos para serem removidos por um trator. (UNCTAD, 1984).

O sistema de *stradle carrier*, mostrado na Figura 2.10, também requer quantidades significativas de espaço para estocagem, porém menores que as dos semi-reboques. Este sistema é mais comumente encontrado na Europa.



Figura 2.10 – Stradle Carrier

Segundo a UNCTAD (1984), os *stradle carriers* podem empilhar os contêineres até 3 unidades de altura, movendo-os do cais ao pátio de armazenagem e vice versa, além do carregamento e descarregamento das carretas que chegam ao porto.

No passado estas máquinas geravam mal resultado pela falta de confiabilidade, escassa visibilidade, elevado custo de manutenção e curta vida útil. As perdas pelas juntas do sistema

hidráulico e os derrames de óleo geravam superfícies escorregadias, quebravam o pavimento asfáltico e obrigavam a pintura constante da sinalização horizontal.

Estudos realizados pela UNCTAD (1984) em quatro portos do Reino Unido mostraram que a porcentagem de tempo que os *stradle carriers* ficavam fora de serviço por causa de manutenção era de 30%.

Apesar destes inconvenientes a utilização freqüente destes equipamentos existe devido a sua flexibilidade e capacidade para fazer frente a demandas máximas. São necessárias aproximadamente 6 *stradle carrier* para cada *portêiner*.

O sistema de *transtêineres*, ilustrado na Figura 2.11, é o mais econômico com respeito ao espaço, pois há possibilidade de maiores alturas de empilhamento. Estes equipamentos geram bons resultados quanto à segurança, são robustos, seus custos de manutenção são baixos e tem vida útil maior que os *stradle carriers*, entretanto possuem menor flexibilidade (UNCTAD, 1984).

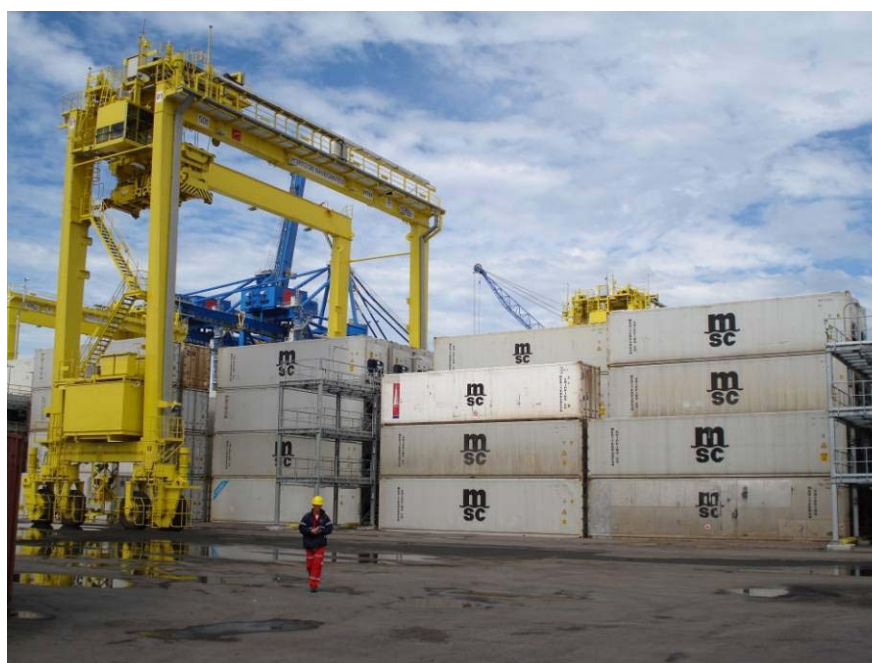


Figura 2.11 – Transtêiner

Este sistema em conjunto com os tratores de pátio é um dos mais utilizados no Brasil, sendo especialmente útil nos casos em que as exportações representam fração importante do tráfego total, porém pode-se não considerá-lo ótimo quando as importações compõem maior parte da movimentação. Isto se deve ao fato dos contêineres de importação saírem do porto de forma

irregular e como estão empilhados em cinco unidades de altura, terão que ser removidas várias unidades.

Outro sistema bastante utilizado no Brasil é o de empilhadeiras *reach stacker* (Figura 2.12) e/ou *top loader* (Figura 2.13). As também chamadas empilhadeiras de mastro (*top loader*) destinam-se principalmente a movimentação de contêineres vazios, enquanto as telescópicas (*reach stacker*) são mais encontradas nos pátios de contêineres cheios.



Figura 2.12 – Reach Stacker



Figura 2.13 – Top Loader

Neste sistema a carga suportada pelo pavimento é significativamente pesada e, por conseguinte irá requerer reforço suficiente do solo. Entretanto a quantidade de área necessária é semelhante a do *stradle carrier* (UNCTAD, 1984).

Com as empilhadeiras pode-se transportar o contêiner do costado do navio para o pátio de estocagem e vice versa, ou como acontece mais comumente, utilizar-se de tratores de pátio para o serviço, conforme Figura 2.14.



Figura 2.14 – Tratores de pátio

Para movimentação de contêineres entre o navio e o porto podem ser utilizados os guindastes de bordo dos navios, os guindastes e os *portêineres*.

Os primeiros atingem produtividade média entre 9 e 11 unidades por hora segundo ANTAQ (2008). Muitos dos navios produzidos atualmente não vêm mais com estes equipamentos devido a sua ineficiência e ao espaço que ocupam.

Já os guindastes podem ter produtividade nominal de até 30 unidades/h, sendo os mais comuns os guindastes móveis sobre pneus mais conhecidos como MHC (*mobile harbour crane*), ver Figura 2.15. Estes custam quase metade do preço dos *portêineres*, têm carga melhor distribuída sobre o pavimento e podem ser utilizados na movimentação de outras cargas.



Figura 2.15 – Guindaste MHC

Os *portêineres* (Figura 2.16) são os equipamentos mais eficientes na movimentação de contêineres que existem atualmente, com produtividade nominal variando de 40 a 50 unidades/h. Estes equipamentos têm menor flexibilidade que os MHC, pois são dispostos sobre trilhos que suportam seu peso significativo.



Figura 2.16 – *Portêiner*

O elemento chave da eficiência das instalações portuárias são os equipamentos de manuseio. Quanto mais especializado for o equipamento, mais eficiente ele será ao movimentar a mercadoria. Por isso existe a tendência de especialização dos terminais, fazendo com que estes movimentem apenas um tipo de carga (contêineres, carga geral, granel sólido ou líquido).

2.5 Simulação Aplicada aos Terminais de Contêineres

A simulação é uma abordagem geral para o estudo de problemas complexos, para os quais a solução analítica é excessivamente complexa ou restritiva em relação às características do problema real. Num contexto mais amplo, a simulação refere-se à construção de modelos de qualquer natureza (físicos, matemáticos, lógicos, idealizados) e na condução de experimentos com estes modelos para o estudo de uma ou mais variáveis de interesse (CRUZ *et al*, 2001).

A simulação é uma técnica utilizada para desenvolver modelos matemáticos ou computacionais de situações reais, com o objetivo de auxiliar no estudo de sistemas. Através dela pode-se prever como as operações de sistemas dinâmicos serão realizadas e averiguar qual o grau de influência das variáveis que compõem o sistema.

Segundo Perros (2003) os modelos são representações da estrutura de sistemas da vida real e a simulação seria um modelo estocástico, que representa sistemas reais através de símbolos, equações matemáticas e programas de computadores. Os modelos estocásticos são aqueles que contêm elementos de probabilidade.

Chung (2003) aborda a simulação de maneira semelhante, afirmando que é o processo de criação e experimentação de sistemas físicos através de modelos matemáticos computadorizados, sendo o sistema o conjunto de componentes que interagem para transformar insumos em produtos que servirão para algum propósito.

Este autor afirma ainda que esta ferramenta é importante para auxiliar na tomada de decisão, pois durante sua execução pode-se verificar o comportamento do sistema e alterá-lo conforme necessário. Além disso, a comparação dos resultados de vários modelos diferentes serve para determinar qual o mais eficiente.

Outras vantagens da simulação são que sua utilização permite desenvolver políticas para aquisição de recursos para manter a eficiência das operações, testar sistemas reais antes de aplicá-los e gerar informações destes sem causar distúrbios ou gastos.

Segundo Cardoso e Teles (2001) a simulação pode ser aplicada em estudos onde a dinâmica dos sistemas produtivos tenha relativa complexidade operacional, alto grau de dificuldade de modelagem ou causem transtornos aos usuários, reproduzindo com razoável fidelidade a realidade do cenário em questão.

A simulação é uma ferramenta poderosa para avaliar um sistema proposto e selecionar o *design* perfeito antes de implementá-lo (ALATTAR *et al*, 2006). Entre suas vantagens podem-se citar:

- O problema complexo pode ser dividido em pequenas partes e apesar de tratados separadamente podem atingir o ótimo global;
- Qualquer parâmetro pode ser alterado e os resultados podem ser obtidos em minutos;
- O sistema modelado pode existir ou não;
- O tempo pode ser reduzidos na simulação para que anos ou meses passem em segundos.

Como desvantagens podem-se citar:

- É necessária quantidade significativa de dados passados para que o modelo seja confiável;
- Podem ser analisadas diversas opções, porém o modelo não dará a melhor solução.

Esta técnica é composta basicamente por entidades, filas e recursos (CHUNG, 2003), como pode ser observado na Figura 2.17. As entidades são objetos ou pessoas que mudam o estado do sistema. Já a fila é o local onde a entidade espera para ser atendida pelos recursos, que processam as entidades.

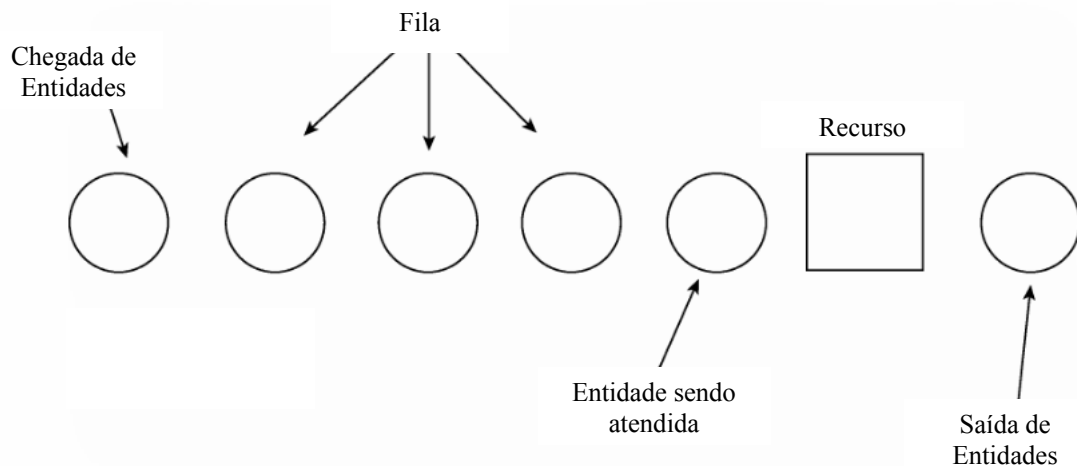


Figura 2.17 – Composição Básica da Simulação (CHUNG, 2003)

A simulação pode ser aplicada em portos, onde o conjunto de equipamentos e infra-estruturas (recursos) interagem para transferir cargas entre os veículos (entidades) do modal marítimo para os modais terrestres. Através desta, pode-se averiguar a eficiência das operações portuárias e determinar sua capacidade, verificando o comportamento do sistema com o aumento de cargas projetado.

A simulação computacional é uma excelente ferramenta para ajudar planejadores, gerentes e operadores de portos e terminais a melhor configurar, equipar e gerenciar estas infra-estruturas, tendo sido geralmente utilizada como ferramenta de suporte para tomada de decisão em terminais de contêineres (HUTCHINS *et al.*, 1995).

Isso pôde ser observado no trabalho de Praça *et al.* (2007), que desenvolveram estudo de modelagem computacional com o software ARENA para avaliar o comportamento das operações do Porto de Vila do Conde a partir do aumento da demanda pelos seus serviços de movimentação (importação/exportação) e para verificar a necessidade de mais infra-estrutura.

A aferição da capacidade e da qualidade das operações foi realizada com base na taxa de ocupação dos berços de atracação dos navios e no nível de serviço de atendimento aos navios. O trabalho mostra que a ordenação dos tipos de navios que podem atracar em cada berço influi de forma significativa na capacidade do porto e qualidade do atendimento aos navios.

Nobre *et al.* (2008) fizeram estudo semelhante aplicado ao Porto do Itaquí, estudando o comportamento da capacidade de operação do porto, através de parâmetros como a taxa de ocupação dos seus berços, o tempo de espera dos navios, a fila de espera, e o tempo de

atendimento de cada berço, observando-se cenários futuros baseados nas intervenções propostas. Neste trabalho, além da análise da taxa de ocupação e do nível de serviço, a capacidade do porto atingia o limite quando o tempo de esperados navios superava um dia.

Os operadores de terminais de contêineres são atraídos pela simulação pelo fato de conseguir obter melhorias contínuas nos serviços e nos custos necessários para introduzir novas infraestruturas e procedimentos em cenários que são modelados, sendo o impacto das mudanças avaliado para garantir sua funcionalidade operacional (BRUZZONE *et al*, 1999).

Modelos de simulação são desenvolvidos para avaliar os processos dinâmicos que ocorrem em terminais de contêineres, analisando estatísticas, como produtividade média, tempo médio de espera dos navios e o número médio de movimentações no pátio (HARTMANN, 2004).

Segundo Agerschou *et al* (1984), a técnica é utilizada no planejamento do porto quando soluções analíticas não são possíveis, que geralmente ocorrem nos seguintes casos:

- A distribuição de chegadas não se adéqua a de Poisson;
- O conceito de berço é substituído pelo de comprimento do cais;
- Nem todos os navios que freqüentam o porto podem atracar em qualquer berço;
- Há normas de prioridade de atracação para determinados navios;
- Quando há operação de barcaças e navios no mesmo berço;
- Quando os equipamentos e locais de estocagem necessitam ser incluídos nas análises de todo o sistema de movimentação de carga do porto.

De acordo com Medina e Chwif (2006) o desenvolvimento do modelo de simulação divide-se em três grandes etapas: Concepção do modelo, Implementação do modelo e Análise dos Resultados.

Na etapa de concepção o autor deve ter pleno conhecimento do processo que está estudando para decidir com clareza quais serão seu escopo, suas hipóteses e seu nível de detalhamento.

Na implementação, o modelo abstrato deve ser representado sob alguma técnica de representação de modelos como o de fluxograma, para depois ser transferido para o modelo computacional. Então se gera alguns resultados para fazer a verificação e validação do modelo computacional.

Após os ajustes necessários segue-se para a última etapa do processo, na qual o modelo computacional é rodado diversas vezes e os resultados analisados e documentados. A partir dessas análises são sugeridas alterações no processo, que são novamente testadas no modelo.

Segundo Cardoso e Teles (2001), são mínimos os custos envolvidos em projetos de consultoria em estudos de simulação para avaliação de desempenho de sistemas operacionais produtivos, se comparados aos benefícios que esses podem trazer. Em seu trabalho o autor conseguiu determinar a capacidade operacional do porto e detectar pontos de gargalos e ociosidade.

Na década de 80 os modelos de simulação tratavam de forma separada os processos que ocorrem nos terminais de contêineres. Em geral os modelos abordavam separadamente o planejamento da seqüência de retirada dos contêineres dos navios, as operações navio terra ou o planejamento do pátio de estocagem, devido às limitações computacionais da época.

Em seu trabalho Agerschou *et al* (1984) cita que apesar de várias ferramentas comerciais de simulação focarem em terminais de contêineres, a maioria delas está computacionalmente devotada à estimação de operações singulares, como o cálculo do ciclo total de navios baseado no planejamento de operações. Então o autor projeta que no futuro a simulação de terminais de contêineres irá tratar de todos os processos em um só modelo, conforme a Figura 2.18.

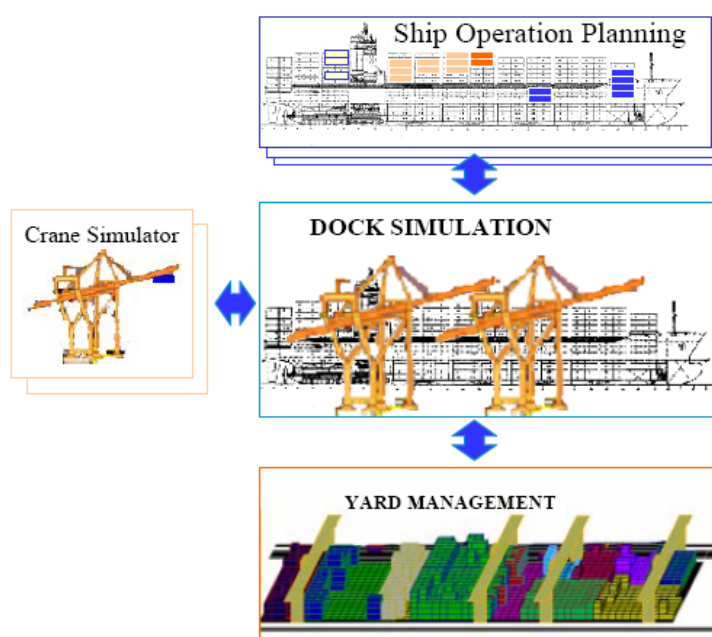


Figura 2.18 – Exemplo para simulação integrada de portos (AGERSCHOU *et al*, 1984)

A análise operacional do Porto de Santos por Tondo (1984, *apud* RAMOS 2003) através de simulação em linguagem GPSS (*General Purpose Simulation System*), permitiu a determinação do número adequado de berços e equipamentos para o porto e a movimentação eficiente do sistema de transporte complementar.

Outro que também tratou da análise por simulação em linguagem GPSS do porto de Santos foi Botter (1985, *apud* RAMOS 2003). Através desta técnica o autor conseguiu avaliar a capacidade do porto através de níveis de serviço pré-estabelecidos.

Já Mello *et al* (1986, *apud* RAMOS 2003) conseguiu através de GPSS calcular a capacidade de movimentação em contêineres/h do Porto de Santos. Foram avaliados os sistemas de importação e exportação de contêineres, apresentando para cada sentido o fluxograma de operação, os ciclos operacionais e também as escalas de tempo dos diversos equipamentos, tais como *portêineres*, carretas e empilhadeiras, envolvidos nas operações.

O artigo de Bruzzone *et al* (1999) trata das novas tendências, para a época, de simulação, mostrando que os modelos baseados em operações isoladas, somente planejamento da retirada de contêineres de navios, do pátio de estocagem ou das operações dos guindastes, iriam desenvolver-se em outros mais complexos que tratariam de todas essas funções de forma integrada.

Isso porque além da operação de carga e descarga do navio, as conexões e operações do pátio também são cruciais, podendo oferecer elemento chave para ganho de competitividade. Devido a esses diversos fatores que interagem entre si, torna-se desaconselhável a aplicação de modelos determinísticos (SGOURIDIS e ANGELIDES, 2002).

O objetivo do artigo de Sgouridis e Angelides (2002) foi desenvolver modelo que tenha credibilidade e agilidade para simular vários dias de trabalho de um terminal de contêineres. Os dados de entrada incluíram parâmetros de espaço, velocidade e frequência de chegada de modo geral. Apenas a área ou os processos de importação foram analisados.

No trabalho de Sgouridis e Angelides (2002) foi considerado que os tempos entre chegadas dos caminhões seguiam distribuição Erlang com $m=2$ e $k=2$. Esta distribuição foi proposta por Makris (1998, *apud* SGOURIDIS e ANGELIDES, 2002).

Agerschou *et al* (1984) complementa citando que a distribuição dos tempos de ciclo dos equipamentos de terra é exponencial e os *links* são processos que podem ser representados pela distribuição Erlang.

Ramos (2003) ao verificar a quantidade de trabalhos existentes sobre a simulação da operação dos navios, elaborou dissertação para avaliar a capacidade de escoamento dos contêineres do Porto de Santos através de ferrovia. A autora elaborou cinco cenários para melhorar o acesso ferroviário, que foram avaliados pela ferramenta ARENA.

O artigo de Hartmann (2004) tem como objetivo desenvolver cenários para um terminal de contêineres com vista a criar dados realistas para serem usados em modelos de simulação.

Rensburg e Kleywegt (2005) fizeram trabalho que trata da simulação do transporte de contêineres pelos navios, levando em consideração seus movimentos entre o pátio de vazios e o cliente, seu transporte para o porto, o transporte entre os portos, sua chegada ao destino final e sua volta para o pátio de vazios. O modelo também considera o transporte de contêineres vazios entre portos para evitar a falta de unidades.

Como resultados, a simulação apresentou os custos totais incorridos na movimentação de contêineres e seus lucros gerados. Além disso, o trabalho apresentou como *output* o número de contêineres fornecidos e recebidos por cada pátio de vazios (*depot*), o número de contêineres carregados e descarregados dos navios, o número de contêineres movimentados nos portos e o número de contêineres diferentes em cada *depot* no final da simulação.

O trabalho desenvolvido por Mathew, Leathrum e Frith (2005) elabora modelo de simulação orientada a objeto para o fluxo de cargas considerando a cadeia de transporte da origem ao destino da mercadoria, onde estão incluídos os processos ocorridos dentro dos terminais com seus equipamentos e infra-estruturas e o transporte entre terminais. Tem como foco as mudanças dos modais dentro da cadeia de transporte e na sua interação na infra-estrutura física de transporte.

Os resultados das simulações dividem-se entre a cadeia de transporte e os terminais de carga. No nível da cadeia foram coletadas as informações de cada peça que é transportada incluindo a hora de entrada e saída nos terminais de carga, enquanto no nível dos terminais, além dos dados do momento da entrada de cada peça, o modelo também coletou o tempo gasto por estas em cada processo. Estes dados alimentaram diversos gráficos mostrando a taxa de

utilização de cada área do terminal, a quantidade de peças no terminal em cada instante, os tempos de operação dos navios, entre outros.

O trabalho desenvolvido por Amborski *et al* (2006) analisa o sistema de tecnologia da informação implantado no porto de Gdansk na Polônia, dotado de Sistema Portuário de Gerenciamento e Informação.

No terminal de contêineres, o sistema de informação coleta dados que fornecem suporte ao gerente do terminal e de seus parceiros e possui *software* para auxiliar na movimentação de contêineres e gerenciamento dos recursos. O sistema fornece ferramentas simples para a gerência eficiente com menor custo de todas as áreas operacionais do terminal, incluindo transações de importação e exportação, serviços via *internet* ao cliente e informações sobre os contêineres no pátio.

O modelo de simulação foi composto de cinco processos principais, sendo importação e exportação do mar para terra, movimentação de cargas entre os navios e o pátio de estocagem, movimentação de cargas entre o pátio e os veículos terrestres, serviços aos navios e serviços aos veículos terrestres. A Figura 2.19 representa o modelo elaborado.

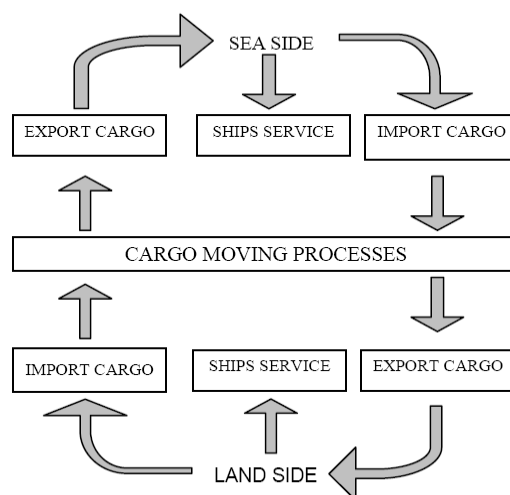


Figura 2.19 – Modelo de simulação para portos desenvolvido por Amborski *et al* (2006)

O modelo foi desenvolvido e testado com dados reais. Após sua validação foram feitas alterações na quantidade de equipamentos e infra-estrutura para avaliar o impacto na eficiência do porto. Foi verificado que alguns investimentos melhoravam significativamente os tempos de operação e a quantidade de navios na fila para atracação, entretanto em outros casos as mudanças não surtiram nenhum efeito.

