

THIAGO BARROS BRITO

## Modelagem e Simulação de um Terminal Regulador de Contêineres

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do Diploma de Engenheiro de  
Produção

São Paulo  
2008



THIAGO BARROS BRITO

## Modelagem e Simulação de um Terminal Regulador de Contêineres

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do Diploma de Engenheiro de  
Produção

Orientador: Prof. Dr. Hugo T. Y. Yoshizaki

São Paulo  
2008

## FICHA CATALOGRÁFICA

**BRITO, Thiago Barros.**

Modelagem e Simulação de um Terminal Regulador de Contêineres /  
T. B. Brito – São Paulo. 202 pp.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Modelagem 2.Simulação 3.Terminais Multi-Modais

I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de  
Engenharia de Produção II.t.



Aos meus pais, Ênio e Ruth, por 24 anos dedicados a  
minha formação como pessoa e como profissional.

Que sirvam de exemplo para meu futuro.

Aos meus avôs e avós, que começaram tudo e a quem  
muito devo também.

## AGRADECIMENTOS

A todos os amigos, politécnicos ou não, que me ajudaram a transformar esses duros anos de Escola nos melhores anos da minha vida.

Agradecimento especial aos amigos da Engenharia Naval, companheiros das minhas novas descobertas acadêmicas e profissionais.

À equipe da DTA Engenharia scl, que me auxiliou a concluir este trabalho.

Merece também um agradecimento o Dr. Ricardo Ono, pela ajuda providencial.

“- Poderia me dizer, por favor, que caminho devo tomar para sair daqui?

- Isso depende bastante de onde você quer chegar.

- O lugar não me importa muito...

- Então não importa que caminho você vai tomar”

(Lewis Carroll)

## RESUMO

O rápido crescimento da movimentação de contêineres no Brasil contrasta com a intensificação dos problemas logísticos enfrentados pelo Porto de Santos, principal escoador de carga containerizada nacional. O comércio internacional brasileiro corre sério risco de perder competitividade caso um plano logístico emergencial não seja posto em prática.

Esse trabalho tem como objetivo propor a implantação de um Terminal Regulador de Contêineres na região de Cubatão, próxima ao Porto de Santos, através da técnica de Modelagem e Simulação, utilizando software especializado. O terminal em estudo funcionará como um “pulmão” logístico, introduzindo melhorias operacionais que favorecerão ao porto e à própria carga. Trata-se apenas de um pequeno passo frente ao grande problema enfrentado.

Para tanto, foi necessário primeiro tomar conhecimento da extensão do problema e de todas as peculiaridades que envolvem o sistema logístico da Baixada Santista. A partir desse ponto foi possível a construção do modelo, que foi validado em seguida. Com o modelo validado, foram testados diversos cenários, caracterizando as possíveis configurações de operação do terminal. Dentre os cenários simulados, alguns se destacam como possíveis para a operação do terminal regulador.

Palavras chave: Modelagem. Simulação. Terminais multi-modais.

## ABSTRACT

The container handling fast growth in Brazil contrasts with the intensification of the logistics problems faced by the Port of Santos, busiest national container cargo port. Brazilian international trade is under serious risks regarding international competitiveness and urges for an emergency logistics plan to be implemented.

This study objective is to suggest the implementation of a Container Regulating Terminal, in Cubatão, next to the Port to Santos, through the application of Modeling and Simulation technique. The terminal will work as a “logistic lung”, bringing in operational improvements to the port and to the cargo.

It was first necessary to build a solid base of information about the extension of the problem and the Baixada Santista logistic system peculiarities. From this point on, it was possible to build the model that was validated after that. With the validated model, diverse scenarios had been simulated, characterizing most of the possible operational configurations. The operation of the regulating terminal is just possible in some of the simulated scenarios.