O modelo também fornece informações importantes para os gestores do porto como quantidade de produtos importados e exportados, tempo de ciclo dos veículos, quantidade de navios atendidos, número médio de recursos utilizados e número de clientes que esperaram atendimento.

Já o trabalho desenvolvido por Alattar *et al* (2006) teve como objetivo reduzir as filas de contêineres do porto com o mínimo de investimento possível. Uma solução óbvia seria aumentar a infra-estrutura do terminal portuário ou adquirir mais equipamentos, porém como os investimentos são elevados faz-se primeiramente necessário verificar qual a solução mais adequada e que de preferência seja a de menor custo.

Observa-se então que os modelos de simulação desenvolveram-se junto com a tecnologia computacional, deixando de simular apenas o atendimento aos navios e passando a abordar todos os processos do porto. Em alguns trabalhos mais recentes os modelos deixaram de restringir-se ao porto e passaram a simular toda a cadeia logística dos contêineres.

Entretanto muito dos trabalhos ainda focam nas operações dos navios, pois muitos dos resultados dos modelos são de tempo de espera das embarcações, tempo de atendimento, nível de serviço, etc. Porém isso é justificado pelo custo que estas operações representam perante o total, como já foi mostrado.

2.6 Capacidade de portos e terminais de Contêineres

O planejamento das instalações portuárias é realizado comparando-se várias capacidades existentes com os diversos cenários de projeções de demandas. Este cálculo pode ser feito de várias formas, como fixando produtividade e número de berços e fazendo variar a demanda de tráfego para verificar a repercussão no nível de serviço. Outra possibilidade seria determinar a produtividade requerida para dado tempo de espera, tráfego e número de berços (UNCTAD, 1984).

Pode-se também planejar o porto a partir de um tempo de espera pré-estabelecido, que seja o equilíbrio econômico entre a taxa de utilização do berço e o custo da espera pelo navio, de forma que o armador continue obtendo bom nível de serviço. A partir deste tempo variam-se os demais indicadores para verificar a infra-estrutura necessária.

A capacidade definida por Ching (1999) é a medida da disponibilidade total de uso em termos de máquinas e horas do processo de fabricação. Torna-se útil para entender como a capacidade total do processo está sendo utilizada em horas nas categorias descritas a seguir:

- Ativa: quantidade de horas de trabalho aplicadas para produzir produtos;
- Reservada: capacidade destinada a atender as variações da demanda;
- Aprisionada: horas de perda de confiabilidade, com *start up* e com *changeover*;
- Ociosa: são as horas não utilizadas ou não necessárias ao sistema.

O *start up* é o tempo necessário para dar início à operação e o *changeover* é o tempo perdido nas trocas de linhas de produção, no caso dos portos de troca de porão do navio.

O IMAM (1998) também apresenta definições para diferentes tipos de capacidade. Uma delas é a capacidade de processo descrita como a capacidade física básica de produção dos equipamentos e dos procedimentos associados, para manter as características dos produtos dentro de limites aceitáveis. É a habilidade de desenvolver produtos dentro das especificações dos clientes.

O cálculo da capacidade consiste no estabelecimento da relação entre o nível de serviço alcançado e os três fatores seguintes: a demanda a que fazem frente às instalações portuárias, a capacidade proporcionada e o rendimento esperado nas condições locais (UNCTAD, 1984).

Percebe-se nessas definições que a capacidade está relacionada à eficiência produtiva e a disponibilidade de equipamentos com foco no atendimento às necessidades do cliente. A eficiência produtiva considerada seria a habilidade de produzir de maneira rápida, eficaz, e de modo que os recursos sejam utilizados ao máximo.

Para todos os cálculos pode-se utilizar de equações lineares com exceção do tempo pelo qual os navios esperam para atracar, que deve ser determinado por teoria das filas ou modelos de simulação. Ambas as técnicas podem apresentar problemas, pois a primeira depende da distribuição estatística de chegada e atendimento dos navios e a segunda requer quantidade considerável de dados.

O objetivo de análise de filas é avaliar o serviço e os custos de uma instalação, tal que maximize sua utilidade. Isto geralmente resulta em minimizar os custos totais ligados com o tempo ocioso da instalação e serviços versus os custos de tempo de espera dos empregados ou clientes (CRUZ *et al*, 2001). Os cálculos tipicamente procuram avaliar:

- Utilização do sistema ou taxa de uso médio de capacidade.
- Número médio de clientes na fila no sistema.
- Tempo médio que os clientes gastam na fila ou no sistema.
- Instalação ociosa respectiva e custos de tempo de espera.

Para o cálculo da capacidade do pátio de estocagem de contêineres podem ser utilizados tanto modelos determinísticos quanto estocásticos. A UNCTAD (1985) sugere a seguinte equação para este cálculo:

$$\text{Capacidade de Estocagem} = Qc \times \frac{Tmt}{365} \times \frac{1}{1 - CS} \times \frac{1}{Cup} \quad (2.1)$$

Em que:

Capacidade de estocagem: é a quantidade de posições ou *slots* que o pátio deve ter para atender a demanda, chamada de capacidade estática;

Quantidade de contêineres (Qc): é a previsão de movimentação anual do porto;

Tempo médio de trânsito (Tmt): é a quantidade média de dias que o contêiner passa no pátio de estocagem. Em geral, esse tempo varia de acordo com o sentido de movimentação, importação ou exportação;

Coefficiente de segurança (CS): é utilizado devido a ocorrências especiais, como o desvio de algum navio para um porto para outro ou períodos de pico de movimentação. O valor deste fator fica a critério do planejador, sendo geralmente utilizado 40%;

Coefficiente de utilização do pátio (Cup): é a porcentagem total estimada da quantidade de posições que serão utilizadas.

Os dados recolhidos em diversos terminais pela UNCTAD (1984) mostram que os contêineres de importação têm em média 7 dias de estadia, os de exportação 5 dias de estadia e os vazios 20 dias de estadia.

O uso do coeficiente de utilização do pátio deve-se ao erro freqüente no dimensionamento de pátio de contêineres de supor que será conseguida a altura máxima de empilhamento. Na prática a altura de empilhamento é muito menor, dependendo da freqüência que os contêineres mudam de posição e da necessidade de se classificar e separar os contêineres segundo destino, classe de peso, sentido de movimentação (importação ou exportação), tipo e com freqüência pela companhia de transporte marítimo (UNCTAD, 1985).

Nos modelos estocásticos em vez de ser utilizado o tempo médio de permanência do contêiner no porto é informado ao modelo a distribuição destes tempos. Desta forma tem-se valor final mais próximo a realidade.

Os pesquisadores Rios, Maçada e Becker (2003) realizaram estudo sob a forma de uma *e-survey*, com a utilização de um questionário via internet, visando coletar dados para revelar que variáveis os tomadores de decisão consideram importantes em seus modelos de decisão para o planejamento da capacidade dos terminais de contêineres brasileiros. As variáveis apresentadas referem-se ao planejamento de capacidade do berço, conforme Tabela 2.4 (oito variáveis) e do pátio (onze variáveis).

Das oito variáveis relativas à gestão de capacidade do berço, sobressaem-se um grupo de variáveis mais importantes, um grupo de variáveis menos importantes, e uma variável de importância intermediária.

As variáveis estão relacionadas ao tempo de atendimento do navio e conseqüentemente a prancha média de atendimento. É interessante verificar que o tempo de espera do navio foi considerado o menos importante. Como mostrado anteriormente, os donos de terminais estão mais interessados em ocupar seu berço atendendo um número máximo possível de navios, enquanto os armadores querem atracar assim que chegarem ao porto e terem atendimento eficiente.

Tabela 2.4 – Ordenação das variáveis (berço) segundo seu grau de importância para a decisão (RIOS, MAÇADA E BECKER, 2003)

Importância para decisão	Variáveis	Médias
Mais importantes	Tempo médio de operação do navio	6,27
	Número de guindastes	6,23
	Média de contêineres por navio	6,13
Importância intermediária	Número de berços	5,50
Menos importantes	Tempo de espera para atracação	5,37
	Taxa de ocupação dos berços	5,23
	Número de caminhões	5,13
	Número de navios por ano	4,83

Das onze variáveis relativas à gestão de capacidade do pátio, destacam-se um grupo de cinco mais importantes, um grupo de duas de importância intermediária, e um grupo de quatro menos importantes (ver Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Ordenação das variáveis (pátio) segundo seu grau de importância para a decisão (RIOS, MAÇADA E BECKER, 2003)

Importância para decisão	Variáveis	Médias
Mais importantes	Leiaute do pátio	6,20
	Tamanho do pátio para contêineres	5,93
	Tipos de equipamentos nos pátio	5,90
	Tempo do contêiner de exportação no pátio	5,73
	Número de equipamentos no pátio	5,73
Importância intermediária	Número (altura) de contêineres na pilha	5,43
	Tempo do contêiner de importação no pátio	5,03
Menos importantes	Tempo médio de operação dos equipamentos de pátio	4,73
	Número de caminhões	4,50
	Tempo médio de operação dos caminhões	4,27
	Tipos de contêineres	3,97

As variáveis de decisão mais importantes no planejamento de capacidade e gestão das operações de pátio estão relacionadas obviamente aos aspectos de movimentação dos contêineres, em detrimento de variáveis relacionadas a taxas médias de operação e ocupação dos equipamentos.

3. ESTUDO DE CASO

As obras do porto de Fortaleza tiveram início em 1939, estando concluído em 1952 apenas o primeiro trecho do cais, com 180 metros de comprimento, e os armazéns A-1 e A-2. O porto como se conhece hoje só veio a ser terminado em meados da década de 80 (CDC, 2008).

A exploração do porto é de responsabilidade da empresa de economia mista Companhia Docas do Ceará – CDC, criada através da resolução nº 182.1 em de março de 1965. Esta empresa está diretamente vinculada ao Ministério dos Transportes desde 1990, após a extinção da Empresa de Portos do Brasil S/A.

A influência do Porto de Fortaleza estende-se sobre toda a área do Estado do Ceará, abrangendo inclusive outras regiões além da fronteira estadual, principalmente nos Estados do Piauí e do Rio Grande do Norte.

O porto é ponto de atracação de linhas regulares de navegação de longo curso com destino à Europa e à América do Norte. Esta regularidade de embarcações para embarque e desembarque tem sido responsável pela atração de usuários, em especial de exportadores, fazendo com que para o porto venham a convergir grandes volumes de cargas de outros Estados, predominantemente do Nordeste brasileiro, representando parcela significativa das exportações realizadas.

Após a construção do Terminal Portuário do Pecém, boa parte das cargas foi transferida para este terminal em virtude de problemas de infra-estrutura e de acesso em Fortaleza.

Construído principalmente para a movimentação de carga geral, como outros de sua época, o porto está se desenvolvendo com o passar dos anos e já apresenta infra-estruturas especializadas na movimentação de granéis sólidos e líquidos.

Isso pode ser verificado na movimentação de cargas dos últimos cinco anos, conforme mostra a Tabela 3.1, onde se percebe o predomínio dos granéis líquidos e sólidos em termos de quantidade.

Tabela 3.1 – Histórico da movimentação de cargas no Porto de Fortaleza em toneladas (CDC, 2008)

Tipo de Carga	2002	2003	2004	2005	2006
Granéis Líquidos	1.691.240	1.248.999	1.199.728	1.345.310	1.598.201
Granéis Sólidos	948.249	825.361	840.375	1.095.418	1.193.606
Carga Containerizada	774.237	777.642	934.570	733.599	565.373
Carga Geral Solta	34.661	83.754	32.222	59.661	43.682
Total	3.448.387	2.935.756	3.006.895	3.233.988	3.400.862

Este capítulo tem como objetivo apresentar a caracterização física do Porto de Fortaleza, a descrição das operações de contêineres e a caracterização da demanda de contêineres dos últimos anos, que servirão de base para o desenvolvimento do modelo de simulação a ser descrito no capítulo seguinte.

3.1 Acessos Terrestres e Aquaviário

O acesso aquaviário ao porto de Fortaleza dispõe de canal de acesso com cerca de 1.200 m de comprimento, largura variável entre 80 m e 100 m e profundidade em torno de 11 m, por onde só é possível passar um navio por vez.

Para manobrar os navios, antes ou depois da atracação, são utilizadas duas bacias de evolução, sendo uma situada à frente do cais comercial com largura em torno de 300 m e profundidade variando de 9 m a 10 m. A outra, próxima ao píer petroleiro, com profundidade de 11 m pelo lado interno do píer e 12 m pelo lado externo.

As embarcações que chegam ao porto esperam para atracar em uma das sete áreas de fundeio existentes, para onde os navios são encaminhados de acordo com suas características.

Já o acesso terrestre ao porto pode ser realizado através de modal rodoviário ou ferroviário, entretanto, a quase totalidade dos contêineres que chegam ou saem do porto utilizam-se do primeiro modal.

O acesso rodoviário ao porto é feito através do município de Fortaleza, que está ligado a todo o interior do Estado por rodovias estaduais e aos demais estados brasileiros pelas rodovias federais BR-116, BR-222 e BR-020.

A leste, a rodovia federal BR-116 faz a ligação de Fortaleza com o Estado do Rio Grande do Norte, seguindo até Boqueirão do Cesário, a partir de onde, por conexão com a rodovia federal BR-304, alcança os municípios de Mossoró e Natal, além de todo o litoral brasileiro, através da BR-101.

Ao sul, a principal conexão é com o Estado de Pernambuco, através da rodovia federal BR-116, que percorre o leste do Estado do Ceará, acompanhando o Vale do Jaguaribe e passando pelas cidades de Jaguaribe e Icó, entre outras. A BR-116 corta o sertão pernambucano, passando pelas cidades de Salgueiro e Cabrobó e atinge Petrolina, por conexão com a BR-428.

Atualmente são utilizados os mais variados itinerários na interligação entre as rodovias federais e o Porto de Fortaleza. Nesses trajetos, áreas de grande adensamento populacional e comercial são sobrecarregadas com tráfego pesado de caminhões e carretas. Isso vem trazendo prejuízos a cidade e aos transportadores de mercadorias, entretanto ainda não existe projeto para viabilizar acesso adequado ao porto.

A entrada de veículos no porto era feita através do portão (*gate*) com um ponto para entrada e outro para saída, até o início de 2008. Atualmente os veículos entram por um novo portão com duas vias para a entrada e outra para saída, conforme mostra a Figura 3.1.

O acesso ferroviário é realizado por linha férrea com 13 km de extensão, capacidade de carga por eixo de 16 t e bitola de 1 m. A via atravessa a cidade, ocorrendo diversos pontos de cruzamento com a malha rodoviária e invasões do solo lindeiro que impossibilitam velocidades de operação superiores a 20 km/h.

O porto possui cerca de 2.500 m de vias ferroviárias, todas em bitola métrica, trilho TR-32 e dormentes de madeira, interligadas ao ramal da Companhia Ferroviária do Nordeste - CFN que lhe dá acesso. Há três linhas ferroviárias dentro do porto implantadas no cais e nas ruas B e C, que permitem alcançar as áreas de estocagem existentes.



Figura 3.1 – (a) Portão para entrada e saída de veículos do Porto de Fortaleza até o início de 2008 e (b) Novo Portão para entrada e saída de veículos do Porto de Fortaleza a partir de julho de 2008

3.2 Caracterização Física do Porto de Fortaleza

O Porto de Fortaleza possui cais comercial com extensão operacional de 1.054 m por 20 m de largura em estrutura de concreto armado, capacidade de suporte de 3 tf/m², com exceção do berço 105 que tem parte do seu trecho reforçado para 5 tf/m², e equipado com 40 defensas. Encontra-se dividido em sete berços enumerados de 101 a 105 no cais comercial e 201 e 202 no píer petroleiro, com as características mostradas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características dos berços do cais comercial do Porto de Fortaleza (CDC, 2008)

Características Técnicas	Berço						
	101	102	103	104	105	201	202
Comprimento (m)	213	213	220	220	250	90	90
Largura (m)	20	20	20	20	20	14	14
Profundidade Atual (m)	3 a 5	5 a 7	10	10	10,5	11,5	11,5
Capacidade de Suporte (tf/m ²)	3	3	3	3	3 a 5	2	2
Destinação	Navios de Marinha	Carga Geral	Granéis Sólidos e Contêineres	Granéis Sólidos e Contêineres	Granéis Sólidos e Contêineres	Granéis Líquidos	Granéis Líquidos

Para a armazenagem das mercadorias o porto dispõe de cinco armazéns, dois pátios e quatro silos verticais para grãos, com suas dimensões e capacidades, apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Instalações de armazenagem do Porto de Fortaleza

Instalação	Destinação	Qtde	Área (m ²)	Capacidade (t)
Armazém	Carga Geral	01	6.000	-
Armazém	Granéis Sólidos	03	6.000	30.000
Armazém	Trigo	01	6.000	45.000
Silos verticais	Trigos	02	10.600	80.000 (total)
Silos verticais	Trigo	1	12.000	22.000
Silos verticais	Trigo	02	12.000	16.350
Pátios	Contêiner	02	110.000 (total)	

Os pátios de contêineres, Figuras 3.2 e 3.3, não se encontram fisicamente separados, porém são separados em áreas localizadas à retaguarda dos armazéns A-3 e A-4, com 50.000 m², e a outra, à retaguarda do armazém A-5 e do berço 106, com 60.000 m². Esta última é dotada de 120 *plugs* para atender a contêineres frigorificados.



(a)



(b)

Figura 3.2 – (a) Pátio na retaguarda dos armazéns A-3 e A-4 do Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Pátio na retaguarda do armazém A-5 e berço 106 do Porto de Fortaleza em 2008



Figura 3.3 – (a) Pátio para contêineres *reefer* do Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Plugs para contêineres *reefer* do Porto de Fortaleza em 2008

Junto ao pátio de contêineres *reefer* existe um armazém frigorífico adaptado para fazer a inspeção das cargas refrigeradas com dois pontos de atendimento, ver Figura 3.4.



Figura 3.4 – Armazém para inspeção de cargas refrigeradas do Porto de Fortaleza em 2008

Não foi possível determinar a capacidade estática atual dos pátios, devido à falta de organização da disposição dos contêineres. As linhas que delimitam os *slots*, as pilhas e as vias de circulação estavam apagadas e muitas unidades estavam dispostas em várias filas, o que é inadequado para o tipo de equipamento utilizado no porto (Figura 3.5). Um dos funcionários do porto estimou que a capacidade estática do porto seria de 8.000 TEU.



Figura 3.5 – (a) Organização das pilhas de contêineres no Porto de Fortaleza em 2008 e (b) Organização das pilhas de contêineres no Porto de Fortaleza em 2008

A movimentação dos contêineres nos pátios é feita por caminhões com reboque específico para transportar as unidades dentro do porto, quatro empilhadeiras do tipo *reach stacker* e duas empilhadeiras do tipo *top loader*.

A Figura 3.6 apresenta o desenho geral do porto, na qual a área destacada de cor azul representa a área do pátio de contêineres em 2007.

Como não se consegue definir a capacidade estática existente realizou-se a reorganização do pátio de pátio de contêineres, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

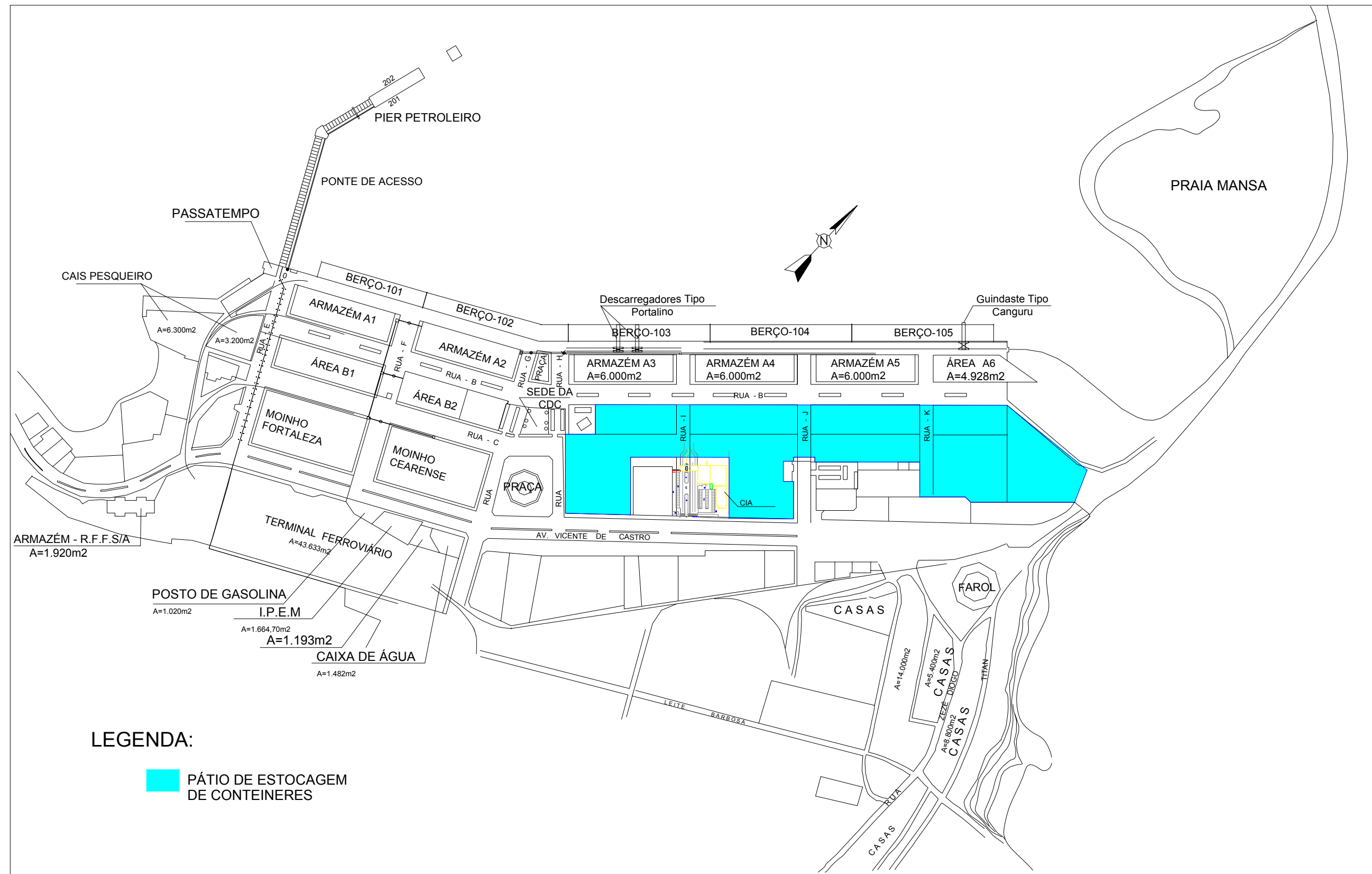


Figura 3.6 – Planta geral do Porto de Fortaleza (adaptado de CDC, 2008)

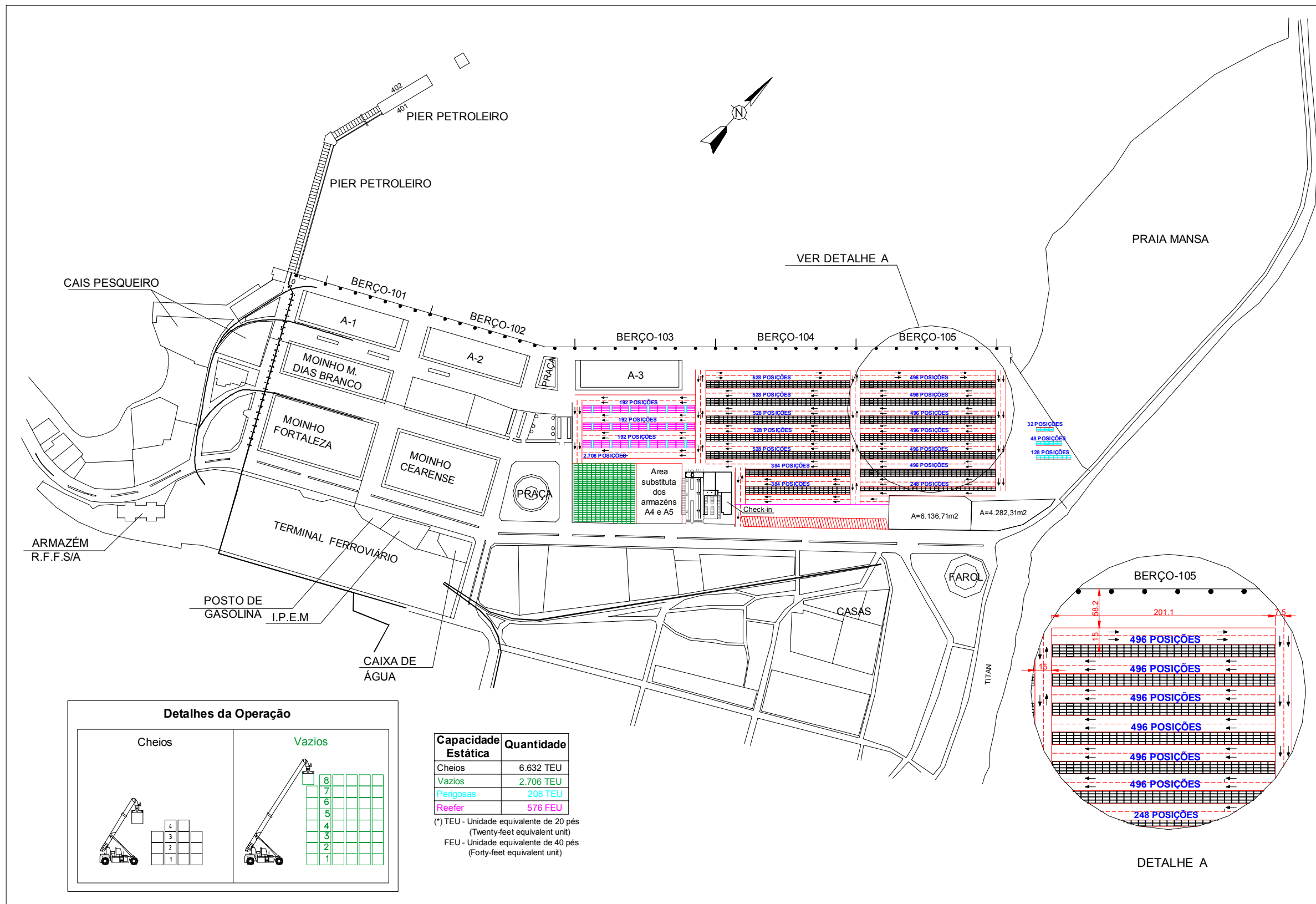


Figura 3.7 – Planta com a reorganização do pátio de estocagem do Porto de Fortaleza

Na nova organização, foram demolidos os armazéns A4 e A5 para ceder mais espaço para movimentação dos equipamentos de pátio e maior área operacional do cais de atracação. As atividades dos dois armazéns foram transferidas para outra estrutura na retaguarda do pátio, sem prejuízo para as operações.

A organização das pilhas com quatro contêineres de largura e quatro de altura e dos arruamentos foram são indicadas no estudo de Mcmenamin e Garner (1986) e nos desenhos de outros terminais de contêineres. Foram respeitadas as limitações dos *reach stacker* existentes no porto até 2007.

Na reorganização do pátio partiu-se do princípio de que como a área é limitado, deve-se utilizar o máximo possível de espaço para a estocagem de contêineres cheios. As áreas restantes destinadas para os contêineres vazios serviriam mais como pulmão, onde a unidade ficaria durante as operações do navio e depois seriam transportadas para os terminais terrestres de contêiner existentes na retroárea do porto.

Neste novo desenho a capacidade estática de estocagem passou a ser de 10.698 TEU, divididos entre 6.632 TEU de contêineres cheios, 2.706 TEU de contêineres vazios, 208 TEU de contêineres com carga perigosa e 1.152 TEU de contêineres *reefer*.

Os contêineres cheios estão representados pela cor preta, ocupando a maior parte da área de estocagem disponível. Já os contêineres vazios podem ser identificados pela cor verde, com empilhamento em várias filas, pois não possuem seletividade.

Os contêineres *reefer* estão representados pela cor rosa e em unidades de 40 pés. Este tipo de contêiner foi desenhado com separação entre unidades por estrutura de cor azul claro, que representa andaimes com escadas cuja finalidade é permitir o acesso de funcionários para checagem de temperatura e pequenas reparações das unidades. Estes andaimes são ilustrados na Figura 3.8.

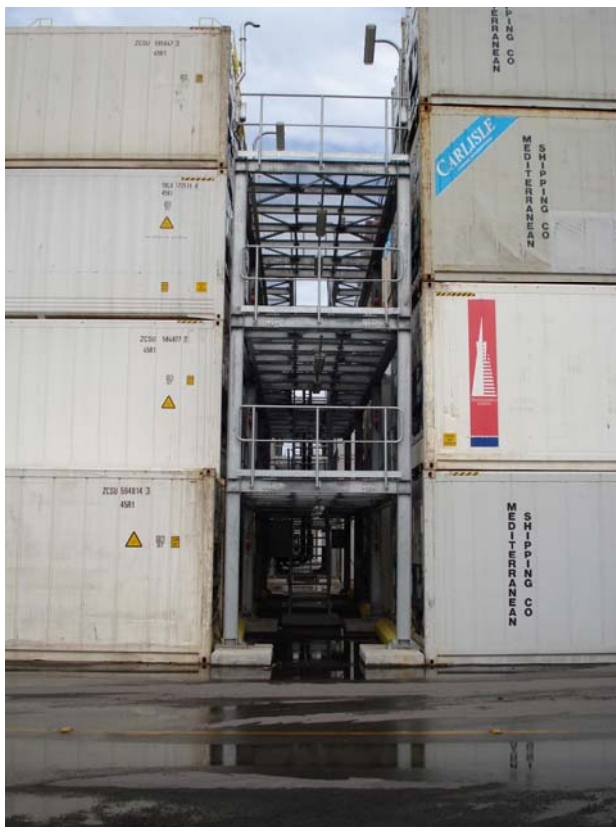


Figura 3.8 – Estrutura metálica de andaimes com escada para acesso dos funcionários aos contêineres *reefer* empilhados

Os contêineres para cargas perigosas encontram-se separados das demais pilhas e representados na cor azul. Por motivos de segurança estas unidades só podem ser organizadas de duas em duas filas e com altura máxima de empilhamento de duas unidades.

3.3 Caracterização da Operação de Contêineres

As operações de exportação de contêineres iniciam-se com a chegada dos contêineres em caminhões que seguem para o *gate* de entrada, onde é verificado se este se encontra cadastrado no sistema de controle de entrada e saída de veículos da Companhia Docas do Ceará. A verificação ocorre com a conferência do número da licença (placa) do veículo.

Se o veículo ainda não estiver cadastrado, são solicitados alguns dados do condutor e do veículo (nome, RG, placa, tipo do veículo etc.) para que seja permitida sua entrada no porto.

Após a verificação dos dados, o motorista do caminhão é orientado a entrar e deixar seu veículo com o contêiner nas proximidades do Posto da Guarda Portuária, logo depois do

portão de entrada principal. Em geral, os motoristas já conhecem a rotina de movimentação, pois os veículos transportadores de contêineres pertencem a operadores portuários locais.

O caminhoneiro segue com a documentação das mercadorias para o Posto da SEFAZ onde a nota fiscal é conferida, em seus termos gerais, e, estando regular, recebe o carimbo de conformidade. Ele retorna então para o posto da guarda portuária, onde apresenta a nota fiscal carimbada para que seja permitida sua circulação no porto.

Após passar pela guarda portuária, o motorista segue para o escritório do controle do pátio de contêineres munido com a nota fiscal, na qual é feito carimbo em seu verso para preenchimento do número do contêiner, número do lacre e transportador. Depois de preenchidas estas informações, um funcionário do controle de pátio vai até o local onde o caminhão encontra-se estacionado para conferi-las.

Este mesmo funcionário libera a entrada do contêiner no pátio informando ao motorista o local onde a unidade será armazenada. O sistema informa apenas em que “quadra” o contêiner será estocado, as quais são separadas pelo navio a que se destina. Já os contêineres *reefer* seguem para o local especial de estocagem, onde estão as tomadas, não havendo nenhum tipo de segregação por navio ou sentido de movimentação.

O caminhão segue para o pátio de armazenagem onde o contêiner é colocado em pilha especificada após o procedimento de presença de carga por empilhadeira *reach stacker*, não havendo qualquer tipo de arrumação ou preparação de filas dos contêineres tendo em vista a ordem ou seqüência de embarque.

Após a confirmação da localização (quadra, fila e altura) do contêiner no pátio, ocorre o seu registro no sistema informatizado de controle interno da Companhia Docas, onde são lançados os dados relativos ao transportador, número do contêiner, tipo de carga etc.

Caso o contêiner ainda não tenha passado anteriormente pelo porto de Fortaleza, é feito o seu cadastramento, que alimenta o banco de dados com informações acerca do número, tipo, tara etc., do contêiner.

O tempo médio despendido neste setor, desde a entrega da nota fiscal até a localização definitiva e recebimento do contêiner no pátio, gira em torno de 30 minutos.

Finalizado este procedimento, a documentação gerada é encaminhada até o setor de exportação da Companhia Docas do Ceará, onde são examinados o registro de exportação

(RE), a solicitação de despacho (SD) e a nota fiscal. Os dois primeiros documentos são adquiridos diretamente do Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX).

As informações do carimbo aposto no verso da nota fiscal como o navio em que será embarcado, o peso do contêiner, o tipo de mercadoria etc., são introduzidas no SISCOMEX, sendo arquivada uma via da nota.

Em seguida, os documentos são colocados em envelope e ficam aguardando o funcionário do despachante aduaneiro para levá-los até o escritório da Receita Federal. Todo o trânsito da documentação é feito através de papel, à exceção da obtenção dos dados do RE e SD, que utilizam o SISCOMEX.

No escritório da aduana é feita a verificação da presença dos documentos no envelope, o qual segue para a parametrização fiscal, operação que ocorre, em todo o país, nos seguintes horários: 9:00h, 14:00h e 17:30h, seja para mercadorias importadas ou exportadas.

Por parametrização entende-se o sorteio aleatório do procedimento do exame da fiscalização aduaneira, o qual deverá ocorrer segundo quatro diferentes canais (RECEITA FEDERAL, 2008):

- Verde: a mercadoria é desembaraçada automaticamente sem qualquer verificação;
- Amarelo: é feita conferência dos documentos de instrução e das informações constantes na declaração;
- Vermelho: neste caso, além da conferência documental, há conferência física da mercadoria;
- Cinza: é realizado o exame documental, a verificação física da mercadoria e a aplicação de procedimento especial de controle aduaneiro, para verificação de elementos indiciários de fraude, inclusive no que se refere ao preço declarado da mercadoria.

Quando a mercadoria cai em canal vermelho na fiscalização da receita federal, o contêiner é retirado da pilha por *reach stacker* e encaminhado para armazém de vistoria, onde é desovado para verificação visual do fiscal da receita, estufado e recolocado na pilha de contêineres, sendo cobradas tarifas referentes às operações realizadas. Há casos em que o contêiner é vistoriado no próprio pátio, sem necessidade de deslocamento para o armazém.

A abertura do contêiner a ser fiscalizado é feita por funcionário da CDC, pois este deve retirar o lacre existente e substituí-lo por outro, com nova numeração, ao final da vistoria. O novo número do lacre é informado ao Controle do Pátio para atualizar o sistema interno de localização dos contêineres.

Todas as mercadorias de origem vegetal e animal necessitam de autorização para serem exportadas. O processo de liberação destas mercadorias pelo Ministério da Agricultura inicia-se com a entrega no escritório da fiscalização do requerimento para embarque acompanhado de uma cópia da nota fiscal e do certificado fitossanitário de origem pelo despachante aduaneiro.

No caso dos produtos de origem animal é necessário ainda o certificado oficial para produtos comestíveis da pesca (em inglês e português), o certificado de classificação e a guia de trânsito.

Toda essa documentação é enviada pelo despachante ao IBAMA, para que a fiscalização deste órgão seja realizada conjuntamente a do Ministério da Agricultura, de modo a evitar que o contêiner seja aberto duas vezes.

Após a análise dos documentos acima citados, é aberto o Termo de Fiscalização e realizado o exame das mercadorias, com a coleta de amostra. Esta operação de fiscalização dura, em média, 5 minutos e é feita em todas as cargas de origem animal e vegetal que são exportadas via porto de Fortaleza, à exceção daquelas em regime de trânsito aduaneiro (DTA).

Em seguida, é feito o exame laboratorial da amostra coletada e emitido o Certificado Fitossanitário, o qual é exigido pela fiscalização da Receita Federal quando a mercadoria cai em canal vermelho. Nestes casos a aduana aceita a vistoria realizada pelo Ministério da Agricultura, sem necessidade de reabertura do contêiner.

Por fim, é feita baixa no sistema interno da CDC do contêiner liberado e também listagem dos contêineres liberados a ser enviada ao armador, informando as unidades que poderão embarcar.

Se a mercadoria não estiver liberada pela receita federal após o término do *deadline*, ou seja, da data final estabelecida pelo armador para que o contêiner esteja liberado para exportar, a unidade não poderá embarcar quando o navio chegar. Desta forma, nova solicitação na empresa de navegação de espaço em navio para o transporte do contêiner (*booking*) deve ser

realizado e o exportador terá que pagar o período de armazenagem até a chegada do outro navio.

Com a chegada do navio, o contêiner liberado é retirado da pilha por *reach stacker*, colocado em trator de pátio, transportado até o cais e colocado no navio pelo guindaste de bordo, equipamento utilizado até o final de 2007. Atualmente, guindastes do tipo MHC também fazem as operações de embarque e desembarque de contêineres.

O controle de pátio não tem qualquer conhecimento dessa ordem ou seqüência de embarque de contêineres, obedecendo à orientação do comandante ou imediato do navio, conforme o plano de carga estabelecido pela central de controle do armador.

A operação de desembarque do contêiner do navio é a mesma realizada para o embarque das unidades, sendo que no sentido inverso (Figuras 3.9 e 3.10). Os contêineres são descarregados diretamente sobre os caminhões exclusivos para operação dentro do porto que fazem o transporte até o local de estocagem. No pátio outro *reach stacker* retira o contêiner do caminhão e coloca-o sobre a pilha. Quando a operação é realizada por guindaste de bordo são utilizados *spreaders* manuais, necessitando da presença de operários para sua fixação sobre os contêineres.



Figura 3.9 – Amarração do contêiner a bordo do navio no Porto de Fortaleza em 2006



Figura 3.10 – Operação de descarga com guindaste de bordo no Porto de Fortaleza em 2006

A operação de colocar o contêiner diretamente sobre o caminhão diminui a produtividade devido à dificuldade de encaixá-lo na carroceria do veículo com este tipo de equipamento. Além disso, aumenta o risco de acidentes, pois os operários ficam embaixo do contêiner puxando-o e empurrando-o na tentativa de colocá-lo sobre o caminhão. A Figura 3.11 mostra a seqüência de tentativas para realizar esta operação.

A maneira mais eficiente e correta seria colocar o contêiner no chão e com auxílio de *reach stacker* ou *top loader*, colocá-lo sobre a carroceria do caminhão. Dessa maneira o tempo de operação diminuiria e os operários não sofreriam tantos riscos de acidentes.

Em geral quando o motorista chega para a retirada do contêiner de importação do porto a mercadoria já passou por todo o processo de fiscalização, necessitando apenas de sua identificação e apresentação da documentação de liberação da mercadoria expedida pelos órgãos intervenientes.

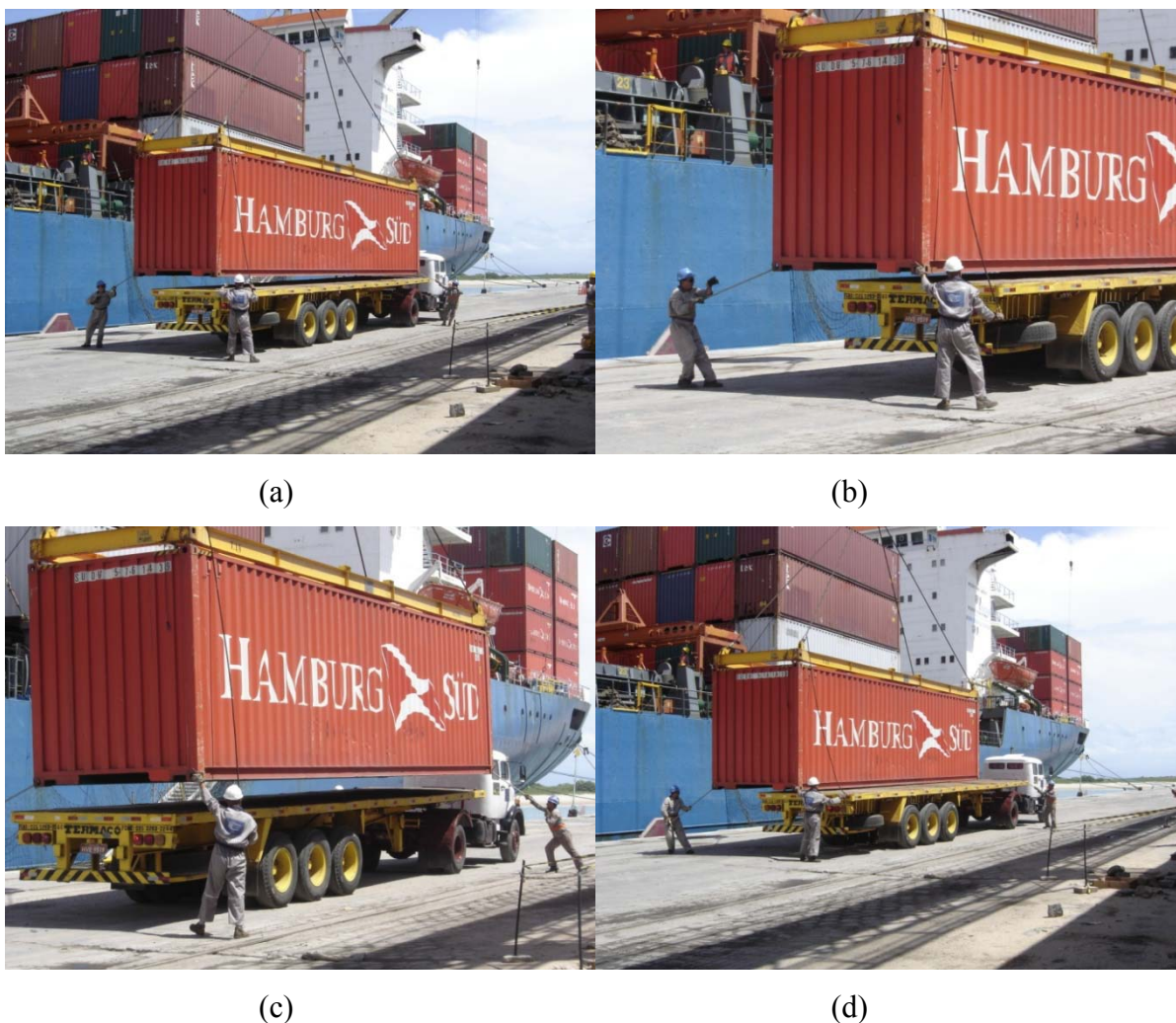


Figura .3.11 – (a) Primeira tentativa, (b) Segunda tentativa, (c) Terceira tentativa e (d) Quarta tentativa. Porto de Fortaleza, 2006.

Após a verificação da documentação, o motorista é informado da localização do contêiner para onde se encaminha e a unidade é colocada sobre o reboque com auxílio do *reach stacker*.

Quando é constatada irregularidade pela aduana as mercadorias ficam retidas no armazém, no caso de poucas peças, ou o contêiner fica retido no porto.

O porto funciona 24h e o regime de operação é dividido em 4 turnos de 6hs corridas sem paradas, iniciando-se às 07h da manhã, independente do horário da atracação do navio.

Para dar início a qualquer operação é necessário que se realize a visita de inspeção no navio pelos órgãos fiscalizadores.

No ano de 2006, os tempos de espera para atracação dos navios de contêiner em Fortaleza nos principais berços onde ocorrem as operações, 104 e 105, atingiram tempos médios de 6 a

6,5h, enquanto que nos demais berços os tempos foram menores. A Tabela 3.4 a seguir apresenta este e outros indicadores de desempenho do Porto de Fortaleza para as operações realizadas em 2006.

Tabela 3.4 – Indicadores de Desempenho da Movimentação de Contêineres do Porto de Fortaleza em 2006

Berço	Tempo de Espera (h)	Tempo de Operação (h)	Nível de Serviço	Produtividade (unidade/h)	Taxa de Ocupação Anual
102	3:28:20	41:20:00	8,4%	2	45,57%
103	4:20:03	20:46:45	20,9%	12	48,22%
104	5:58:53	18:54:39	31,6%	11	40,96%
105	6:27:05	16:57:55	38,0%	10	31,55%

Os navios porta contêiner tiveram tempos de operação médios consideráveis, principalmente no berço 103. No geral, desconsiderando-se os tempos do berço 102, o porto obteve média de atracação de 19 horas e consignação média dos navios de 211 unidades.

Os níveis de serviço apresentados foram bons considerando afirmativa da UNCTAD (1984) de que o ótimo entre espera do navio e tempo de operação deve ser de 30%. O maior índice observado foi de 38% no berço 105.

Isso ocorreu devido às produtividades média dos três berços de maior profundidade em torno de 11 unidades/h, considerado bom para o tipo de equipamento utilizado. A produtividade do berço 102 foi consideravelmente baixa, pois neste atracam navios de pequeno porte, que têm operação complexa e ineficiente.

A taxa de ocupação apresentada foi razoável, atingindo valores inferiores a 50% em todos os berços. Entretanto vale ressaltar que os berços não são exclusivos para contêineres, então dos totais apresentados a ocupação dos navios porta contêineres nesses berços foi de 1,4% no 102, 9,5% no 103, 21% no 104 e 7% no 105.

A consignação média dos navios em 2006 foi de 211 contêineres, apresentando grande variação, pois a maior foi de 494 contêineres e a menor de 18 contêineres. Isso ocorreu porque no berço 102 atracam pequenos navios que realizam a exportação de produtos para Cabo Verde.

No segundo semestre de 2007 o porto recebeu dois MHC's comprados por três operadores portuários, o que permitirá melhora significativa nos índices operacionais.

3.4 Caracterização da Demanda por Transporte de Contêineres no Porto de Fortaleza

O Porto de Fortaleza sempre teve papel importante na economia do Estado, exportando parcela significativa das mercadorias para países da Europa e Estados Unidos. Entretanto perdeu parte de sua movimentação de contêineres para o Terminal Portuário do Pecém devido a condições operacionais e principalmente restrições de profundidade.

Analisando o gráfico de movimentação de contêineres nos portos do Ceará (Figura 3.12), verifica-se que a curva de movimentação do Porto de Fortaleza tinha a mesma tendência da curva do Estado, porém apresentou queda significativa em 2002, recuperando-se em 2003 e 2004 e caindo novamente nos anos seguintes.