Key-words: Modeling. Simulation. Multi-modal terminals.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema dos Subsistemas do Sistema Terminal Regulador.....	23
Figura 2 - Tela de Benedito Calixto, ilustrando os primórdios do Porto de Santos.....	31
Figura 3 – Localização do Porto de Santos em imagem de satélite .....	33
Figura 4 – Mapa rodoviário do acesso ao Porto de Santos.....	34
Figura 5 – Mapa dos acessos ferroviários externos do Porto de Santos.....	34
Figura 6 – Mapa dos acessos ferroviários internos do Porto de Santos .....	35
Figura 7 – Terminal da Santos Brasil no Porto de Santos .....	36
Figura 8 – Localização dos terminais de contêineres no Porto de Santos.....	37
Figura 9 – Fila de caminhões para acesso ao porto.....	39
Figura 10 – Bairros diretamente atingidos pela mancha portuária em Santos .....	40
Figura 11 - Levantamentos batimétricos do canal de acesso do Porto de Santos.....	41
Figura 12 - Localização de retro-áreas na cidade de Santos.....	43
Figura 13 – Esquema das melhorias logística na Baixada.....	44
Figura 14 - Comparação entre um modelo contínuo e discreto .....	52
Figura 15 – Representação das etapas do método científico .....	54
Figura 16 - Passos para um estudo envolvendo simulação.....	54
Figura 17 – Metodologia de Simulação.....	56
Figura 18 - Procedimento de Análise de Sistemas de Simulação .....	57
Figura 19 – Conceitos fundamentais da verificação e validação .....	58
Figura 20 - Operações a partir do Pátio do Perequê.....	76
Figura 21 – Mapa da estrutura ferroviária da Baixada Santista.....	77
Figura 22– Mapa dos corredores aquaviários europeus .....	80
Figura 23 – Alternativas de Traçado da Hidrovia.....	83
Figura 24 – Traçados das rotas rodoviárias, ferroviárias e aquaviária entre o terminal regulador e os terminais de contêiner.....	86
Figura 25 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário .....	90
Figura 26 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário Especializado .....	92
Figura 27 – Barcaça-tipo, com capacidade para 32 contêineres .....	93
Figura 28 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário Especializado .....	95

Figura 29 – Esquema do sistema ferroviário da Baixada Santista .....	98
Figura 30 – Diagrama da Operação do Modal Ferroviário .....	101
Figura 31 – Esquema da distribuição do pátio de contêineres do terminal regulador ..	104
Figura 32 – Exemplo de operação de descarga com um <i>reach stacker</i> .....	105
Figura 33 – Diagrama do Modelo em ARENA da Operação Interna do Modal Rodoviário .....	108
Figura 34 – Histograma da distribuição do intervalo entre chegadas de caminhão.....	110
Figura 35 – Diagrama do Modelo em ARENA das Rotas e Estações Rodoviárias.....	112
Figura 36 – Histograma da chegada de navios ao terminal da Santos Brasil .....	114
Figura 37 – Histograma da chegada de navios ao terminal do Tecondi.....	114
Figura 38 – Histograma da chegada de navios ao terminal da Libra .....	115
Figura 39 – Histograma do tempo médio de atracação dos navios.....	115
Figura 40 – Diagrama do Modelo em ARENA para controle das janelas de tempo de atracação das barcas .....	117
Figura 41 – Diagrama do Modelo em ARENA para controle das rotas e carregamentos/descarregamento das barcas .....	121
Figura 42 – Diagrama da modelagem do modal ferroviário.....	126
Figura 43 – Chegada de caminhões convencionais e controle de entrada no Terminal Regulador.....	182
Figura 44 – Separação dos Processo de Carga e Descarga e Processo de Descarregamento.....	183
Figura 45 – Criação dos caminhões especializados e controle de entrada no Terminal Regulador.....	184
Figura 46 – Processo de descarregamento especial e carregamento especial .....	185
Figura 47 – Processo de carregamento caminhões convencionais e especiais e rota para <i>gate</i> de saída.....	186
Figura 48 – Saída do Terminal Regulador - rotas para os terminais de contêiner e subida da serra.....	187
Figura 49 – Rotas de retorno ao Terminal Regulador e Subida da Serra.....	188
Figura 50 – Geração dos navios contêineres e direcionamento aos terminais do Porto de Santos .....	189
Figura 51 – Chegada aos terminais do Porto de Santos e utilização compartilhada do canal do porto.....	190
Figura 52 – Criação das barcas, processo de carregamento e descarregamento no Terminal Regulador, compartilhamento da hidrovia e rota até o Largo do Carnéu .....	191