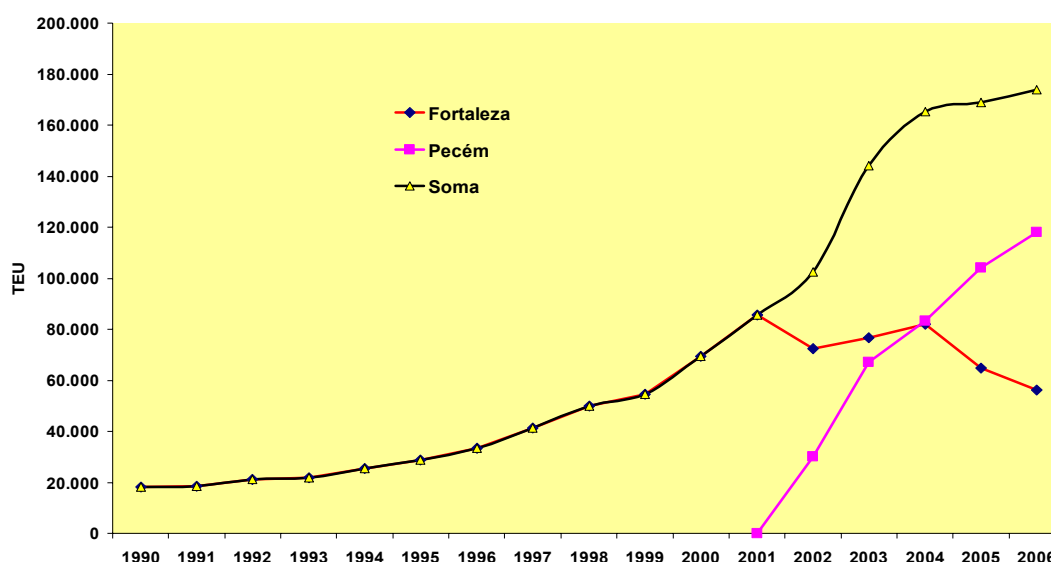


Figura 3.12 – Histórico de Movimentação de Contêineres nos Portos do Ceará (DATAMAR, 2008)

A queda observada deve-se principalmente, ao fato de que as rotas marítimas regulares de contêineres que freqüentam a costa da América do Sul passaram a utilizar, nos últimos anos, navios de maior capacidade e calado, como as embarcações da Classe L da empresa *Maersk Sealand* e da Linha Monte da *Hamburg Sud*, com calados superiores a 12 metros.

Em 2006 passaram pelo Porto de Fortaleza cerca de 40.000 unidades de contêineres, sendo 23 mil cheios e 16,7 mil vazios como mostra a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Histórico da Movimentação de Contêineres em Unidades no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008)

Sentido de Navegação	2002		2003		2004		2005		2006	
	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio
EXPORTAÇÕES										
Longo Curso	7.962	825	8.837	1.383	10.289	1.280	8.279	863	7.353	2.139
Cabotagem	8.571	5.472	11.773	3.925	13.735	3.762	9.819	4.487	6.485	6.015
Subtotal 1	16.533	6.297	20.610	5.308	24.024	5.042	18.098	5.350	13.838	8.154
IMPORTAÇÕES										
Longo Curso	5.994	5.227	5.830	6.542	6.354	6.862	4.878	4.393	3.209	4.744
Cabotagem	10.486	3.000	10.643	4.269	12.716	4.345	10.703	2.904	6.167	3.826
Subtotal 2	16.480	8.227	16.473	10.811	19.070	11.207	15.581	7.297	9.376	8.570
TOTAL	33.013	14.524	37.083	16.119	43.094	16.249	33.679	12.647	23.214	16.724

As exportações de longo curso de contêineres cheios foram superiores às de cabotagem e as de importações nos dois tipos de navegação, enquanto as de vazios obtiveram o menor resultado.

No total, as importações de contêineres cheios atingiram 9.400 unidades e as vazias 8.600 unidades, enquanto nas exportações foram movimentadas 13.800 unidades cheias e 8.200 vazias.

As exportações de contêineres de longo curso tiveram operação 32% inferior a de cabotagem. Já nas importações essa diferença foi de 26%, mostrando que os contêineres movimentados no porto tiveram como principal origem e destino o mercado interno em 2006.

Do total de contêineres exportados neste mesmo ano, 37% eram vazios e 63% eram cheios, enquanto que nas importações as quantidades de cheios e vazios ficaram praticamente equilibradas.

Observando as quantidades totais de importação e exportação de contêineres cheios, percebe-se que o porto tem maior importância no escoamento desse tipo de carga que no abastecimento da região.

Analisando o histórico na Figura 3.13, observa-se que a quantidade de contêineres cheios exportados cresceu 45% até 2004 e teve queda média nos dois anos seguintes de 24% ao ano, enquanto os contêineres vazios desse sentido de movimentação tiveram comportamento totalmente inverso.

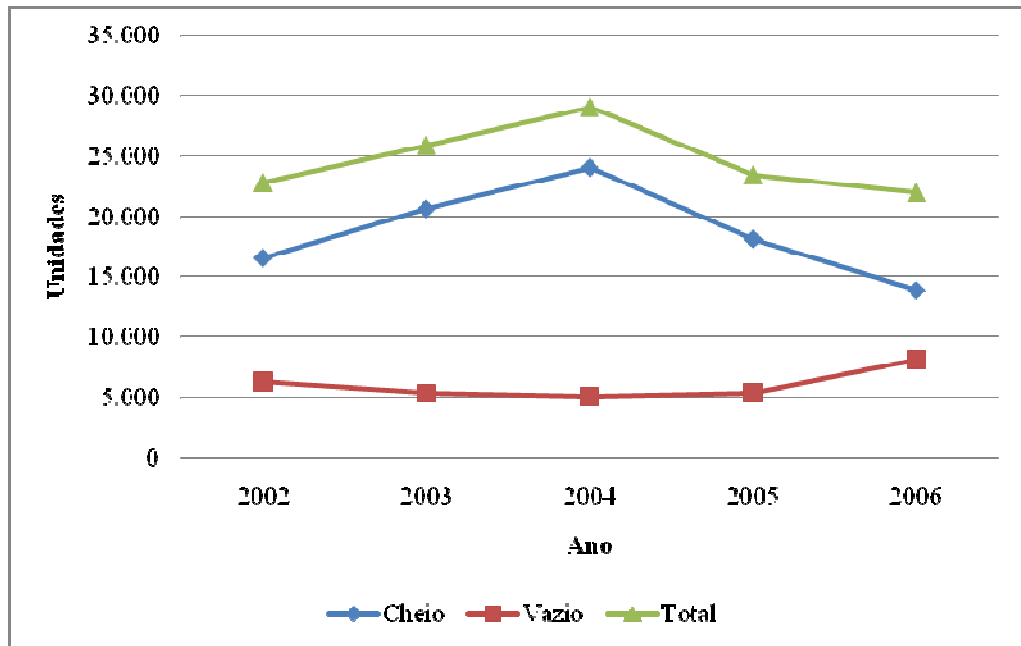


Figura 3.13 – Histórico das Exportações de Contêineres no Porto de Fortaleza

Como o total de contêineres cheios exportados foi significativamente superior ao de vazios nos últimos cinco anos, o histórico do total de contêineres exportados teve o mesmo comportamento do primeiro.

Nas importações, conforme Figura 3.14, os contêineres cheios cresceram 16% entre 2002 e 2004 e depois apresentaram queda significativa de 29% ao ano em média, enquanto os vazios tiveram crescimento até 2004, queda em 2005 e novo aumento em 2006.

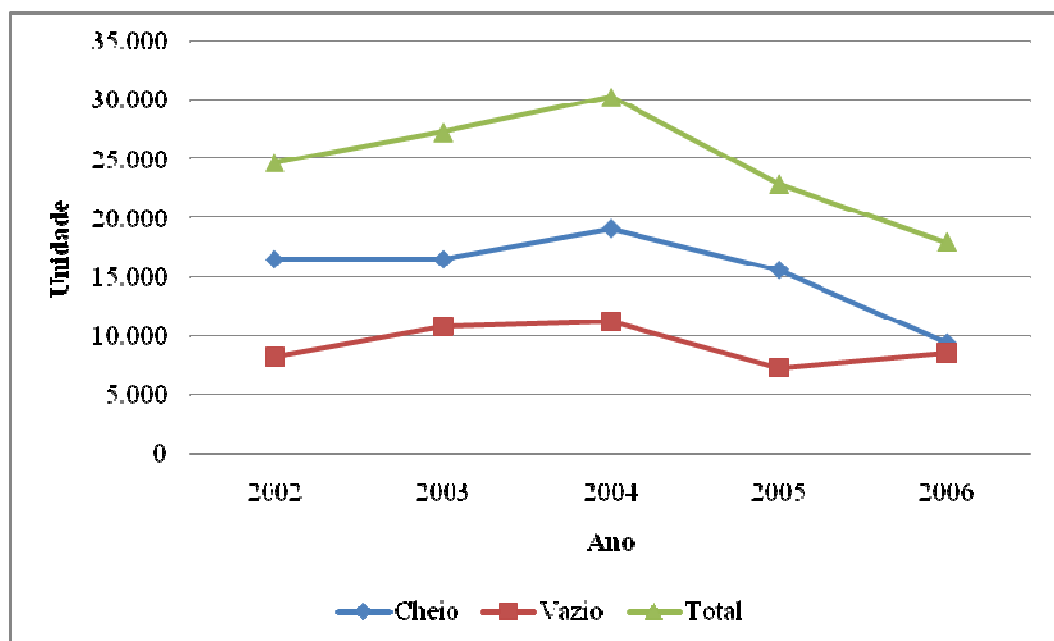


Figura 3.14 – Histórico das Importações de Contêineres no Porto de Fortaleza

Em termos de contêineres de vinte pés (*twenty feet equivalent unit*, TEU), foram exportados em 2006 30,6 mil e importados 25,5 mil, mostrando que 40% dos contêineres dos dois sentidos de movimentação são de 20'.

Tabela 3.6 – Histórico da Movimentação de Contêineres em TEU no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008)

Sentido de Navegação	2002		2003		2004		2005		2006	
	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio	Cheio	Vazio
EXPORTAÇÕES										
Longo Curso	12.209	1.214	13.488	2.106	14.894	2.020	12.877	1.398	11.021	3.166
Cabotagem	10.560	7.804	13.667	6.362	16.515	6.506	11.744	6.619	7.836	8.616
Subtotal 1	22.769	9.018	27.155	8.468	31.409	8.526	24.621	8.017	18.857	11.782
IMPORTAÇÕES										
Longo Curso	8.827	7.882	8.111	10.543	9.145	9.625	6.668	6.700	4.357	7.219
Cabotagem	13.468	5.169	13.927	5.359	17.043	6.313	14.116	4.723	8.149	5.730
Subtotal 2	22.295	13.051	22.038	15.902	26.188	15.938	20.784	11.423	12.506	12.949
TOTAL	45.064	22.069	49.193	24.370	57.597	24.464	45.405	19.440	31.363	24.731

Na análise das Tabelas 3.5 e 3.6 verificou-se que nos últimos cinco anos a porcentagem de contêineres cheios de 20' teve média anual de 35% e vazios de 52% nos dois sentidos de movimentação. A maior e menor porcentagem desse tipo de contêiner ocorreu em 2004 nas exportações, quando 31% dos cheios e 69% dos vazios foram de 20'.

Ao observar a Tabela 3.7, com o total de contêineres movimentados em unidades e em TEU dos últimos cinco anos, verifica-se nas duas formas de apresentação que houve crescimento entre 2002 e 2003 de 12% ao ano e depois queda de 22% em 2005 e 14% em 2006.

Tabela 3.7 – Histórico da Movimentação de Contêineres no Porto de Fortaleza (DATAMAR, 2008)

Contêineres	2002	2003	2004	2005	2006
Unidades	47.537	53.202	59.343	46.326	39.938
TEU	67.133	73.563	82.061	64.845	56.094

4. MODELO DE SIMULAÇÃO PROPOSTO

Para o estudo da capacidade do Porto de Fortaleza na movimentação de contêineres foi utilizado modelo de simulação, técnica que pode representar o funcionamento de processos reais em computador.

Segundo Prado (2004), a simulação é uma técnica de planejamento largamente difundida no mundo atualmente. Nesta técnica, a partir do estabelecimento de determinado objetivo de produção ou qualidade de atendimento, procura-se definir a quantidade de atendentes (equipamentos, ferramentas, veículos, etc.) e pessoas que devem ser colocadas em cada estação de trabalho, assim como o melhor leiaute e melhor fluxo.

O modelo foi rodado em computador com auxílio do software ARENA, o qual possui as ferramentas necessárias para elaboração do estudo, tem interface mais amigável e encontra-se disponível para uso acadêmico. Na versão acadêmica existe a restrição de que durante a simulação só pode haver no máximo cento e cinquenta entidades no sistema.

O ARENA foi desenvolvido pela empresa *Systems Modeling* dos Estados Unidos em 1993, sendo um dos mais utilizados em todo o mundo e dos mais populares no Brasil (PRADO, 2004).

Inicialmente foi realizada a análise dos dados de entrada do modelo na ferramenta *input analyser*, a qual permite escolher a melhor distribuição estatística a partir da análise de dados reais. Esta distribuição foi então incorporada no modelo.

A segunda parte do capítulo trata da apresentação do modelo, comparando-o com o sistema real e apresentando suas restrições.

Por fim é realizada a verificação e validação do modelo de simulação proposto, fazendo-o gerar resultados e comparando-os com os indicadores reais.

4.1 Análise dos Dados de Entrada

A ferramenta *input analyser* do ARENA seleciona dentre as distribuições estatísticas de probabilidade Beta, Empírica, Exponencial, Gamma, Johnson, Lognormal, Normal, Poisson, Triangular, Uniforme e Weibull a que melhor representa o conjunto de dados reais. Esta seleção é realizada através de testes de aderência, utilizando-se dos métodos do qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov.

O teste do qui-quadrado (χ^2) calcula os desvios das freqüências acumuladas observadas em cada classe e as freqüências teóricas determinadas a partir da curva de probabilidade selecionada. Para que o resultado seja satisfatório todas as classes devem ter freqüência maior ou igual a cinco (CHWIF e MEDINA, 2006).

No caso de pequena quantidade de observações é mais confiável a utilização do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). Este compara a função de probabilidade acumulada do modelo teórico com a função de probabilidade acumulada observada. O teste calcula basicamente a distância absoluta máxima entre as distribuições acumuladas (CHWIF e MEDINA, 2006).

A ferramenta fornece o valor das estatísticas dos testes de aderência para o intervalo de confiança de 95%, além do número de intervalos de freqüência, número de graus de liberdade e o *p-valor* para cada uma delas, que representa o menor valor de significância que pode ser assumido para rejeitar a hipótese de aderência entre a curva teórica e a observada. Segundo Chwif e Medina (2006) trabalha-se geralmente com as faixas de valores apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Descrição da geração dos portos (CHWIF e MEDINA, 2006)

Valor	Critério
p-valor<0,01	Evidência forte contra a hipótese de aderência.
0,01≤p-valor<0,05	Evidência moderada contra a hipótese de aderência.
0,05≤p-valor<0,10	Evidência potencial contra a hipótese de aderência.
0,10≤p-valor	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência.

Apesar de realizar os testes acima, o *input analyser* classifica as curvas com base primeiramente no quadrado dos erros das distâncias entre cada ponto dos dados de entrada e os pontos correspondentes da curva teórica. É considerada a melhor curva a distribuição cujo somatório dos quadrados das distâncias for menor.

Foram determinadas as curvas teóricas probabilísticas da chegada dos navios por tipo de mercadoria e do tempo de atracação por tipo de mercadoria. Os dados utilizados foram obtidos na Companhia Docas do Ceará (CDC) e compreendem a movimentação de cargas do porto de 2002 a 2006.

Para os intervalos de chegada dos navios obtiveram-se as distribuições estatísticas apresentadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas da chegada dos navios no Porto de Fortaleza

Tipo de Mercadoria	Contêineres	Carga Geral	Minérios Diversos	Grãos
Melhor Distribuição Teórica	-0,001 + 10 * BETA(1,04; 5,84)	WEIB (14,2; 0,93)	3 + WEIB(63,9; 1,04)	WEIB(9,88; 1,2)
Quadrado dos Erros	0,0012	0,0028	0,0084	0,0013
Graus de Liberdade	15	1	0	4
χ^2 calculado	32,1	2,02	0,617	1,41
χ^2 ao nível de confiança=95%	25	3,84	-	9,49
P-valor χ^2	0,0065	0,171	0,005	0,75
KS calculado	0,03	0,0375	0,0893	0,037
KS ao nível de confiança=95%	0,338	0,975	-	0,624
P-valor KS	>0,15	>0,15	>0,15	0,15

Observa-se na Tabela 4.2 que a distribuição selecionada para o intervalo de chegada de contêineres pode-se rejeitar a hipótese de aderência pelo teste do Qui-quadrado, entretanto o mesmo não ocorre para o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), além do quadrado dos erros ser o menor entre as curvas selecionadas para as demais cargas.

No caso da carga geral e dos grãos selecionou-se a distribuição de Weibull, pois a hipótese de aderência é aceita para os dois testes efetuados e os quadrados dos erros são pequenos. Essa mesma distribuição foi selecionada para o intervalo de chegadas dos navios de minério, apesar do p-valor apresentar forte evidência contra a hipótese de aderência no teste do Qui-quadrado.

A Figura 4.1 apresenta os gráficos de resposta da ferramenta *input analyser* para o intervalo de chegadas dos navios do Porto de Fortaleza.

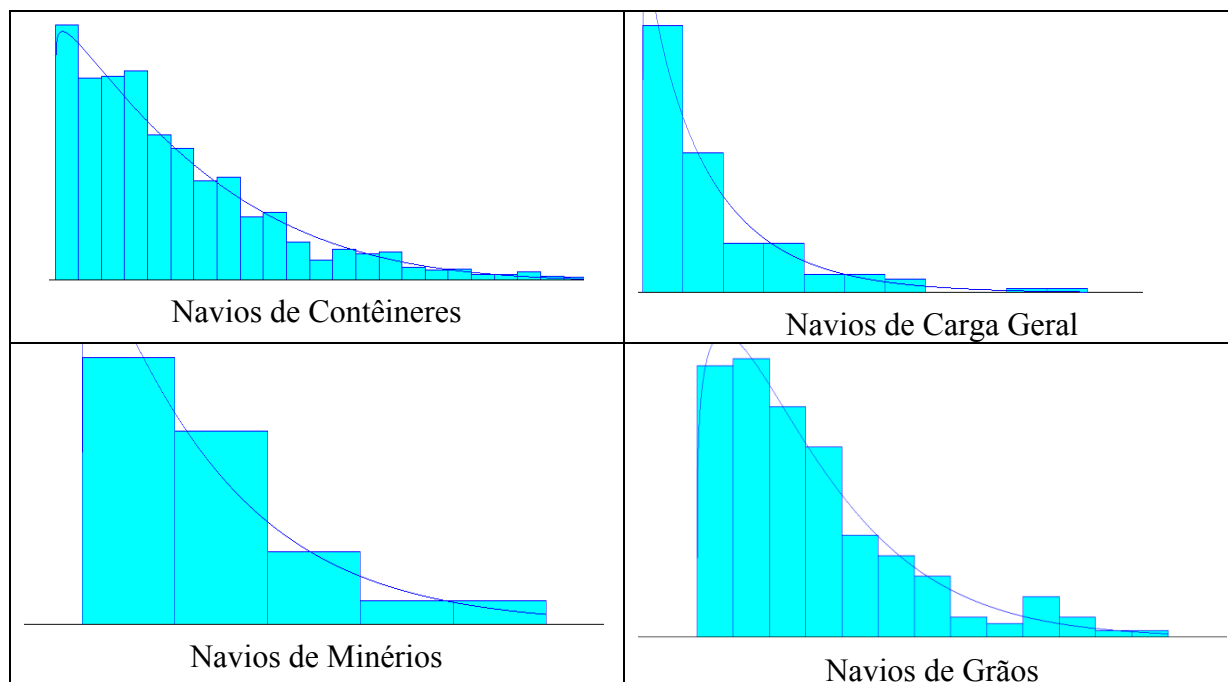


Figura 4.1 – Aderências das curvas as distribuições de intervalo de chegadas dos navios

Também foram selecionadas no *input analyser* as distribuições de tempo de atendimento aos navios, entretanto a análise foi realizada por berço e não por tipo de carga. A Tabela 4.3 apresenta estes resultados:

Tabela 4.3 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas do tempo de atendimento dos navios no Porto de Fortaleza por berço de atracação

Tipo de Mercadoria	Berço 102	Berço 103	Berço 104	Berço 105
Melhor Distribuição Teórica	16 * BETA(0,51; 4,21)	LOGN(1,39; 1,5)	LOGN(0,83; 0,59)	LOGN(1,3; 1,4)
Quadrado dos Erros	0,0077	0,0057	0,0019	0,0141
Graus de Liberdade	7	11	8	5
χ^2 calculado	34,4	65,3	32,9	89,7
χ^2 ao nível de confiança=95%	14,07	19,7	15,51	11,07
KS calculado	0,237	0,053	0,036	0,125
KS ao nível de confiança=95%	0,483	0,391	0,454	0,563

Todas as distribuições selecionadas para o atendimento aos navios foram reprovadas no teste de aderência do Qui-quadrado, porém apresentaram baixo valor de quadrado dos erros e pôde-se aceitar a hipótese de aderência através do teste KS para o nível de significância de 5%, pois o valor crítico tabelado foi superior ao calculado em todos os casos.

Apesar das distribuições selecionadas terem passado em apenas um teste, na maioria dos casos estas foram utilizadas para alimentar o modelo e possibilitar sua validação e simulação de novos cenários.

4.2 Proposição do Modelo de Simulação

O modelo inicia-se com a geração dos navios que trafegam no Porto de Fortaleza a partir da distribuição de chegadas determinada pela ferramenta *input analyser* do ARENA. Os tipos de navios gerados pelo sistema são de contêiner, de carga geral (bobinas de aço e papel, vergalhões, etc.), de minérios diversos (calcário, coque, fertilizantes, etc.) e de grãos (malte, milho e trigo).

Os navios aguardam então a disponibilização de berço para atracação em filas separadas para cada berço, diferente do que ocorre na realidade, na qual os navios esperam em fila única devido ao canal de acesso permitir a passagem de apenas um navio por vez. Esta simplificação foi necessária, pois os dados fornecidos pela CDC não separam o tempo de espera do navio por motivo de ocupação do canal de acesso ou por motivo de ocupação do berço.

Para a atracação nos berços foram consideradas as seguintes restrições:

- Berço101: não será considerado no modelo, pois se destina apenas à atracação de embarcações sem mercadorias;
- Berço 102: recebe apenas navios de carga geral e sem mercadorias;
- Berço 103: atracam navios com trigo, contêineres, malte, milho ou carga geral;
- Berço 104: utilizam-se deste berço os navios de minérios diversos, carga geral e contêineres;
- Berço 105: atende também aos navios de contêineres, minérios diversos e carga geral.

Após a alocação do navio em um dos berços disponíveis, o modelo gera o tempo de atendimento da embarcação, a partir de distribuição estatística determinada pelo *input analyser*.

A Figura 4.2 a seguir apresenta o fluxograma do modelo proposto.

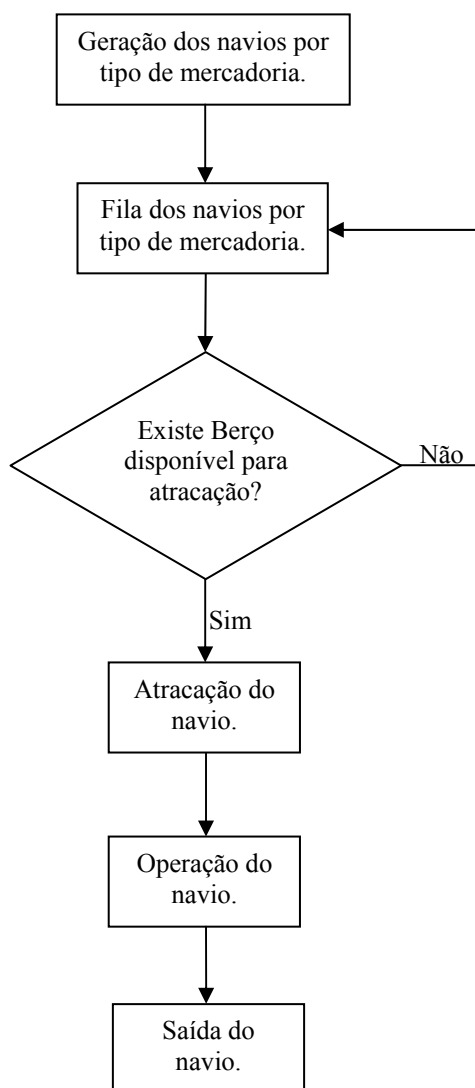


Figura 4.2 – Fluxograma representativo do modelo desenvolvido

O cálculo da capacidade é realizado fazendo variar o intervalo de chegada dos navios até o tempo de espera atingir valor pré-fixado. Para a melhoria da capacidade encontrada alteram-se os demais fatores, como número de berços e produtividade, conforme sugerido por UNCTAD (1984).

Assim, o tempo de espera máximo para navios de contêineres foi estabelecido em 6 horas, o mesmo adotado pelo trabalho de estudo de capacidade realizado por ANTAQ (2007). Neste trabalho justifica-se a utilização deste valor como senso comum da atividade portuária para tempo de espera máximo aceitável, inclusive pelos armadores. Entretanto um dos motivos para adoção deste valor é o do custo que representa para a operação de contêineres, que é de R\$ 3.162.000,00, valor suficiente para viabilizar a aquisição de equipamentos mais eficientes ou de infra-estrutura.

Outro motivo é que este tempo em geral é a janela oferecida aos navios de contêineres pelos portos brasileiros. A janela para navios é o tempo que o berço passa disponível exclusivamente para determinada embarcação, não possibilitando a atracação de outro navio mesmo que este esteja em fundeio pronto para atracar. Como os navios de contêiner são de linha regular, o armador estima o tempo de operação em determinado porto e solicita ao porto seguinte, uma janela de atracação para um determinado dia e hora pré-estabelecidos, considerando também o tempo de viagem.

Como resultados o modelo fornece a quantidade de navios operados, o tempo médio de operação dos navios, o tempo médio de espera dos navios e a taxa de ocupação do berço.

A capacidade do porto em termos de contêineres movimentados é calculada multiplicando-se a quantidade de navios operados, fornecida no modelo pela consignação média de contêineres obtida para o ano de 2006. Também é determinada a capacidade de estocagem necessária de contêineres a partir da equação 2.1, apresentada no Capítulo 2.

Com base nestas informações e no cálculo de outros indicadores de desempenho serão analisadas as proposições para aumento da capacidade da movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza.

4.3 Lógica do Modelo no ARENA

A lógica do modelo no ARENA inicia-se no módulo *Create*, que gera uma ou mais entidades (navios) a serem processadas por intervalo de tempo, sendo este último definido através de distribuição estatística informada. Então foram inseridos quatro módulos *Create* para geração dos navios, que ao passarem pelo módulo *Assign* recebem a designação do tipo de carga transportada (contêineres, carga geral, grãos ou minérios diversos).

Depois as entidades seguem para o *Decide*, módulo onde é realizada a decisão de onde o navio deve atracar. Neste módulo foi inserida a proporção da participação das atracções de cada tipo de carga nos berços disponíveis, calculada com base nas informações de operação de navios disponibilizadas pela CDC entre 2002 e 2006. Estas proporções são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Participação de cada tipo de carga nas atracações ocorridas nos berços 102 a 105 entre os anos de 2002 e 2005

Tipo de Mercadoria	Berço 102	Berço 103	Berço 104	Berço 105
Contêineres	1%	25%	58%	16%
Carga Geral	21%	19%	33%	27%
Minérios Diversos	-	-	16%	84%
Grãos	-	100%	-	-

Depois de tomada a decisão de qual berço o navio irá atracar, a entidade segue para o módulo **Process**, onde é atendido ou aguarda em fila para atracação. Neste módulo é inserida a distribuição do tempo de atendimento do navio.

Quando é terminado o processo de atendimento, o navio segue para o módulo **Dispose**, no qual a entidade sai do sistema e as informações estatísticas de saída do modelo são coletadas.

A visão geral do modelo no ARENA é apresentada na Figura 4.3.

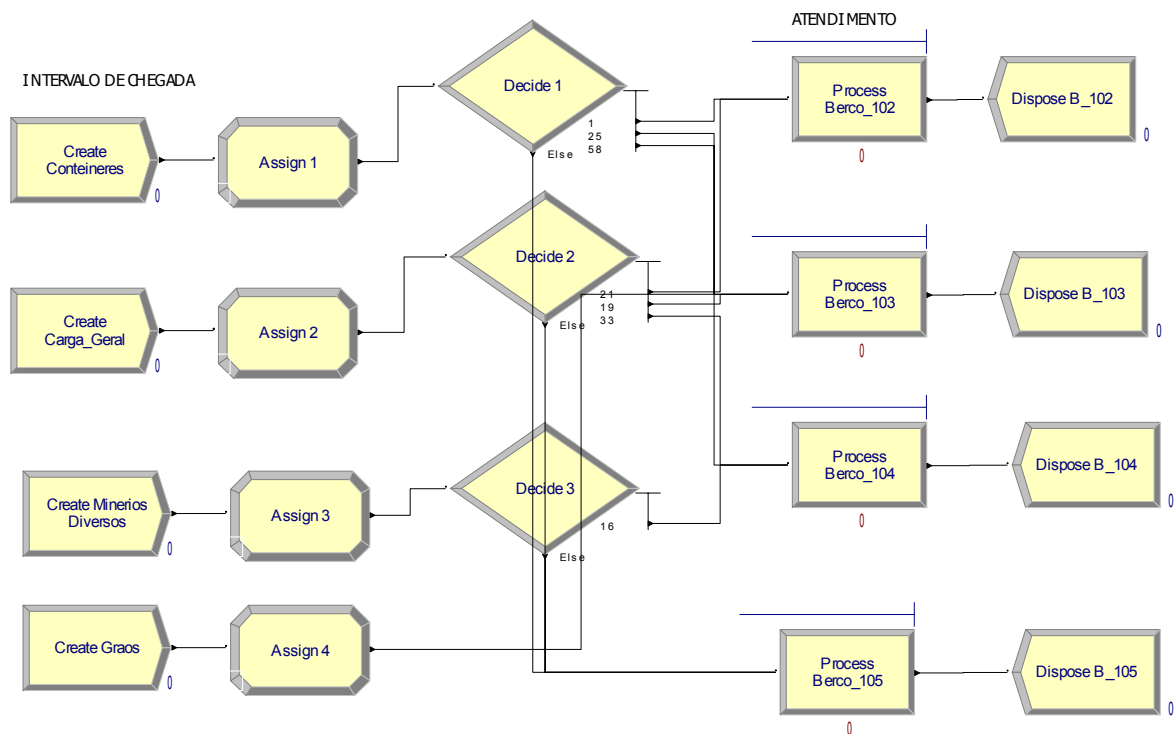


Figura 4.3 – Representação do modelo no ARENA

4.4 Verificação e Validação do Modelo Proposto

Segundo Chung (2003), a verificação do modelo de simulação é o processo contínuo pelo qual se procura assegurar de que o modelo está operando conforme o esperado, com todos os componentes especificados na definição do sistema. Já a validação é definida como o processo no qual se tenta assegurar de que o modelo representa a realidade, já que possui simplificações ou limitações em comparação com o sistema real.

Já para Perros (2003) a validação é o processo no qual se procura saber o quão preciso o modelo de simulação está em relação ao sistema real.

De acordo com Chwif e Medina (2006), a validação está relacionada ao modelo conceitual, ou seja, se as considerações feitas, o nível de detalhe e o escopo do modelo representam de forma adequada o modelo simulado. Já a verificação sempre está mais relacionada ao modelo computacional ou, no sentido mais simplista, na retirada dos erros do modelo.

Para a verificação, Chwif e Medina (2006) citam técnicas de implementação e verificação modular, de valores constantes ou simplificados versus cálculos manuais, da utilização de depurador, da simulação manual, da animação gráfica e revisão em grupo.

O ARENA dispõe de depurador que verifica automaticamente o modelo no momento em que é solicitado o início da simulação, apresentando a localização dos erros, caso existam. Além disso, esta ferramenta possibilita o uso de dois níveis de animação, sendo um mais simplificado construído automaticamente junto com a formulação do modelo e outro mais complexo que necessita de montagem.

Já para validação, Chwif e Medina (2006) citam o teste de Turing ou validação *black-box*, comparação com modelos anteriores e validação face a face. O primeiro método pode ser executado apresentando a um especialista que entenda bem o sistema simulado dois conjuntos de dados de saída, sendo um vindo do sistema real e outro gerado pelo modelo e solicitando que este distinga qual o real e qual o simulado. Outra forma de utilizar este método é comparar os dados reais com os dados gerados pelo modelo, que foi utilizada nesta dissertação.

A comparação com modelos anteriores destina-se, como o próprio nome já diz, a tentar validar o modelo desenvolvido a partir de modelos anteriores ou modelos mais simples como teoria das filas (CHWIF E MEDINA, 2006).

Já na validação face a face a pessoa que montou o modelo apresenta-o para especialistas no processo modelado, que devem fazer críticas e sugestões para melhor representação da realidade.

O modelo proposto no presente trabalho foi rodado com duração de 365 dias, já que a capacidade que se deseja determinar é anual. Inicialmente é realizado período de aquecimento de 40 dias, no qual as estatísticas não são coletadas, pois se encontram em fase de transição.

A quantidade de replicações foi determinada através da estatística h definida por Chwif e Medina (2006), como precisão para o intervalo de confiança de 95%, aplicada sobre a quantidade total de navios que saem do sistema. Verificou-se então que o modelo deveria ter dez replicações, pois para este valor encontrou-se $h=10,4$, que representa apenas 4% da quantidade total de navios observada na rodada. Segundo Freitas Filho (2008), é comum que se busque intervalos de confiança para os quais o valor de h seja menor ou igual a 10% da média amostral.

A validação é realizada comparando-se os resultados obtidos no modelo com os dados reais observados no ano de 2006.

4.3.1 Tempo médio de atendimento dos navios

A comparação entre o tempo médio de atendimento dos navios gerados pelo modelo e o valor obtido a partir de dados reais é apresentado na Figura 4.4. Os dados gerados são representativos, pois apresentam erro pequeno, frente aos valores reais.

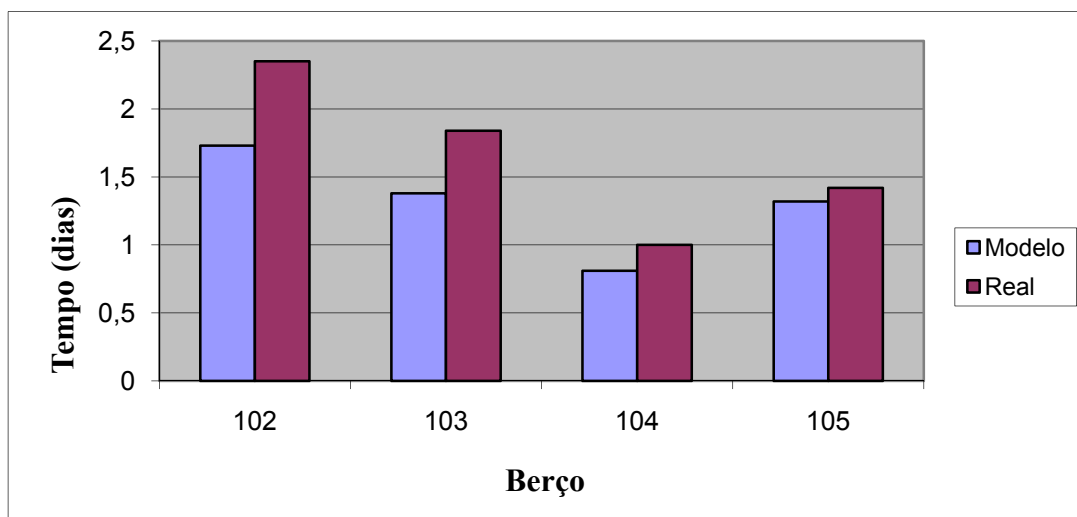


Figura 4.4 – Comparação entre o tempo de atendimento médio dos navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006

Os maiores erros observados ocorreram nos berços 102 e 103 de 25% cada, seguido pelo valor encontrado no berço 104 de 19%. O berço com menor erro foi o 105 de apenas 7% e em todos os casos o tempo gerado pelo modelo foi inferior ao real.

4.3.2 Tempo médio de espera dos navios

Os tempos médios de espera dos navios gerados pelo modelo apresentaram erro significativo nos berços 102, 103 e 105 de, respectivamente, 59%, 87% e 39%. Já no berço 104 obteve-se erro de apenas 3%.

Além dos valores dos tempos serem pequenos, a diferença pode ser justificada pelo fato da simplificação realizada no modelo para a entrada dos navios do porto. A situação real apresenta canal de acesso com restrição de passar apenas um navio por vez, representando um gargalo para o porto. Este fator não foi considerado, pois nos dados fornecidos pela CDC não é possível distinguir a espera do navio por berço ocupado ou por canal de acesso ocupado.

Outro fator importante é que a parcela dos tempos de espera é ocasionada por outros problemas como falha dos equipamentos do navio, demora na liberação da atracação, espera pela chegada do práctico, tempo de viagem entre a área de fundeio e o berço, demora na fiscalização antes da atracação, dentre outros.

A Figura 4.5 ilustra a comparação dos tempos médios de espera dos navios do modelo dos dados reais.

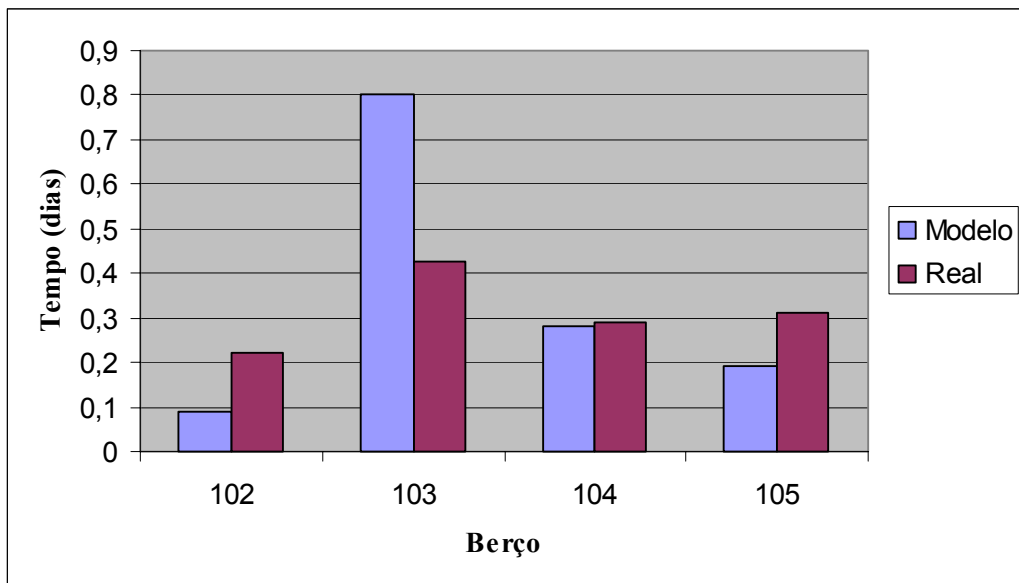


Figura 4.5 – Comparação entre o tempo de espera médio dos navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006

4.3.3 Taxa de ocupação dos berços

As taxas de ocupação dos berços apresentaram resultados satisfatórios dos berços 103 ao 105, com erro variando entre 9% no primeiro e 20% no último. Já no berço 102 obteve-se erro significativo, pois o valor gerado pela simulação foi 39% menor que o real. Isso ocorreu devido ao tempo de atendimento do modelo ter sido inferior ao real.

A Figura 4.6 mostra a comparação entre os valores reais e os gerados pelo modelo.

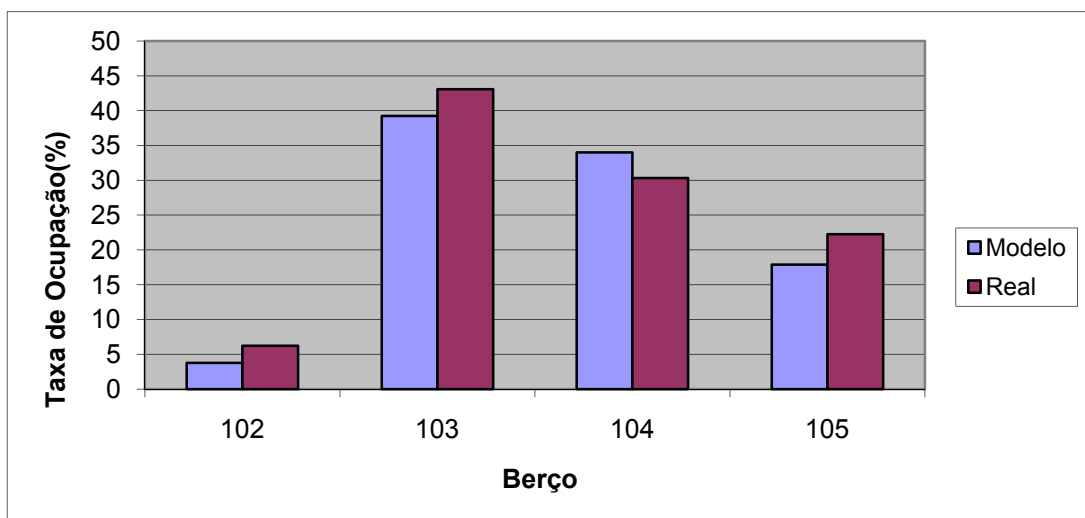


Figura 4.6 – Comparação entre a taxa de ocupação dos berços no modelo e nos dados reais do ano de 2006

4.3.4 Quantidade de navios atendidos

Este foi o indicador com menores erros percentuais, com 19% para os navios de contêineres, 14% para os navios de carga geral e 7% para os navios de grãos. A exceção foram os navios de minérios com erro significativo de 25% a menos que os dados de 2006.

Este erro ocorreu primeiramente pela pequena quantidade de embarcações e principalmente pelo fato do número destes navios ter dobrado em 2005 e 2006 em comparação com os demais anos.

A Figura 4.7 mostra a comparação entre a quantidade de navios que atracaram no Porto de Fortaleza em 2006 e a quantidade gerada pelo modelo para tempo de simulação de 365 dias.

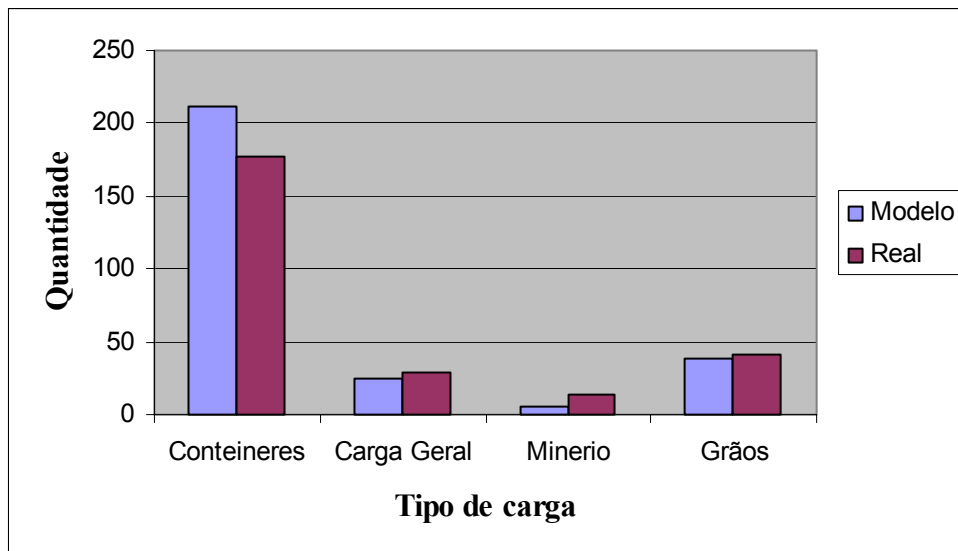


Figura 4.7 – Comparação entre quantidade de navios no modelo e nos dados reais do ano de 2006

5. PROPOSTAS DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS

De acordo com PIANC-IAPH (2003) a capacidade máxima de portos pode ser determinada utilizando como critérios tempos aceitáveis de espera e de estadia dos navios. Como foi citado anteriormente, determinou-se neste trabalho tempo de espera médio aceitável de seis horas para os navios de contêineres e fez-se variar o intervalo de chegada destes navios para encontrar a capacidade anual de movimentação de contêineres do porto.

Além da capacidade anual de movimentação de contêineres para o ano de 2006, neste capítulo é analisado o efeito de alterações na estrutura física e operacional do modelo atual do porto em estudo, como a criação de um berço exclusivo para os navios de contêineres, a aquisição de novos equipamentos, a construção de um novo berço e as alterações significativas na infraestrutura do pátio de estocagem de contêineres e em seu sistema de operação.

A proposta de novos cenários tem como objetivo aumentar a capacidade de movimentação de contêineres no porto através da alteração das variáveis de entrada, tendo como foco principal a redução do tempo de atracação dos navios e a disponibilização de mais berços de atracação.

Os cenários propostos são descritos a seguir:

- O primeiro cenário tem como medida a especialização do berço 105 na movimentação de contêineres, fazendo com que as demais cargas sejam movimentadas somente nos berços 103 e 104;
- No segundo cenário aumenta-se a produtividade de embarque/desembarque de contêineres no berço 105, especializado para navios de contêineres, fazendo com que a operação seja realizada por guindastes do tipo MHC;
- No terceiro cenário aumenta-se a produtividade para operações por intermédio de portêineres no berço 105, os quais são especializados para navios de contêineres;
- O cenário 4 adota a utilização de dois berços exclusivos para a movimentação de contêineres com a produtividade observada entre 2002 e 2006 e a expansão do pátio de estocagem do porto;
- No cenário 5 eleva-se a produtividade de embarque/desembarque de contêineres nos dois berços especializados, fazendo com que a operação seja realizada por guindastes do tipo MHC, além do aumento da área de estocagem;
- Por fim, o cenário 6 avalia a capacidade do porto a partir de dois berços especializados em contêineres cada um equipado com dois portêineres para a operação dos navios.

Várias simulações foram realizadas para determinar o intervalo de chegada dos navios de contêineres que gerasse tempo de espera de seis horas em cada um dos cenários propostos. As alterações no intervalo de chegadas dos navios de contêineres foram realizadas nos valores do histórico de 2002 a 2006, que depois foram inseridos na ferramenta *input analyser* para gerar nova curva de distribuição de probabilidade. Informava-se então a equação da nova curva no módulo *Create* para os navios de contêineres do cenário, para que o modelo pudesse gerar novos resultados.

Para todos os cenários realizou-se 10 replicações com duração de 405 dias, dos quais 40 dias destinavam-se ao aquecimento do modelo com eliminação dos dados. Desta forma a simulação teve duração útil de 365 dias, o que equivale a um ano de operações do porto.

Não foram realizadas mudanças nos intervalos de chegada dos navios de minérios, de grãos e de carga geral. Estas cargas foram desconsideradas nos modelos dos cenários 5 a 7 por não influenciarem na movimentação dos navios de contêineres.