Figura 53 – Controle compartilhamento do canal do porto e rota das barcaças até os terminais santistas .....	192
Figura 54 – Rota de retorno das barcaças / Processo de carregamento das barcaças no Terminal Regulador.....	193
Figura 55 – Geração das locomotivas, processo de carregamento e expedição .....	194
Figura 56 – Controle do carregamento das locomotivas / Controle do trecho Piaçaguera/Valongo - Arreais .....	195
Figura 57 – Controle do destino da locomotiva e dos trechos Arreais – Piaçaguera/Valongo.....	196
Figura 58 – Controle do descarregamento nos terminais da margem direita e retorno ao Terminal Regulador.....	197
Figura 59 – Controle do descarregamento nos terminais da margem esquerda e retorno ao Terminal Regulador .....	198
Figura 60 – Controle do trecho Piaçaguera-Barnabé .....	199
Figura 61 – Controle do trecho Barnabé-Conceiçãozinha.....	200
Figura 62 – Controle dos trechos Barnabé-Piaçaguera e Piaçaguera-Arreais .....	201



## **Lista de Gráficos**

Gráfico 1 – Comércio Exterior Brasileiro em US\$ - 2000 - 2007 (SECEX) .....	24
Gráfico 2 – Movimentação de contêineres nos portos brasileiros .....	25
Gráfico 3 – Participação das Regiões na Movimentação de Contêineres em 2007 .....	25
Gráfico 4 – Participação do Porto de Santos no cenário nacional 1997-2007.....	26
Gráfico 5 – Capacidade Total da Frota Mundial de Navios (MTEUs) por intervalo de tamanho dos navios (TEUs) (Containership-Info).....	42
Gráfico 6 - Volume Médio Diário (VMD) dos caminhões que chegam a Santos, mês a mês .....	72
Gráfico 7 - Volume Médio Diário (VMD) de caminhões de contêiner que chegam a Santos, durante os dias da semana .....	73
Gráfico 8 - Volume Médio Diário (VMD) de caminhões de contêiner que chegam a Santos, durante os períodos do dia .....	74

## Lista de Tabelas

Tabela 1- Tabela de avaliação da <i>Hinterland</i> dos portos nacionais.....	28
Tabela 2- Tabela de avaliação da <i>Vorland</i> dos portos nacionais .....	28
Tabela 3- Tabela de avaliação da <i>Umland</i> dos portos nacionais .....	29
Tabela 4- Tabela de relacionamento <i>Hinterland x Vorland x Umland</i> dos portos nacionais .....	29
Tabela 5 – Resumo das áreas primárias para contêineres no Porto de Santos.....	37
Tabela 6 – Proporção área primária por berço nos terminais de contêineres do Porto de Santos .....	42
Tabela 7 – Número de retro-áreas e área ocupada na região do Porto de Santos .....	43
Tabela 8 – Lista de Softwares de Simulação .....	66
Tabela 9 – Elementos essenciais para avaliação de um software de simulação .....	67
Tabela 10 - Quantidade de caminhões que chegam ao Porto de Santos .....	70
Tabela 11 - Distribuição proporcional dos caminhões que chegam ao Porto de Santos por suas margens diariamente .....	70
Tabela 12 - Volume Médio Diário (VMD) dos caminhões que chegam diariamente ao Porto de Santos por tipo e por margem .....	71
Tabela 13 - Índice de Sazonalidade da chegada de caminhões ao Porto de Santos.....	71
Tabela 14 - Chegada de caminhões de contêiner no Porto de Santos através do Sistema Anchieta-Imigrantes .....	72
Tabela 15- Capacidade Estática dos Pátios da Baixada .....	78
Tabela 16- Movimentação por via ferroviária no Porto de Santos em 2007 .....	79
Tabela 17 - Movimentação Geral de Contêineres no Porto de Santos - Janeiro-Agosto/2007.....	79
Tabela 18- Custos Operacionais dos Modais em US\$/mil toneladas-km .....	81
Tabela 19- Custos Indiretos dos Modais em US\$/mil toneladas-km .....	81
Tabela 20- Custos Totais dos Modais em US\$/mil toneladas-km .....	82
Tabela 21- Distâncias entre o Terminal Regulador e os Terminais de Contêiner .....	87
Tabela 22- Determinação da Capacidade Estática do Terminal Regulador .....	88
Tabela 23 – Índice de Sazonalidade Mensal (ISM) .....	109
Tabela 24 – Índice de Sazonalidade Semanal (ISS).....	109
Tabela 25 – Índice de Sazonalidade Diário (ISD) .....	110