5.1 Capacidade Anual do Porto de Fortaleza em 2006

Após a validação do modelo de simulação proposto, iniciaram-se as simulações buscando determinar a capacidade do porto de Fortaleza nas condições existentes no ano de 2006, através da variação do intervalo de chegada dos navios de contêineres.

O modelo gerou tempo médio de espera de seis horas para função densidade de probabilidade apresentada na Tabela 5.1, juntamente com os dados de teste de aderência auferidos.

Tabela 5.1 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo de espera de 6 horas no modelo operacional de 2006

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	17 * BETA(1,03; 5,65)
Quadrado dos Erros	0,0012
Graus de Liberdade	15
χ^2 calculado	28,2
χ^2 ao nível de confiança=95%	25
P-valor χ^2	0,0218
KS calculado	0,03
KS ao nível de confiança=95%	0,338
P-valor KS	>0,15

Verifica-se, a partir da Tabela 5.1, que a distribuição passou no teste KS e tem pequeno valor de quadrado dos erros, deixando apenas a desejar quanto ao teste do Qui-quadrado.

Com essa distribuição de probabilidade o modelo gerou os resultados da Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados do modelo nas condições operacionais existentes em 2006 para tempo de espera de 6 horas

Mercadoria	Tempo de Espera (dias)	Tempo de Atendimento (dias)	Nível de Serviço	Produtividade	Quantidade de Navios
Contêiner	0,24	1,03	23%	9 unidades/h	124
Carga Geral	0,18	1,18	15%	1.438 t/dia	23
Minérios	0,08	0,85	9%	27.360 t/dia	4
Grãos	0,35	1,29	27%	13.459 t/dia	37

Observa-se que o tempo de espera obtido para os navios de contêineres foi de 0,24 dia, próximo ao limite fixado de seis horas. Já os demais navios apresentaram tempo de espera variando de 0,08 dia para os de minérios até 0,35 dia para os de grãos.

O modelo apresentou tempo de atendimento para os navios de contêiner e carga geral próximos a um dia. A produtividade foi de 9 unidades/h para navios de contêiner e 1.438 t/dia para navios de carga geral, considerando consignação média dos navios entre os anos de 2002e 2006 da ordem de 211 unidades e 1.697 t, respectivamente.

Para os navios de minérios e grãos os tempos de atendimento também foram próximos a um dia e as produtividades apresentadas também foram calculadas com base na consignação média dos navios de 2002 a 2006 de 23.250 t e 17.362 t, respectivamente. Entretanto os valores da Tabela 5.2 não condizem com o tempo de atendimento e produtividade média verificada em 2006. Isso ocorreu, por ter sido considerada a distribuição de atendimento dos navios para o berço e não pelo tipo de mercadoria.

Os níveis de serviço obtidos foram bons considerando o ótimo de 30% sugerido por UNCTAD (1984), a exceção dos navios de carga geral e minérios que tiveram os armadores favorecidos pelo baixo tempo de espera.

As taxas de ocupação geradas pelo modelo foram baixas, sendo de 3% no berço 102, 29% no berço 103, 21% no berço 104 e 11% no berço 105. Isso mostra que para as condições de operação existentes, limitar os tempos de espera dos navios de contêineres em seis horas torna baixo o nível de utilização da infra-estrutura do Porto de Fortaleza. Pode-se confirmar esta afirmação observando a quantidade de navios de contêineres que atracaram no modelo e a quantidade que atracou em 2006 que foi de 177 navios.

Nessas condições a capacidade anual de movimentação de contêineres ficou em 26.164 unidades, quase 10 mil unidades a menos que o movimentado em 2006.

Para calcular a capacidade de estocagem necessária para essa movimentação, precisa-se primeiramente converter o valor de unidade para TEU. Analisando o histórico de 2002 a 2006 observou-se que 40% dos contêineres movimentados nos últimos cinco anos são de 40 pés. Desta forma, multiplica-se a capacidade em unidades por 1,4 e obtêm-se o valor de 36.630 TEU.

A capacidade necessária de estocagem foi calculada com base na equação 2.1, adotando coeficiente de utilização do pátio igual a 80% e coeficiente de segurança igual a 40% conforme sugerido por UNCTAD (1984). O tempo médio de estadia do contêiner foi calculado a partir de dados fornecidos pela CDC de agosto de 2006 a julho de 2007, obtendo-se o valor de 8 dias sem diferenciar o sentido de navegação.

Assim, a capacidade estática diária de estocagem necessária para a capacidade de movimentação calculada é de aproximadamente 1.700 *slots*. Como a capacidade de estocagem de contêineres em 2008 do porto é de 8.000 TEU, não se fazem necessárias alterações no pátio.

5.2 Cenário 1

No cenário 1 propôs-se que os navios de contêineres passassem a ser atendidos em berço exclusivo a ser localizado no berço 105 e o restante dos navios que utilizam este berço foram divididos entre os demais pontos de atracação do porto.

Para que o modelo representasse esta situação foram necessárias mudanças no módulo *Decide* do modelo computacional quanto à participação de cada berço nas atracações de navios de diferentes tipos de carga. A nova distribuição ficou conforme apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Nova participação de cada tipo de carga nas atracações ocorridas nos berços 102 a 105 entre os anos de 2002 e 2005 para o cenário 1

Tipo de Mercadoria	Berço 102	Berço 103	Berço 104	Berço 105
Contêineres	-	-	-	100%
Carga Geral	21%	33%	46%	-
Minérios	-	-	100%	-
Grãos	-	100%	-	-

A atracação dos navios de minérios foi concentrada no berço 104, enquanto a participação da atracação de carga geral no berço 105 foi dividida entre os berços 103 e 104, pois o berço 102 apresenta restrições de calado.

A distribuição de probabilidade do tempo de atendimento do berço 105 foi alterada para a apresentada na Tabela 5.4, gerada a partir dos tempos de atendimento de contêineres de 2002 a 2006.

A distribuição dos tempos de atendimento dos navios de contêineres apresentou baixo valor de quadrado dos erros e teve estatística KS calculada bem inferior à tabelada, podendo-se aceitar a hipótese de aderência para o nível de confiança de 95%. Já para o teste do Qui-quadrado a hipótese de aderência é rejeitada.

Tabela 5.4 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres no Porto de Fortaleza

Distribuição dos tempos de atendimento aos navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	LOGN(0,779; 0,512)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	5
χ^2 calculado	13,9
χ^2 ao nível de confiança=95%	11,07
P-valor χ^2	0,018
KS calculado	0,032
KS ao nível de confiança=95%	0,563
P-valor KS	>0,15

Para o modelo do cenário 1 a distribuição de chegada dos navios de contêineres que apresentou tempo médio de espera de 6 horas foi a mostrada na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 1

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	12 * BETA(1,04; 5,84)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	15
χ^2 calculado	30,6
χ^2 ao nível de confiança=95%	25
P-valor χ^2	0,010
KS calculado	0,03
KS ao nível de confiança=95%	0,338
P-valor KS	>0,15

A hipótese de aderência não pode ser aceita para o teste do Qui-quadrado ao nível de confiança de 95%, entretanto pode ser aceita no teste KS e tem baixo valor de erro quadrado, podendo então ser utilizada.

Os resultados gerados pelo modelo do cenário 1 com as distribuições acima consideradas são mostrados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Resultados do modelo para o cenário 1 com tempo de espera médio dos navios de contêiner de 6 horas

Mercadoria	Tempo de Espera (dias)	Tempo de Atendimento (dias)	Nível de Serviço	Produtividade	Quantidade de Navios
Contêiner	0,27	0,78	35%	11	173
Carga Geral	0,07	1,2	6%	1.414	25
Minérios	0,007	0,63	1%	36.914	3
Grãos	0,3	1,43	21%	12.142	35

Observa-se que o tempo de espera dos navios de contêineres foi um pouco superior ao pré-fixado, entretanto houve melhoria significativa dos demais indicadores com redução do tempo de atendimento, melhoria da produtividade e principalmente aumento da quantidade de navios atracados.

A destinação de exclusividade de atracação de navios de contêineres no berço 105 refletiu positivamente na movimentação das demais mercadorias, com redução significativa dos tempos de espera dos navios e conseqüente diminuição do nível de serviço.

A proposta causou diminuição considerável da taxa de ocupação dos berços 103 e 104 para 19% e 3%, respectivamente. Já o berço 102 não sofreu alterações devido à participação dos contêineres na sua ocupação ser insignificante, enquanto o berço 105 teve aumento significativo da taxa de ocupação para 42%.

A capacidade do porto para movimentação de contêineres passou para 36.503 unidades, cerca de 40% superior às condições operacionais de 2006. Isso mostra a importância da especialização de berços, principalmente para navios de contêineres que são de linha regular e obedecem a cronogramas rigorosos.

Com isso a necessidade de capacidade estática de estocagem de contêineres passou para aproximadamente 2.400 TEU, considerando movimentação anual de 51.104 TEU e os parâmetros da equação 2.1 utilizados anteriormente. Por conseguinte não se faz necessário aumento do pátio de estocagem existente.

5.3 Cenário 2

O cenário dois considera as alterações do modelo realizadas no cenário 1, melhorando a eficiência de embarque e desembarque de contêineres através da instalação de dois guindastes do tipo MHC.

No modelo computacional proposto a mudança foi realizada na distribuição do tempo de atendimento aos navios. Para isso, primeiro calculou-se a produtividade efetiva de 22 unidades/h para dois equipamentos com produtividade nominal de 20 unidades/h através da equação 2.5 e com os parâmetros coeficiente de correção do número de equipamentos de 1,8 e coeficiente de correção dos tempos mortos na operação de 0,6.

Ao dividir a produtividade efetiva calculada pela encontrada no porto em 2006 que foi de 11 unidades/h, verificou-se que a nova prancha dos equipamentos é o dobro da encontrada para os guindastes de bordo utilizados. Por consequência haveria redução dos tempos de atendimento dos navios pela metade, então se dividiu o dado do histórico do tempo de atendimento dos navios de contêineres de 2002 a 2006 por dois e gerou-se a curva de distribuição de probabilidades da Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres operados por guindastes MHC

Distribuição dos tempos de atendimento aos navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	LOGN(0,389; 0,256)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	5
χ^2 calculado	12,6
χ^2 ao nível de confiança=95%	11,07
P-valor χ^2	0,0276
KS calculado	0,032
KS ao nível de confiança=95%	0,563
P-valor KS	>0,15

Assim como na distribuição do tempo de atendimento aos navios de contêineres operados por guindastes de bordo, pode-se aceitar a hipótese de aderência para o teste KS e o valor do

quadrado dos erros é baixo, entretanto a hipótese de aderência não pôde ser aceita para o teste do Qui-quadrado.

Para as condições descritas, o modelo computacional gerou tempo de espera de 6 horas para a distribuição de chegadas dos navios de contêineres com equação “ $4.95 * \text{BETA}(1.07, 6.33)$ ”, que passou no teste de aderência KS e apresentou baixo valor de quadrado dos erros, como mostra a Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 2

Intervalo de Chegada dos navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	$4,95 * \text{BETA}(1,07; 6,33)$
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	15
χ^2 calculado	30,6
χ^2 ao nível de confiança=95%	25
P-valor χ^2	0,010
KS calculado	0,03
KS ao nível de confiança=95%	0,338
P-valor KS	>0,15

Nestas condições o tempo médio de atendimento dos navios de contêineres foi de 0,39 dia e o tempo médio de espera de 0,25 dia, o que resultou em valor significativo de nível de serviço de 64%, ou seja, o tempo que o navio passa sendo atendido é próximo do tempo de atendimento.

Apesar do valor de nível de serviço elevado, os novos equipamentos permitiram ao porto maior utilização do berço de atracação, que passou de 42% para 54%, e possibilitou o atendimento de maior quantidade de navios, que totalizou 452 embarcações.

As demais cargas não foram analisadas, pois as alterações realizadas no cenário 2 não afetaram as operações dos outros navios.

A capacidade do porto no cenário 2 foi de 95.372 unidades, cerca de 160% maior que a capacidade do cenário 1. Percebe-se então que a especialização do berço foi importante, mas o aumento da produtividade do berço gera resultados bem mais significativos. A duplicação

da produtividade do atendimento aos navios de contêineres quase triplicou a capacidade do porto na movimentação desta carga, como pode ser observado na Figura 5.1. O cenário 0 indica a capacidade da situação operacional em 2006.

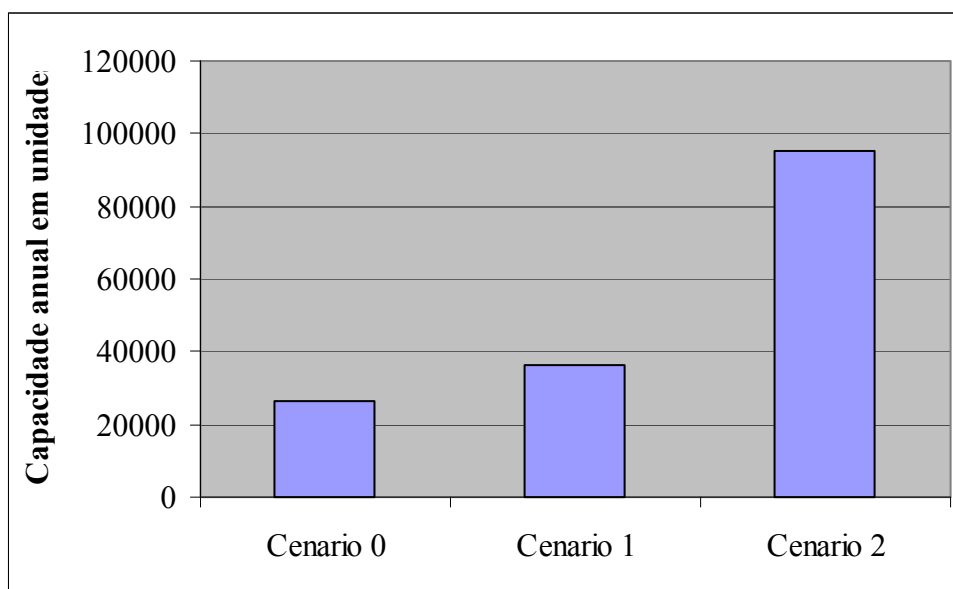


Figura 5.1 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0, 1 e 2

Com essa nova capacidade, cria-se a necessidade de pátio de estocagem para a movimentação anual de 133.521 TEU. A capacidade estática de estocagem de contêineres necessária para o cenário 2 é de 6,1 mil TEU, calculado a partir da equação 2.1, adotando coeficiente de utilização do pátio igual a 80%, coeficiente de segurança igual a 40%, conforme sugerido por UNCTAD (1985) e tempo médio de estadia do contêiner de 8 dias. Portanto não se faz necessário aumentar a capacidade de estocagem de contêineres do porto para este cenário.

5.4 Cenário 3

No cenário 3 foram feitas as mesmas considerações do cenário 2, entretanto considerou-se que os guindastes de bordo utilizados em 2006 seriam substituídos por portêineres e não por guindastes MHC. Os portêineres são guindastes pórticos com alta capacidade de embarque e desembarque de contêineres, alcançando produtividade nominal de até 50 unidades/h.

Foram utilizados os mesmos procedimentos realizados no cenário anterior para a mudança do tempo de atendimento dos navios de contêineres. Considerou-se dois portêineres com produtividade nominal de 50 unidades/h, o que gerou produtividade efetiva de 54 unidades/h. Então se dividiu este último valor pela produtividade obtida em 2006, o que resultou em fator

aproximadamente igual a cinco. Em seguida dividiram-se os valores do tempo de atendimento dos navios de contêineres de 2002 a 2005 e gerou-se a nova distribuição de probabilidade do tempo de atendimento dos navios de contêineres no *input analyser*, mostrada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para o tempo de atendimento dos navios de contêineres operados por portêiner

Distribuição dos tempos de atendimento aos navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	LOGN(0,156; 0,102)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	5
χ^2 calculado	12,6
χ^2 ao nível de confiança=95%	11,07
P-valor χ^2	0,0276
KS calculado	0,032
KS ao nível de confiança=95%	0,563
P-valor KS	>0,15

Com esta configuração de modelo, a distribuição de probabilidade de chegadas dos navios que gerou tempo médio de espera de 6 horas foi a apresentada na Tabela 5.10, a qual passou pelo teste do KS e teve pequeno valor de quadrado dos erros.

Tabela 5.10 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 3

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	1,46 * BETA(1,07; 6,38)
Quadrado dos Erros	0,0010
Graus de Liberdade	14
χ^2 calculado	29
χ^2 ao nível de confiança=95%	23,7
P-valor χ^2	0,011
KS calculado	0,033
KS ao nível de confiança=95%	0,349
P-valor KS	0,137

Como resultados, o modelo do cenário 3 apresentou tempo médio de atendimento aos navios de contêineres de 0,16 dia e tempo de espera médio dos navios de contêiner de 0,25 dia. Com isso o nível de serviço passou para altos 156% e taxa de ocupação do berço 105 de 74%. Observa-se então que a maior produtividade permitiu a maior utilização do berço sem a necessidade de altos tempos de espera dos navios.

A quantidade de navios atendidos gerados pela simulação foi de 1.554, o que significa a capacidade de 327.900 unidades por ano. Entretanto esta quantidade de navios foi considerada alta já que se dividirmos o valor por 365 dias tem-se a chegada de 4 navios por dia. Para esse nível de movimentação o mais provável é que a consignação média dos navios aumente, conforme pode ser observado na Tabela 5.11 dos indicadores de vários portos do Brasil.

Tabela 5.11 – Indicadores de Movimentação de contêineres nos portos do Brasil (ANTAQ, 2008)

Porto	Consignação Média (unidades/navio)	Qtde. Atracações	Qtde. Contêineres (unidades)
Salvador	188	629	118.617
São Francisco do Sul	356	386	137.589
Suape	277	571	158.291
Paranaguá	198	898	177.970
Vitoria	575	355	204.208
Rio Grande	331	1.074	356.417
Itajaí	485	774	375.709
Santos	566	2.973	1.683.526

O porto de Santos, que tem a maior movimentação de contêineres do país, apresenta consignação média de 566 unidades por navio, valor este utilizado para determinar o novo tempo de atendimento dos navios de contêineres para o cálculo de nova capacidade deste cenário.

Dividiu-se o novo valor de consignação pelo determinado nos dados de 2002 a 2006, encontrando-se o fator adimensional de 2,68. Os dados do tempo de atendimento dos navios de contêiner com portêiner foram divididos por este fator e então colocados no *input analyser* para gerar nova distribuição de probabilidade dos tempos de atendimento. A equação desta distribuição é mostrada na Tabela 5.12, juntamente com o novo intervalo de chegadas dos navios de contêineres que gera tempo de espera médio de 6 horas no modelo.

Tabela 5.12 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas para a chegada e atendimento dos navios de contêineres para o cenário 3 com consignação média dos navios de 566 contêineres

Intervalo de Chegada dos navios de Contêineres		Distribuição dos tempos de atendimento aos navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	5 * BETA(1,04; 5,84)	Melhor Distribuição Teórica	LOGN(0,417; 0,274)
Quadrado dos Erros	0,0011	Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	15	Graus de Liberdade	5
χ^2 calculado	30,6	χ^2 calculado	14
χ^2 ao nível de confiança=95%	23,7	χ^2 ao nível de confiança=95%	11,07
P-valor χ^2	0,010	P-valor χ^2	0,0175
KS calculado	0,031	KS calculado	0,032
KS ao nível de confiança=95%	0,349	KS ao nível de confiança=95%	0,563
P-valor KS	>0,15	P-valor KS	>0,15

Para as duas curvas o valor do quadrado dos erros foi baixo e pode-se aceitar a hipótese de aderência para o teste do KS, entretanto a recíproca não é verdadeira para o teste do Qui-quadrado nas duas distribuições.

A maior consignação dos navios de contêineres gerou tempo de atendimento médio de 0,41 dia, mais de duas vezes superior ao da consignação de 211 contêineres por navio. Com isso houve melhora no nível de serviço que passou a ser de 63%.

Já a taxa de ocupação do berço caiu para 53%, 20% a menos que para este cenário com a consignação de 211 unidades por navio e semelhante a do cenário 2. A quantidade de navios atendidos também caiu significativamente para 422 embarcações.

Com este resultado a capacidade de movimentação de contêineres passou para 238.852 unidades, cerca de 40% inferior à capacidade calculada para a antiga consignação, conforme pode ser observado na Figura 5.2.

Observa-se então que o aumento da consignação dos navios gerou o aumento do tempo de atendimento e conseqüentemente redução da capacidade do porto para o tempo de espera fixado. Isso demonstra a importância da redução no tempo de atendimento médio dos navios para a melhoria da capacidade de movimentação de contêineres no Porto de Fortaleza,

podendo ser atingida através da redução dos tempos mortos durante a operação dos navios e principalmente pelo aumento da produtividade de embarque e desembarque de contêineres.

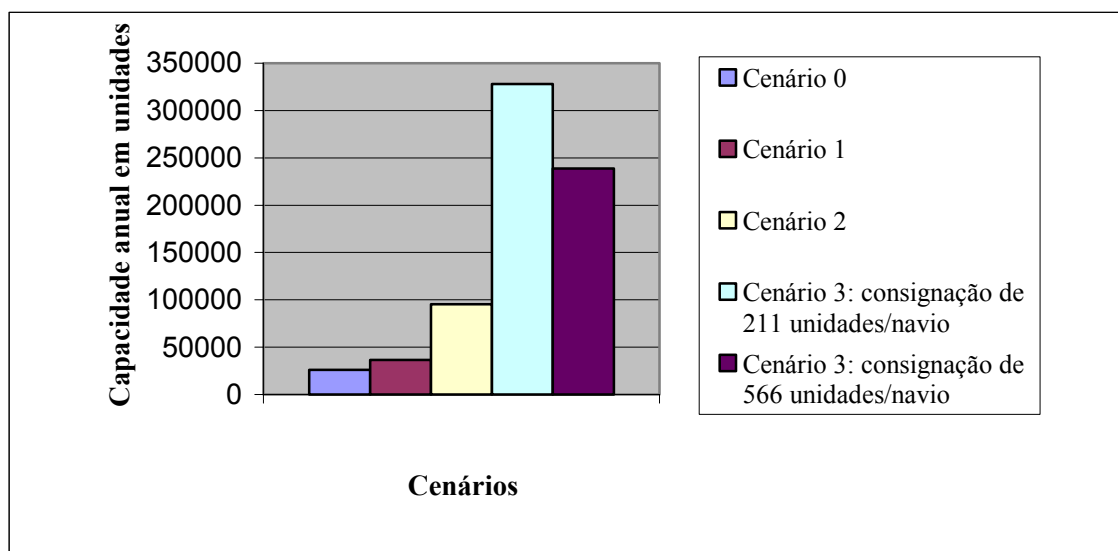


Figura 5.2 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 3

O cálculo da capacidade estática de estocagem necessária para a capacidade de movimentação de contêineres com a nova consignação resultou em aproximadamente 15.300 TEU, considerando os critérios descritos anteriormente.

Todavia, a capacidade estática do pátio de estocagem do porto em 2007 era de apenas 8.000 TEU e mesmo a reorganização do pátio apresentada na Figura 3.7 não foi suficiente para atender a essa demanda.

Apesar da necessidade de expansão do número de *slots* existentes, não foi preciso aumentar a área de estocagem de contêineres do porto, mas apenas a reestruturação e organização do pátio existente.

A Figura 5.3 apresenta novo desenho do pátio de estocagem do Porto de Fortaleza, o qual tem as mesmas características e princípios da Figura 3.7, porém o sistema de movimentação de contêineres do pátio passaria a ser operado por transtêineres. Estes equipamentos teriam capacidade de empilhamento de seis unidades de largura e de sete unidades de altura, sendo que a sétima pilha de altura não é ocupada.