Tabela 26 – Cálculo do tempo de percurso rodoviário entre o terminal regulador e os terminais de contêiner.....	113
Tabela 27 – Dados rota aquaviária Entrada/Saída do Porto – Terminais de Contêiner .....	116
Tabela 28 – Dados rota aquaviária Cais Terminal Regulador – Largo Carnéu.....	119
Tabela 29 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Santos Brasil .....	119
Tabela 30 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Libra .....	119
Tabela 31 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Tecondi.....	120
Tabela 32 – Movimentação anual de composições para a margem direita .....	122
Tabela 33 – Movimentação anual de composições para a margem esquerda .....	122
Tabela 34 – Tempos das rotas ferroviária até o Terminal da Santos Brasil .....	124
Tabela 35 – Tempos das rotas ferroviária até o Terminal Tecondi.....	124

## Sumário

1	Introdução .....	19
2	Objetivos .....	21
3	Cenário do Problema .....	24
3.1	Cenário da movimentação de contêineres.....	24
3.1.1	Movimentação de Contêineres no Brasil.....	24
3.1.2	Distribuição Territorial da Movimentação de Contêineres .....	25
3.2	Caracterização do Porto de Santos como um Hub Port nacional .....	26
3.3	Porto de Santos .....	31
3.3.1	Histórico .....	31
3.3.2	Caracterização.....	32
3.3.3	Acessos .....	33
3.3.4	Movimentação de Contêineres em Santos.....	35
3.3.5	Problemas Logísticos do Porto de Santos .....	38
4	Justificativa da implantação de um Terminal Regulador de Cargas na Região do Porto de Santos.....	44
4.1.1	Função de um Terminal Regulador de Carga .....	45
5	Revisão Bibliográfica .....	47
5.1	Conceitos .....	47
5.1.1	Simulação .....	47
5.1.2	Sistemas .....	50
5.1.3	Modelo e Modelagem.....	51
5.2	Método Científico .....	53
5.2.1	Método da Simulação.....	54
5.3	Verificação e Validação do Modelo .....	58
5.4	Tipos de Estudos de Terminais Logísticos.....	59
5.4.1	Simulação em Terminais de Contêiner .....	61
5.5	Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica .....	63
6	Escolha de um software de simulação .....	65

6.1	Características gerais dos softwares.....	67
7	Caracterização do Sistema Multimodal da Baixada Santista.....	69
7.1	Modal Rodoviário .....	69
7.1.1	Demanda Atual .....	70
7.2	Modal Ferroviário .....	74
7.2.1	Operação Ferroviária na Baixada Santista.....	74
7.2.2	Características da Linha Férrea na Baixada.....	77
7.2.3	Propostas de Melhoria .....	78
7.2.4	Demanda Atual do Modal Ferroviário .....	79
7.3	Modal Aquaviário .....	80
7.3.1	A Hidrovia e o Porto de Santos.....	82
8	Descrição da Operação do Terminal .....	84
8.1	Considerações.....	84
8.2	Localização do Terminal.....	85
8.3	Capacidade do Terminal.....	87
8.4	Operação do Modal Rodoviária.....	88
8.5	Operação do Modal Aquaviário.....	93
8.6	Operação Ferroviária.....	96
9	Descrição do Modelo .....	102
9.1	Entidades do Modelo .....	102
9.2	Layout do Terminal.....	103
9.2.1	Equipamentos Internos de Movimentação .....	104
9.3	Modal Rodoviário .....	106
9.3.1	Operação Interna no Terminal Regulador .....	106
9.3.2	Geração de Caminhões e Rotas Rodoviárias .....	109
9.4	Modal Aquaviário .....	113
9.4.1	Geração de navios e janelas de atracação.....	114
9.4.2	Rota das barcas .....	118
9.5	Modal Ferroviário .....	122
9.5.1	Rotas Ferroviárias .....	123

10	Aplicação do Modelo .....	127
10.1	Verificação e Validação do Modelo .....	127
10.2	Resultados .....	127
10.3	Conclusão .....	169
11	Bibliografia.....	171
11.1	Bibliografia Virtual.....	173
12	Anexos .....	175
12.1	Análise de Dados de Entrada.....	176
12.2	Codificação do Modelo no Arena.....	181
12.3	Mapa de Localização Geral e Rotas.....	202

# 1 Introdução

A questão do transporte de carga, assim como o restante dos aspectos referentes ao sistema de transporte na Região Metropolitana da Baixada Santista, é tema constante de abordagens acadêmicas e profissionais. Muitos desses estudos, entretanto, são centrados em questões específicas. Visam identificar, isolar e propor soluções para problemas particulares e pontuais.

Claro, há tentativas na intenção de agregar esforços para elaboração de projetos que deixem de lado a visão pontual dos problemas do sistema de transporte da Baixada Santista e passem a tratá-los como um problema único. A dificuldade é que, a análise do transporte de carga na Baixada Santista como elemento único depende da análise conjunta de aspectos econômicos, institucionais, administrativos, tecnológicos e operacionais, submersos em complexas redes de conflitos de interesses, necessidades diversificadas e limitações competenciais.

Uma dessas tentativas para tentar visualizar de forma mais integrada os problemas logísticos da Baixada Santista é a proposta de implementação de um terminal regulador de contêineres na região de Cubatão, tema desse trabalho.

A idéia da concepção do terminal é combater os problemas logísticos da região portuária por duas frentes: a primeira, e mais significativa no trabalho, é criando rotas alternativas multimodais, oferecendo, dentro do próprio terminal, transferência inter e intramodal de carga, com o recebimento de carga (contêineres, no caso) de caminhões que a princípio desceriam até os terminais do Porto de Santos, e oferecimento, a partir do terminal, possibilidade de expedição dessa carga via modal ferroviário, aquaviário ou rodoviário. Há, portanto, o esforço deliberado para o desenvolvimento da multimodalidade na região do Porto de Santos, tão dependente atualmente do modal rodoviário - a exemplo de todo o Brasil, e vítima dos efeitos colaterais provocados pela conciliação dessa dependência com a falta de elementos de planejamento urbano.

A segunda frente tem como objetivo proporcionar ganhos territoriais ao Porto de Santos. Com a grande maioria de seus terminais afogados, sem disponibilidade de espaço físico que possibilite uma operação logística eficiente, o Porto de Santos, em eterna e intensa luta contra o ambiente urbano dos municípios que o cercam, busca,

desesperadamente por novas áreas para armazenagem. A intenção do terminal regulador é também servir como espaço intermediário de armazenagem aos terminais de contêiner de Santos, criando um “pulmão” e contribuindo com a manutenção da área contígua ao cais como área de estocagem rápida.

Ressalta-se que esse trabalho não quer ostentar qualquer alcunha de “integrador da visualização do problema do transporte de carga”. As limitações das idéias propostas aqui são óbvias. Primeiro por que as propostas de para desenvolvimento da intermodalidade apresentadas no trabalho, apesar de absolutamente viáveis, esbarram em barreiras de difícil transposição ligadas a questões econômicas, políticas e financeiras. Depois, porque propõe uma alteração do atual equilíbrio da movimentação de carga na Baixada Santista, com a inserção de elementos inovadores no cenário e, como de costume, qualquer ruptura ou quebra de paradigma é elemento de alta resistência, principalmente para a cultura logística brasileira. Enfim, vale enfatizar que o trabalho aqui realizado é pequeno perto do imenso caminho a percorrer para a solução dos problemas logísticos da Baixada Santista.



## 2 Objetivos

O escopo do trabalho é apresentar uma modelagem válida, a ser desenvolvida em software especializado, de um terminal regulador para contêineres localizado em Cubatão, na região da Baixada Santista, cuja função é servir como terminal de apoio aos terminais de contêiner do Porto de Santos, oferecendo novas possibilidades logísticas ao porto. A conclusão da modelagem permitirá, novamente com o auxílio de software especializado, sua simulação.