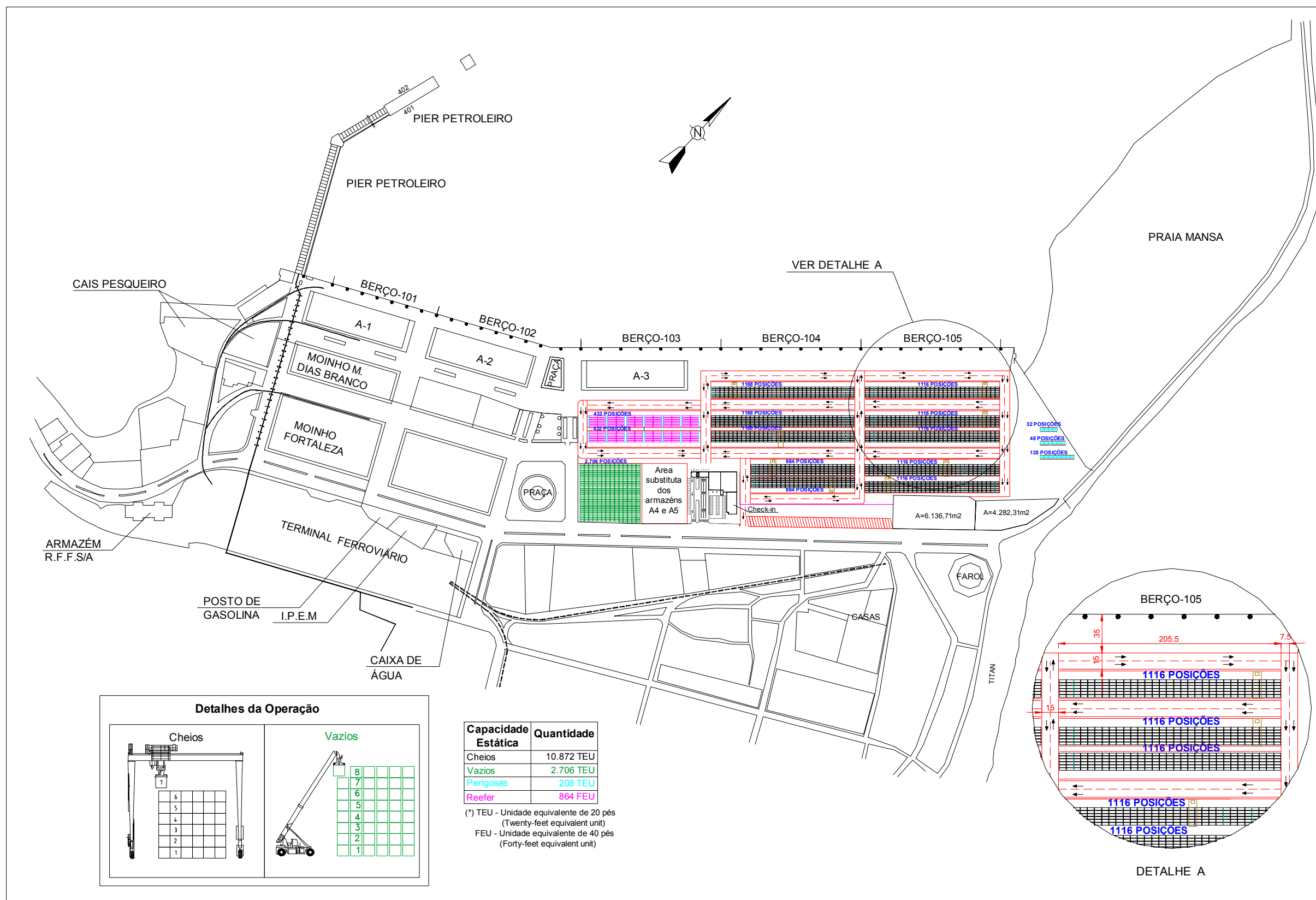


Figura 5.3 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 3

Nestas novas condições o pátio passaria a ter capacidade estática para 15.514 TEU. Contudo, este leiaute requer alto nível de organização das pilhas, sob pena de gerar grande quantidade de remoções de contêineres. Entende-se por remoção os movimentos de deslocamento de contêineres para retirada de determinada unidade da pilha, que aumentam os custos operacionais, mas não agregam valor a mercadoria.

Uma maneira de reduzir a necessidade por capacidade estática seria adotar medidas para redução do tempo de estadia dos contêineres no pátio, gerando a possibilidade de redução da altura das pilhas.

5.5 Cenário 4

No cenário 4 foram realizadas mudanças significativas no modelo computacional para a introdução de mais um berço especializado na movimentação de contêineres, denominado 106, localizado na Praia Mansa conforme pode ser observado na Figura 5.4. Foram inseridos dois módulos *Enter* para representar a chegada dos navios na fila dos berços, mais um módulo *Process* para representar o novo berço e um *Dispose* para a saída dos navios do novo berço.

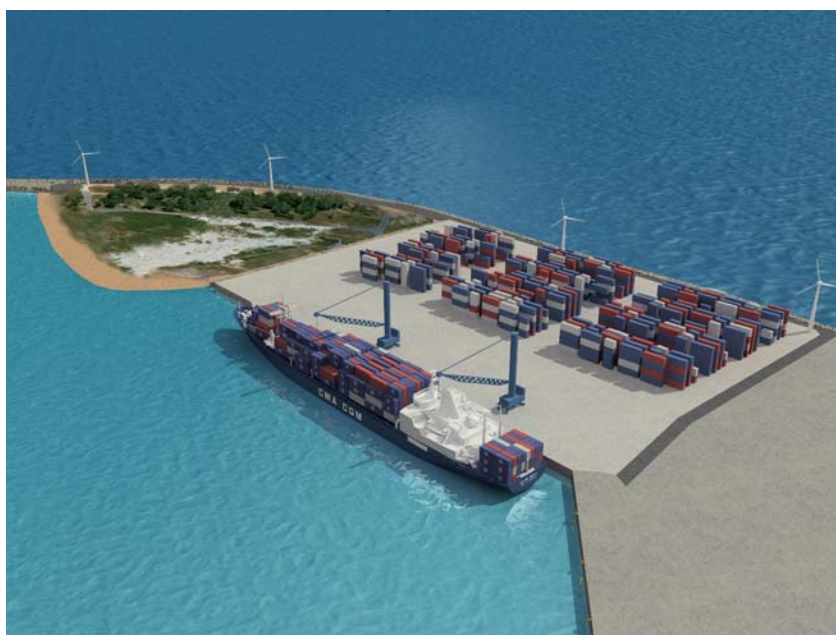


Figura 5.4 – Berço 106 para atracação de navios de contêineres localizado na Praia Mansa

O módulo **Decide** foi substituído pelo módulo **Pickstation**, que no modelo realiza a escolha do berço para o qual o navio de contêiner deve se encaminhar. Este módulo diferencia-se do primeiro, pois otimiza a atracação dos navios nos berços, fazendo com que a decisão do destino do navio seja tomada com base na verificação de qual berço encontra-se ocupado, do tamanho da fila do berço e da existência de navio em rota para a fila de cada berço.

A representação das demais mercadorias foi removida do modelo computacional, conforme pode ser observado na Figura 5.5, pois não influenciam na movimentação e operação dos navios de contêineres.

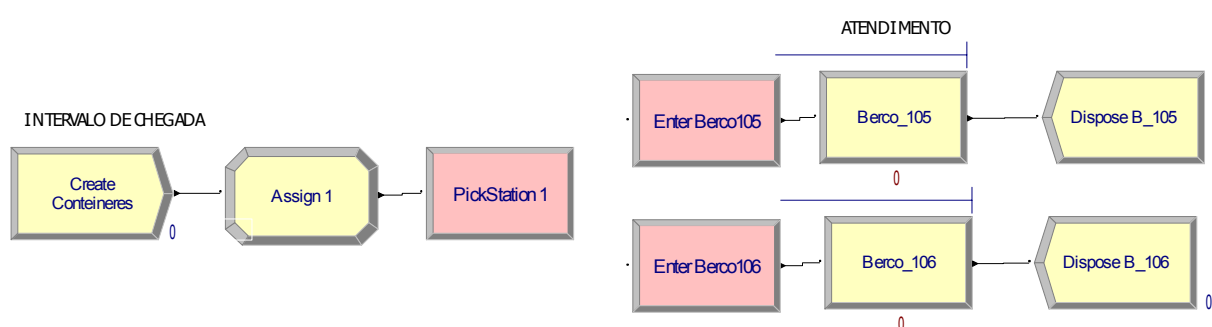


Figura 5.5 – Representação do modelo computacional do cenário 4

O cálculo da estatística de precisão h resultou em 13,2, que representa apenas 3% da média de saída de navios do sistema de 503 embarcações para 10 replicações. Assim o modelo foi simulado sob os mesmos parâmetros dos anteriores, com duração total de 405 dias, sendo 40 dias sem coleta de estatísticas, e 10 replicações.

A distribuição de probabilidade do tempo de atendimento aos navios inserida nos dois módulos **Process** foi a mesma utilizada no cenário 1, no qual os navios foram operados por guindastes de bordo. O objetivo é verificar a influência da instalação de mais berços de atendimento aos navios na capacidade de movimentação de contêineres no porto.

A equação da distribuição de probabilidade do intervalo de chegada dos navios de contêineres com consignação média de 211 unidades por navio que resultou em tempo de espera de 6 horas é apresentada na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 4

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	4,42 * BETA(1,07; 6,34)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	14
χ^2 calculado	27
χ^2 ao nível de confiança=95%	23,7
P-valor χ^2	0,0205
KS calculado	0,033
KS ao nível de confiança=95%	0,349
P-valor KS	0,143

Novamente percebe-se que a distribuição selecionada tem baixo valor de quadrado dos erros e pode ser aceita a hipótese de aderência da curva para o teste do KS, mas não para o teste do Qui-quadrado.

Os resultados da simulação apresentaram tempo médio de atendimento de 0,76 dia e tempo médio de espera de 0,25 dia, o que resulta no valor ótimo de nível de serviço de 33%.

A taxa de ocupação do berço 105 foi de 70% e a do berço 106 foi de apenas 48% sendo todas as duas superiores aos 35% observados em apenas um berço. Isso mostra que a disponibilização de mais pontos de atracação possibilita maior utilização destes.

Os dois berços atenderam ao total de 503 embarcações, quase o triplo do que foi atracado no cenário com apenas um berço exclusivo.

A capacidade calculada para movimentação de contêineres ficou em 106.133 unidades, o que acarreta na necessidade de capacidade estática de estocagem de apenas 6.785 TEU.

A capacidade de movimentação de contêineres calculada neste cenário é comparada com as dos cenários anteriores na Figura 5.6, sendo que a capacidade considerada para o cenário 3 foi a com consignação dos navios de 566 unidades.

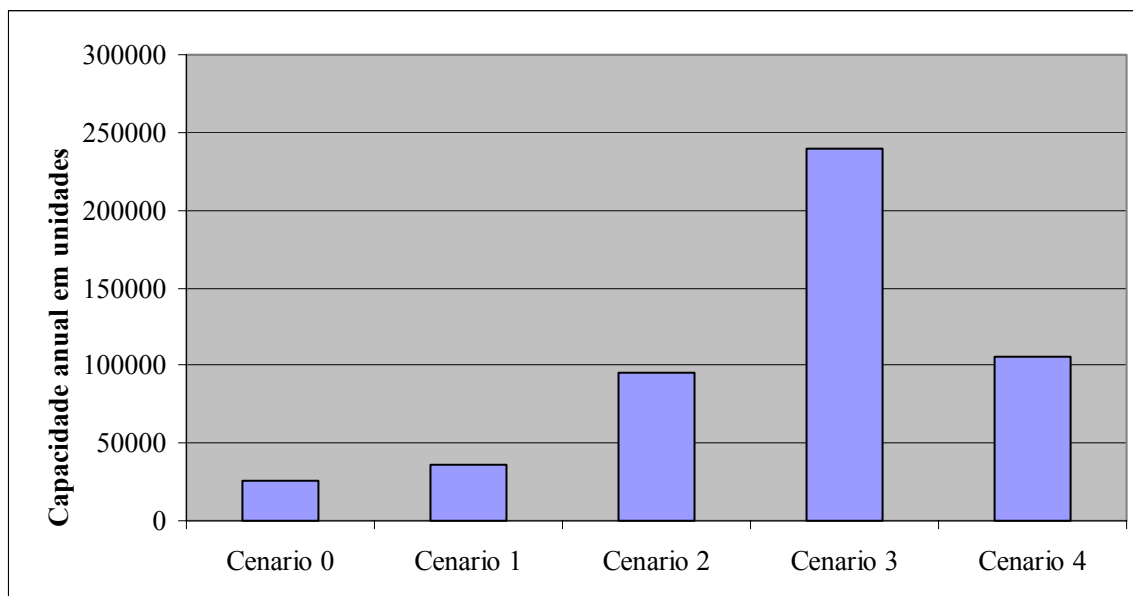


Figura 5.6 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 4

Observa-se na Figura 5.6 que mesmo com dois berços de atracação a capacidade do cenário 4 é bem inferior a do cenário 3 e quase a mesma do cenário 2, dos quais nos dois últimos foram alterados os equipamentos de embarque e desembarque de contêineres. Isso mostra que para o aumento da capacidade do Porto de Fortaleza é melhor adquirir equipamentos com maior eficiência e só depois, quando não houver mais possibilidade técnica de melhoria das operações e equipamentos, construir novo berço.

A vantagem desta decisão não é apenas técnica mas também econômica, pois no cenário atual os investimentos em equipamentos devem ser realizados pelas empresas privadas que operam o porto e os investimentos em infra-estrutura realizados pelo governo. Então é mais barato fazer o reforço do cais para receber equipamentos mais robustos do que construir um novo berço.

Para que os operadores portuários realizem a aquisição de novos equipamentos, eles devem primeiramente realizar estudo de viabilidade, no qual o retorno financeiro do investimento pode advir do aumento da movimentação de contêineres e/ou da elevação do valor da tarifa cobrada justificada pelo diferencial de eficiência a ser oferecido.

O desenho do Porto de Fortaleza com o novo berço é apresentado a seguir na Figura 5.7 a seguir, juntamente com expansão do pátio de estocagem de contêineres que é desnecessária para este cenário.

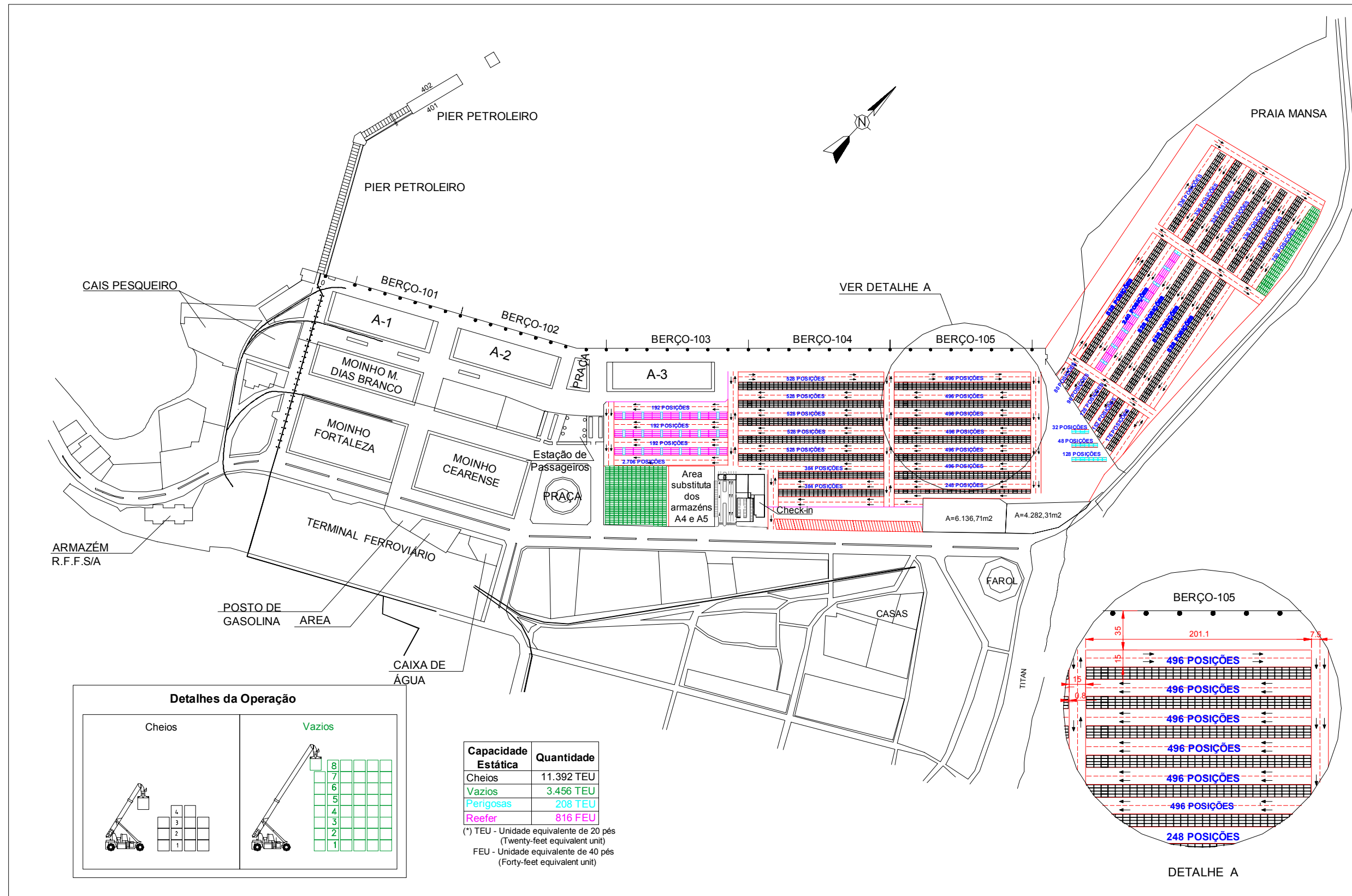


Figura 5.7 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 4

5.6 Cenário 5

O cenário 5 é semelhante ao cenário 4, se diferenciado apenas pela utilização de dois guindastes MHC, acarretando na mudança da distribuição de probabilidade dos tempos de atendimento. Porém esta distribuição não é a mesma apresentada no cenário 2, pois a pequena consignação média dos navios neste modelo resultou na atracação de 1.217 navios.

A nova distribuição de probabilidade do tempo de atendimento para navios com consignação de 566 contêineres foi determinada através do mesmo procedimento realizado no cenário 3, sendo que neste último os equipamentos utilizados eram portêineres. A equação desta distribuição e do intervalo de chegadas que gera tempo de espera de 6 horas no modelo do cenário 5 são apresentadas na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Resultados dos testes de aderência para as distribuições estatísticas de probabilidade selecionadas para a chegada e atendimento dos navios de contêineres para o cenário 5 com consignação média dos navios de 566 contêineres

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres		Distribuição dos tempos de atendimento aos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	5 * BETA(1,04; 5,84)	Melhor Distribuição Teórica	LOGN(1,04; 0,686)
Quadrado dos Erros	0,0011	Quadrado dos Erros	0,0017
Graus de Liberdade	15	Graus de Liberdade	6
χ^2 calculado	30,6	χ^2 calculado	20,1
χ^2 ao nível de confiança=95%	23,7	χ^2 ao nível de confiança=95%	12,59
P-valor χ^2	0,010	P-valor χ^2	< 0,005
KS calculado	0,031	KS calculado	0,032
KS ao nível de confiança=95%	0,349	KS ao nível de confiança=95%	0,519
P-valor KS	>0,15	P-valor KS	>0,15

Para as duas curvas o valor do quadrado dos erros foi baixo e pode-se aceitar a hipótese de aderência para o teste do KS, entretanto não se pode aceitar esta hipótese para o teste do Qui-quadrado nas duas distribuições.

O tempo médio de atendimento resultante da simulação foi de aproximadamente 1 dia e o tempo médio de espera de 0,26 dia. O cenário em análise incorreu em nível de serviço de 26%, mostrando que o tempo que o navio passa esperando é razoável para o tempo que este passa operando.

A taxa de ocupação dos berços diminuiu em relação ao cenário anterior para 66% no berço 105 e 42% no berço 106, mostrando que o aumento da consignação e conseqüente crescimento do tempo de atendimento forçam a redução da utilização dos berços.

A quantidade de navios atendidos foi de 352, a qual resulta na capacidade de movimentação de contêineres no porto de 199.232 unidades para tempo de espera médio dos navios de 6 horas. A Figura 5.8 mostra que esta capacidade ainda não é superior a apresentada pelo cenário 3, mas é duas vezes superior a calculada no cenário 2.

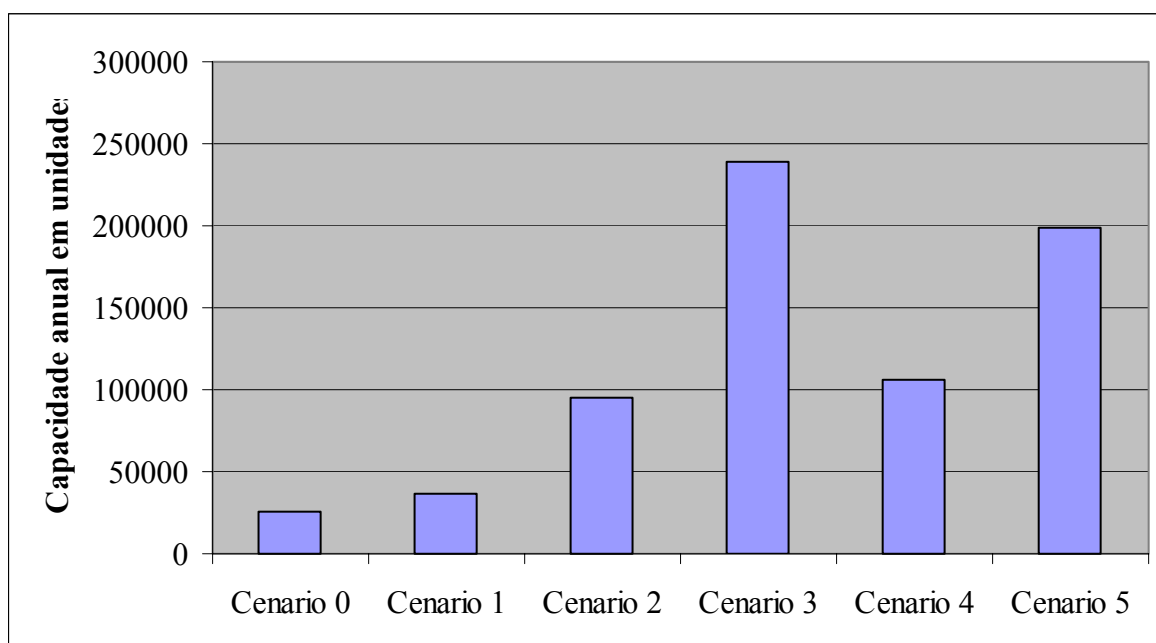


Figura 5.8 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 5

A capacidade estática de estocagem necessária para este cenário é de 12.736 TEU, podendo ainda ser utilizado o leiaute apresentado na Figura 5.7.

5.7 Cenário 6

Neste cenário considera-se o mesmo modelo computacional dos cenários 4 e 5 com dois berços exclusivos para atracação de navios de contêineres, substituindo a distribuição do intervalo de atendimento aos navios pela apresentada no cenário 3, no qual os navios são operados por dois portêineres e a consignação média dos navios é de 566 unidades.

Para que o tempo médio de espera dos navios de contêineres fosse de 6 horas, foi utilizada a distribuição de probabilidade da chegada das embarcações apresentada na Tabela 5.15, na

qual se pode aceitar a hipótese de aderência para o teste do KS e o valor do quadrado dos erros pode ser considerado baixo.