A simulação do modelo tem como objetivo a obtenção de respostas que permitam estabelecer uma boa configuração para o terminal regulador. Serão analisadas variáveis como a quantidade de contêineres movimentados por ano, a utilização do pátio estático, o percentual movimentado por cada tipo de modal (rodoviário, ferroviário e aquaviário) até o Porto de Santos, o dimensionamento e utilização dos equipamentos internos de movimentação de contêineres, o dimensionamento e movimentação dos recursos referentes aos modais em estudo, as filas para carregamento e descarregamento no terminal, etc., e outros pontos mais, que certamente surgirão pelo caminho.

Optou-se pela escolha da técnica de modelagem e simulação para análise do problema proposto, uma vez que os sistemas logísticos como o terminal proposto, de uma forma geral, são sistemas dinâmicos e complexos, envolvendo diversos elementos interagindo entre si e influenciados por efeitos de natureza aleatória. Situações como esta impõem sérias dificuldades para um estudo analítico do problema, tornando a técnica de modelagem e simulação computacional uma forte aliada, senão a única, para o projeto e a análise de sistemas logísticos.

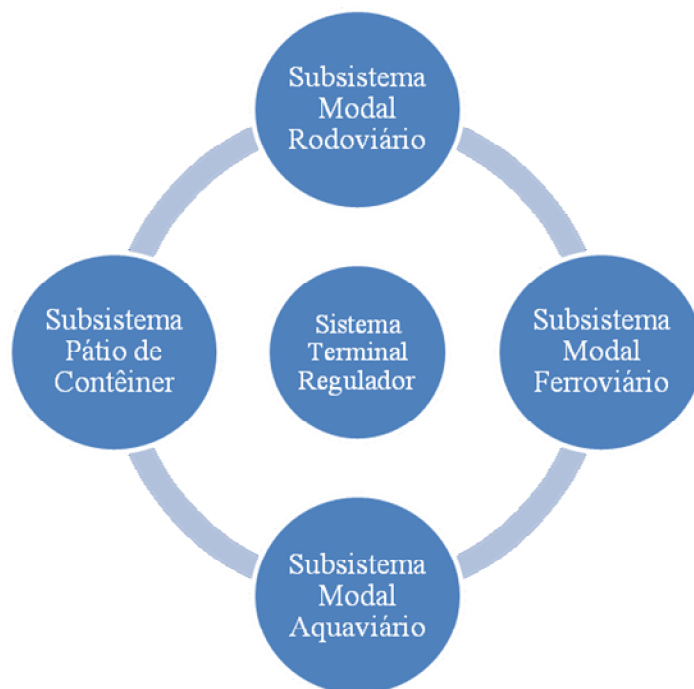
Definido o método, há que se defrontar com as suas demandas. O processo de modelagem e simulação tem como pré-requisito fundamental, a necessidade de uma ótima compreensão do problema em estudo. É preciso, além do conhecimento, uma percepção crítica dos elementos que são realmente necessários à confecção do modelo. Um modelo deve ser a representação de um sistema real, mas há necessidade prévia de estipular quais são as partes e características suficientes do sistema real a serem modeladas para que o resultado desejado seja atingido.

A idéia do trabalho é revestir o problema com informações que traduzam seu conhecimento adequado. Essa proposta vai além da necessidade pura de acúmulo de conhecimento sobre o problema, e, como já ressaltado, tem sua atenção sobre a obtenção de informações que serão úteis à construção do modelo. Para concretização do proposto, a escolha, no desenvolvimento do trabalho, é buscar a aplicação do enfoque sistêmico, levando à consideração das seguintes etapas de desenvolvimento (Gualda,1995):

1. Identificação do sistema, do ambiente em que está inserido, de seus componentes, dos seus objetivos, dos recursos disponíveis e aspectos inerentes;
2. Formulação do problema;
3. Geração de alternativas para solução do problema;
4. Avaliação das alternativas geradas.

A etapa 1 é iniciada com a análise do ambiente em que o problema está inserido, apresentada no Capítulo 3 do trabalho. As considerações primárias do capítulo são feitas sobre o cenário nacional de movimentação de contêineres, momento em que surge com destaque o Porto de Santos. Sua importância e avaliação de sua potencialidade de desenvolvimento também são apresentadas, o consolidado como o principal porto do país. Passa-se então a uma exposição das características logísticas e operacionais de Santos. O capítulo é encerrado com a exposição dos principais problemas logísticos do porto, dando margem à apresentação do projeto do terminal regulador de contêiner, que tem sua justificativa e função discutidas no Capítulo 4.