Tabela 5.15 – Resultados dos testes de aderência para a distribuição estatística de probabilidade selecionada para a chegada dos navios de contêineres que gera tempo médio de espera de 6 horas no cenário 6

Intervalo de Chegada dos Navios de Contêineres	
Melhor Distribuição Teórica	2 * BETA(1,07; 6,34)
Quadrado dos Erros	0,0011
Graus de Liberdade	14
χ^2 calculado	27
χ^2 ao nível de confiança=95%	23,7
P-valor χ^2	0,021
KS calculado	0,033
KS ao nível de confiança=95%	0,349
P-valor KS	0,144

A partir destas considerações a simulação apresentou nos dados de saída tempo de espera médio de 0,25 dia e tempo médio de atendimento de 0,42 dia, resultando no nível de serviço de aproximadamente 60%, duas vezes superior ao ótimo sugerido por UNCTAD (1985).

As taxas de ocupação dos berços foram de 80% no berço 105 e 62% no berço 106, mostrando novamente que ao aumentar a produtividade das operações, além de melhorar a eficiência do porto, permite a maior utilização dos pesados investimentos em infra-estrutura do terminal.

Nesta situação foram atendidos 1.103 navios de contêineres, o que significa que a capacidade de movimentação para tempos médios de espera dos navios de 6 horas foi de aproximadamente 624.300 contêineres.

Esta é a maior capacidade de movimentação que pôde ser atingida pelo Porto de Fortaleza através dos cenários propostos e para o tempo médio de espera fixado, como pode ser observado na Figura 5.9. O valor da capacidade no cenário 6 é mais de 3 vezes superior ao do cenário 5 e 2,6 vezes superior ao do cenário 3. Neste último caso, observa-se que a adição de mais um berço com as mesmas características operacionais mais que dobrou a capacidade de movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza.

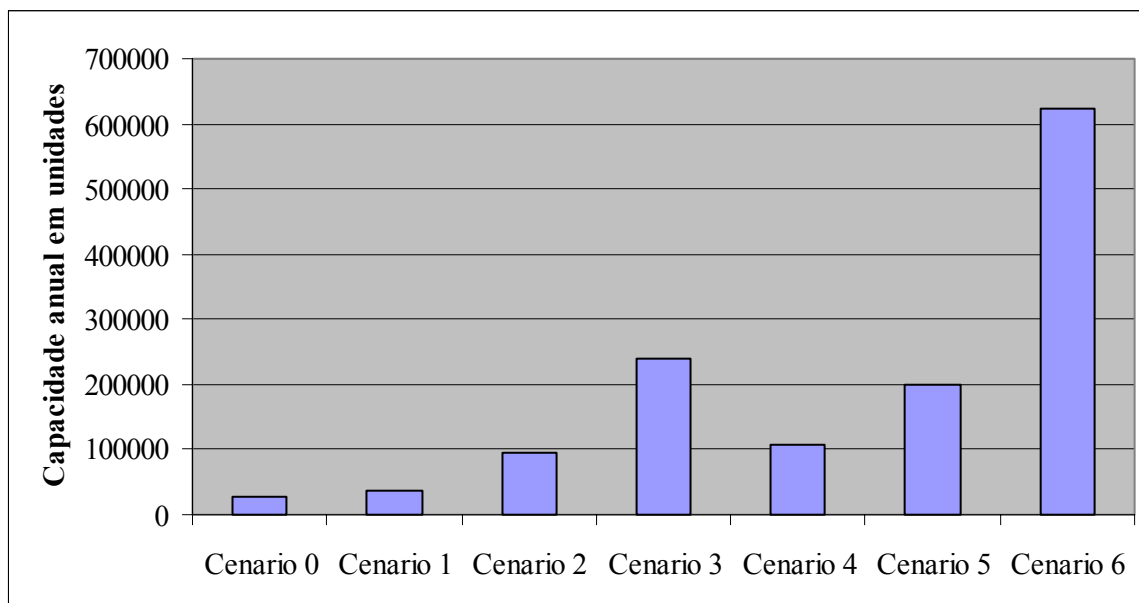


Figura 5.9 – Comparativo entre as capacidades dos cenários 0 a 6

A capacidade estática de estocagem necessária para esse nível de movimentação é de aproximadamente 40 mil TEU, que não pode ser atendida mesmo com o uso de transtêineres empilhando a sete contêineres de altura em todo o pátio de estocagem. Desta forma a capacidade do porto de Fortaleza para movimentação de contêineres fica limitada a 556.566 TEU ou 397.550 unidades, determinada a partir da equação 2.1 para capacidade estática de 25.414 TEU apresentada no leiaute da Figura 5.10.

Vale ressaltar que se deve avaliar as operações do pátio de contêineres do leiaute da Figura 5.9, pois a utilização de empilhamentos desta altura gera índice significativo de remoções e requer considerável organização do pátio de estocagem.

A solução para aumentar a capacidade estática de estocagem de contêineres seria incentivar a redução do tempo de estadia dos contêineres para 6 dias e retirar os contêineres vazios do porto, colocando-os em terminais na retroárea. Desta forma a capacidade de movimentação de contêineres do porto passaria a ser de 655.500 TEU ou 468.215 unidades, valor 30% inferior à capacidade de embarque e desembarque deste cenário.

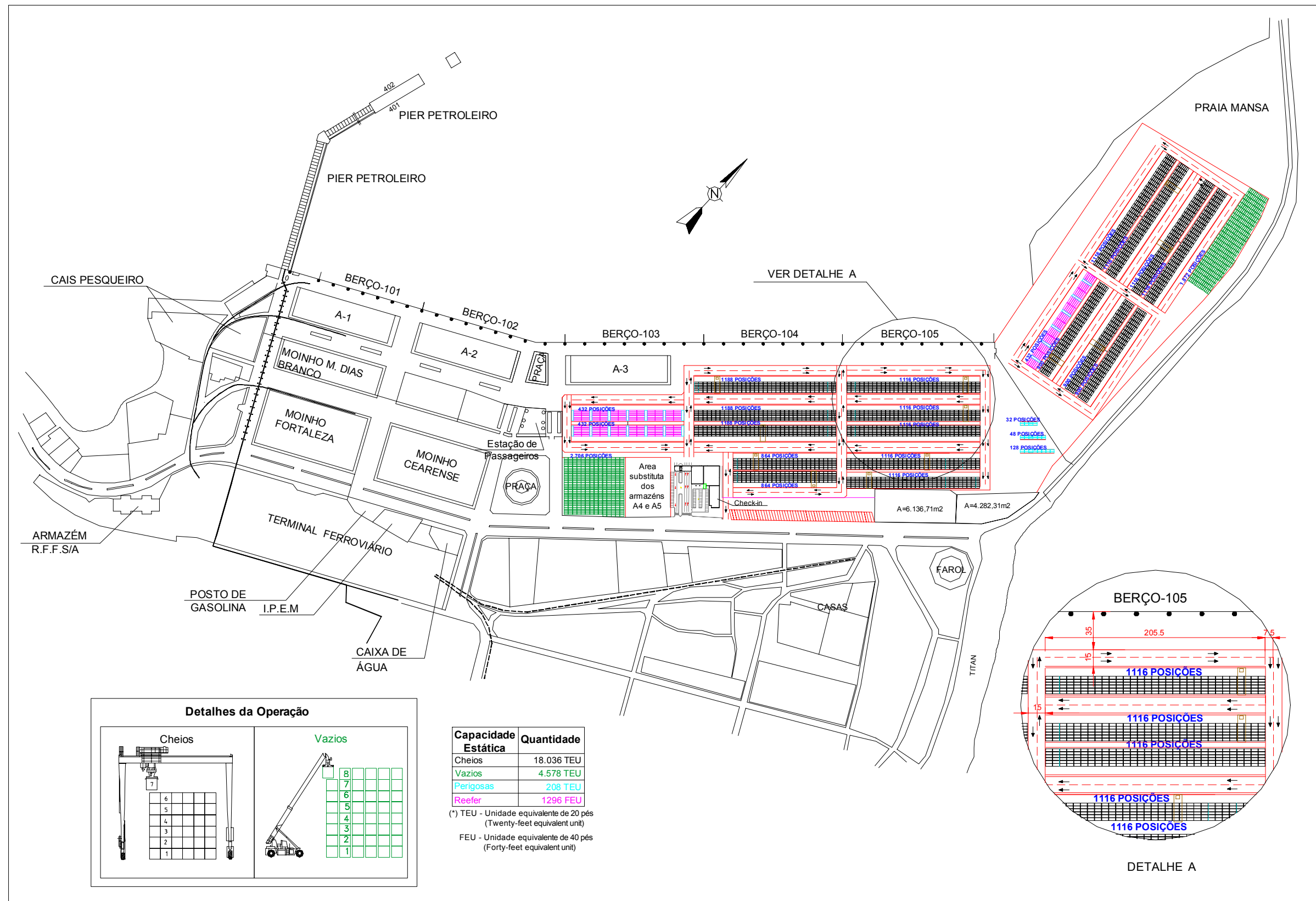


Figura 5.10 – Leiaute do Porto de Fortaleza para o cenário 6

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo desenvolver metodologia para avaliar a capacidade de terminais de contêineres para auxiliar no planejamento de longo prazo destas instalações, permitindo ao planejador visualizar o ponto em que as operações do porto irão saturar e gerar prejuízos aos usuários.

A metodologia baseou-se na simulação computacional através da ferramenta ARENA e nos indicadores de desempenho portuário desenvolvidos pela ANTAQ. O limite de capacidade era atingido quando os navios de contêineres passavam a ter tempo médio de espera de 6 horas.

A simulação mostrou-se ser ferramenta bastante útil na metodologia de determinação de capacidade de movimentação de contêineres, pois permitiu a representação computacional das complexas operações portuárias e a avaliação das propostas feitas para a melhoria da capacidade.

A metodologia foi aplicada ao Porto de Fortaleza, desenvolvendo-se modelo computacional para representação de suas operações. Neste, foram necessárias algumas simplificações frente à realidade, devido à forma como os dados operacionais do porto foram apresentados.

No modelo computacional não foram consideradas as operações do pátio de estocagem de contêineres, sendo a avaliação da capacidade deste setor do porto avaliada através de modelo determinístico. Já a parte de acesso terrestre ao porto não foi levada em consideração na metodologia proposta, havendo a necessidade de um estudo separado devido a sua complexidade.

A avaliação da capacidade de movimentação de contêineres no Porto de Fortaleza para o sistema operacional presente em 2006 apresentou quantidade de contêineres inferior ao movimentado em 2007, por causa da limitação do tempo de espera dos navios em 6 horas.

As propostas de cenários para melhoria da capacidade variaram entre dedicação de berço exclusivo para atracação de navios de contêineres, aumento da produtividade de embarque e desembarque das unidades, a construção de novo berço e a combinação destas alternativas.

O cenário 1 mostrou que a capacidade do porto pode ser aumentada somente com a destinação de berço exclusivo para a atracação de navios de contêineres, pois esta prática reduz a

competição destas embarcações com as demais cargas. Além disso, essa alternativa afeta benéficamente a movimentação das outras mercadorias, afirmativa constatada através da avaliação dos indicadores calculados e de saída da simulação.

Nos cenários 2 e 3 observou-se que a introdução de equipamentos mais eficientes na movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza acarreta em crescimento significativo da capacidade de movimentação, necessitando até de reestruturação do pátio de estocagem de contêineres para o último cenário.

Além disso, a maior eficiência das operações permitiu a maior utilização das custosas infra-estruturas portuárias sem necessidade de aumento do tempo médio de espera dos navios e o aumento da consignação dos navios acarretou em redução da capacidade do porto devido à elevação dos tempos de atendimento.

Os resultados do cenário 4 mostraram que a construção de mais berços não acarreta em aumento tão significativo da capacidade de movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza quanto à aquisição de equipamentos mais eficientes. No entanto, observou-se que a disponibilização de mais pontos de atracação especializados também possibilitou a maior utilização destas infra-estruturas.

É importante destacar que a opção por aquisição de equipamentos mais eficientes em contraponto com a construção de novos berços de atracação é vantajosa, tanto tecnicamente quanto economicamente, pois além do investimento ser mais baixo, a maior produtividade permitirá o uso mais intensivo da infra-estrutura.

O cenário 5 serviu para avaliar a capacidade de movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza com dois berços, nos quais os navios são operados por guindastes MHC. Verificou-se que o resultado é 20% inferior ao da capacidade calculada no cenário 3, no qual o porto é dotado de apenas um berço exclusivo para a atracação dos navios de contêineres.

O cenário 6 mostrou-se ser, dentre os cenários propostos, aquele o com maior capacidade de movimentação de contêineres para o Porto de Fortaleza, totalizando 624.300 unidades. Contudo neste cenário a capacidade fica limitada pela área de estocagem do porto, que permitirá a movimentação anual de até 397.550 unidades, mesmo após sua expansão e introdução de transtêineres.

Para o desenvolvimento da movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza demonstra-se no estudo que se deve primeiramente destinar o berço 105 para a atracação exclusiva dos navios porta-contêiner e reorganizar o pátio de estocagem. Desta forma as operações irão melhorar significativamente, sem geração de investimentos adicionais em infra-estrutura e equipamentos.

Como o porto passou a operar contêineres por dois guindastes MHC em 2007, a destinação de berço exclusivo para os navios porta-contêiner aumentará sua capacidade para aproximadamente 95,4 mil unidades por ano, caso confirmada a produtividade sugerida.

Quando atingir esta capacidade, devem ser adquiridos dois portêineres para substituir os guindastes MHC e as operações de pátio deverão ser realizadas por transtêineres, fazendo com que a capacidade do porto passe a ser de 240 mil unidades por ano.

Somente quando estiver próximo de obter esta movimentação anual deve-se construir o novo berço 106, a ser equipado com dois portêineres, e a expansão do pátio de estocagem operado por transtêineres. Assim o porto atingirá sua capacidade máxima de aproximadamente 400 mil unidades por ano.

A solução para aumentar esta capacidade seria a redução da estadia dos contêineres no pátio e o deslocamento dos contêineres vazios de dentro da área de estocagem para terminais à retroárea portuária.

Por fim, a metodologia proposta mostrou-se ser eficiente na determinação da capacidade anual de movimentação de contêineres do Porto de Fortaleza, além de ter possibilitado a avaliação de alternativas e do peso dos indicadores de desempenho selecionados.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Primeiramente sugere-se que os dados operacionais coletados pelo Porto de Fortaleza contenham data e hora da chegada dos navios à área de fundeio, da entrada do práctico a bordo do navio, do momento da chegada do navio ao berço de atracação e do início das operações do navio no berço. Desta forma poder-se-á representar no modelo de forma mais fidedigna a operação real de chegada do navio ao porto, com o tempo de espera do navio para atracação, tempo de viagem até o berço e tempo perdido até o início das operações. Deve-se também separar o tempo de espera por ocupação de berço e por ocupação do canal de acesso.

Devem-se inserir no modelo computacional as operações do pátio de estocagem para análise de sua capacidade estática, sendo para isso necessária a coleta dos dados do tempo de operação dos equipamentos utilizados no pátio.

Outra sugestão é fazer o estudo do acesso terrestre ao Porto de Fortaleza, verificando possibilidades para melhorar a entrada e saída de contêineres do porto através dos modais rodoviário e ferroviário.

Pode-se fazer também estudo para determinar a viabilidade econômica da introdução das alternativas apresentadas no trabalho, considerando-se os gargalos do acesso terrestre ao porto e da área para estocagem de contêineres.

Desenvolver outros estudos para avaliar a capacidade das demais mercadorias movimentadas no porto de Fortaleza, principalmente grãos e granéis líquidos, pois têm grande participação na quantidade total de cargas operadas pelo porto anualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGERSCHOU, H.; LUNDGREN, H.; SORENSEN, T. **Planning and Design of Ports and Marine Terminals**, John Wiley and Sons, Nova York, 1984.

ALATTAR, M. A.; KARKARE, B.; RAJHANS, N. *Simulation of Container Queues for Port Investment Decisions. The Sixth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'06)*, Xinjiang, China, 2006.

ALELUIA, A. C. **Avaliação de Produtividade em Terminais de Granéis Sólidos**, Dissertação de Mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.

AMBORSKI, K.; DZIELINSKI, A. e SUKIENNIK, J. *On Integration of Simulation into It Systems of Port of Gdansk. International Journal of Simulation*, vol. 7, nº 6, p. 56-62, 2006.

ANTAQ. Indicadores de Desempenho Portuário - Sistema Permanente de Acompanhamento de Preços e Desempenho Operacional dos Serviços Portuários. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, Brasília, 2003.

ANTAQ. Avaliação de Capacidade de Movimentação de Cargas e Atendimento à Demanda do Mercado nos Portos da Região Nordeste do Brasil. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, Brasília, 2007.

ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2008.

ARRUDA, C. M. **Método dos Indicadores de Desempenho Proposto pela ANTAQ: Uma Aplicação ao Terminal Portuário do Pecém**. Monografia – UFC, Fortaleza, Ceará, 2006.

BOTTER, R. C. *Emprego de Simulação na Modelagem de Sistemas Portuários. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 18*. Anais. Rio de Janeiro, Sobrapo, v. 2, p. 231-248, 1985.

BURBIDGE, J. L. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 1984.

BRUUN P. **Port engineering**. Houston, Gulf Publishing Company, 1973.

BRUZZONE, A. G.; GIRIBONE, P.; REVETRIA, R. *Operative Requirements and Advances for the New Generation Simulators in Multimodal Container Terminals. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, Genova, Italia, 1999.

CARDOSO, C. R. O. E TELES, M. B. *Simulação de Terminal Portuário. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Salvador, Bahia, 2001.

CDC – Companhia Docas do Ceará. Disponível em: <<http://www.docasdoceara.com.br>>. Acesso em: 25 de Maio 2008.

CHING, H. Y. *Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada*. São Paulo: Atlas, 1999.

CHUNG, C. *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Nova York: CRC Press, 2003.

CRUZ, M. M. C.; FARIAS F. N.; SOUZA, R. G.; VAZ, R. G.; SILVA, S., *Estudo por Simulação da Operação de Granéis Sólidos do Porto de Tubarão. Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*, Salvador, Bahia, 2001.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. Editora dos Autores, São Paulo, 2006

DATAMAR. Disponível em: <<http://www.datamar.com.br>>. Acesso em: 25 de Março 2008.

DE MONIE, G. *Medición y Evaluación del Rendimiento y de la Productividad de los Puertos*. Nova York: UNCTAD, 1988.

DIARIO DO NORDESTE. Disponível em: <<http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=545499>>. Acesso em: 12 jun. 2008.

DSC. World Container Terminals. Drewry Shipping Consultants, 1997.

FERREIRA, A. *Estudo de Indicadores para Análise de Planos de Circulação para Áreas Urbanas*, Dissertação de Mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1991.

FOURGEAUD, P. Measuring Port Performance. World Bank, 2000.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA**. Visual Books, 2ª edição, Florianópolis, 2008.

HANDABAKA, A. R. **Gestão Logística da Distribuição Física Internacional**. São Paulo: Editora Maltese, 1994.

HARTMANN, S. *Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics*. **OR Spectrum** nº 26, p. 171-192, 2004.

HUTCHINS J. L., AKALIN M. T. *Use of Simulation Models at Container and Bulk Liquid Terminal Facilities*. **PORTS'95 Conference**, Florida, 1995.

IMAM. **Glossário da Logística – Aprenda a Moderna Logística**. São Paulo: Instituto IMAM, 1998.

MAKRIS, D. **Enhanced Container Terminal Organization – Application to the Port of Thessaloniki**, Greece, Tese de Doutorado - Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Grecia, 1998.

MATHEW R.; LEATHRUM, J. F.; MAZUMDAR, S.; FRITH, T. *An Object-Oriented Architecture for the Simulation of Networks of Cargo Terminal Operations*. **The Society for Modeling and Simulation International**, v. 2, Issue 2, p. 101–116, 2005.

MAYER, R. R. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1990.

MCMENAMIN, D.; GARNER, P. K. *Design an Effective Container Stacking Area*. 15º Biennial Conference of Engineers of the Association of Australian Port and Marine Authorities, Adelaide, 1986.

MEDINA, A. C. e CHWIF L. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. Ed. dos Autores, São Paulo, 2006.

MELLO, S. F.; CRUZ, W. E.; BOTTER, R. C.; BRINATI, M. A. *Análise técnico operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos*. **Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 11**. Anais. Rio de Janeiro, Sobena. v. 4, p. 263-283, 1986.

NOBRE E. F.; SUCUPIRA, M. L. L.; MAGALHÃES P. S. B.; PRATA B. A. *Modelagem Computacional da Movimentação de Carga Geral, Granéis Sólidos e Líquidos e Derivados de Petróleo do Porto do Itaquí. XV Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, São Paulo, 2008.

NOVO MILENIO. Disponível em: < <http://www.novomilenio.inf.br/porto/conteinm.htm> >. Acesso em: 10 mar. 2008.

OPOVO. Disponível em: < <http://www.opovo.com.br/opovo/colunas/vertical/805957.html>>. Acesso em: 22 jul. 2008.

PAIXÃO, A. C. e MARLOW, P. B. *Fourth generation ports – a question of agility? International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 33, n.4, p. 355 – 376, 2003.

PERROS, H. **Computer Simulation Techniques: The definitive introduction!** Raleigh: NC State University, 2003.

PIANC-IAPH. Canais de Acesso- Um Guia para Projetos. Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC) e International Association of Ports and Harbors, 2003.

PRAÇA E. R.; BRANDÃO J. E.; PRATA B. A.; OLIVEIRA F. I.; NOBRE E. F. *Modelagem Computacional da Movimentação de Carga Geral e Unitizada do Terminal Portuário de Vila do Conde – Estado do Pará, XXI ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, 2007.

PRADO, D. S. **Usando ARENA em Simulação**. INDG Tecnologia e Serviços, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004.

RAMOS, G. M. **Análise Prospectiva da Capacidade de Processamento de Cargas pela Ferrovia no Porto de Santos**, Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2003.

RECEITA FEDERAL. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/aduana/ProcAduExpImp/DespAduImport.htm>>. Acesso em: 14 de Maio 2008.

RENSBURG J. J.; KLEYWEGT, A. J. (2005). *A Computer Simulation Model of Container Movement by Sea*. **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**, p. 1559-1566, 2005.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. *Modelo de decisão para o planejamento da capacidade nos terminais de contêineres*. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Pioneira Editora, 1995.

SGOURIDIS, S. P. e ANGELIDES D. C. *Simulation-Based Analysis of Handling Inbound Containers in a Terminal*. **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, p 1716-1724, 2002.

TAKASHINA, N. T. e FLORES, M. C. X. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho: Como Estabelecer Metas e Medir Resultados**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1996.

TEIXEIRA, R. N. C. **A Melhoria em Processos Baseado no Uso de Indicadores de Desempenho**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1999.

TONDO, C. M. **Simulação e análise operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.

UNCTAD. **Desarrollo Portuário – Manual de Planificación para los Países em Desarrollo**. Conferência das Nações Unidas Sobre o Comércio e Desenvolvimento, Nova York, 1984.

UNCTAD. *Seminar on Container Terminal Management*. **United Nations Conference on Trade and Development e Antwerp Port Engineering and Consulting**, Antuerpia, Belgica, 1985.

UNCTAD. **Desenvolvimento e Melhoria dos Portos – Os Princípios de Gestão e Organização dos Portos**. Conferência das Nações Unidas Sobre o Comércio e Desenvolvimento, 1992.

UNCTAD. **Planificacion Estratégicas para las Autoridades Portuárias**. Conferencia de las Naciones sobre Comercio y Desarrollo, Genebra, 1993.

UNCTAD. *Ports Newsletter N°19*. Conferência das Nações Unidas Sobre o Comércio e Desenvolvimento, 1999.

UNCTAD. *Review of Maritime Transport*. United Nations Conference on Trade And Development, Nova York, 2007.