Ainda na etapa 1, a identificação do sistema em estudo, seus submodelos, componentes e recursos, feita considerando-se a intermodalidade como característica principal do modelo, segue o esquema abaixo:



**Figura 1 – Esquema dos Subsistemas do Sistema Terminal Regulador**

A partir dessa definição, são apresentada nos capítulos 7 e 8 a caracterização do sistema maior em que o sistema Terminal Regulador está envolvido e é apresentada a operação de cada um de seus subsistemas.

A etapa 2 corresponde, no caso, à elaboração do modelo computacional propriamente dito, com a utilização de software especializado, apresentado com detalhes no Capítulo 9e no Anexo 12.2.

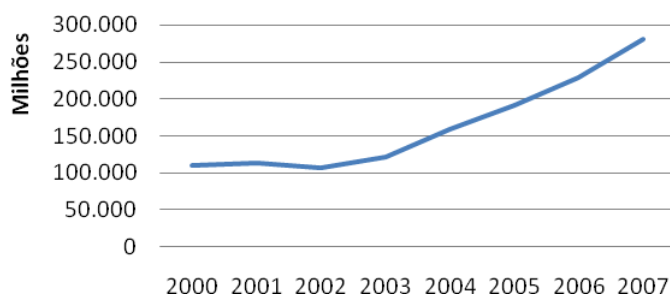
Com a construção do modelo e conclusão da etapa 2, é possível a execução de rodadas e criação de tantos cenários, ou alternativas, quantos forem necessários, o que compreende à etapa 3 do enfoque sistêmico proposto. Os cenários propostos são apresentados no Capítulo 10, juntamente com suas avaliações. Encerra-se assim o ciclo do enfoque sistêmico proposto para elaboração do trabalho.

### 3 Cenário do Problema

#### 3.1 Cenário da movimentação de contêineres

##### 3.1.1 Movimentação de Contêineres no Brasil

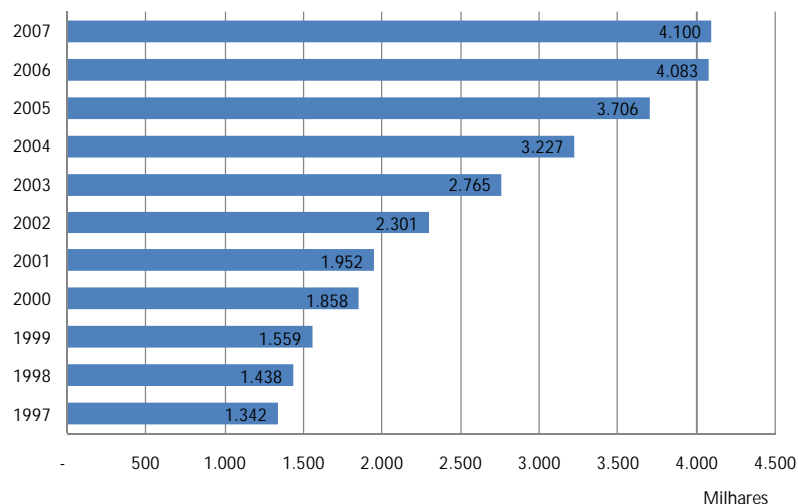
A movimentação de contêineres no Brasil, principalmente a partir de 1993, com sanção da Lei dos Portos (Lei 8.630), atravessa uma fase de crescimento acentuado. Com a Lei dos Portos iniciou-se um vasto processo de modernização do sistema portuário brasileiro, com a permissão da exploração de terminais ao setor privado sob o regime de concessões. Associado a esse fato, há ainda a expressiva expansão experimentada pelo comércio exterior nacional na última década, que tem as atividades portuárias e marítimas como imprescindíveis à sua realização, afinal, mais de 95% do comércio exterior brasileiro é realizado através de nossos portos públicos e privados.



**Gráfico 1 – Comércio Exterior Brasileiro em US\$ - 2000 - 2007 (SECEX)**

O Brasil é reconhecido mundialmente por sua vocação comercial para graneéis, líquidos e sólidos. Todavia, o fenômeno mundial da containerização de carga atingiu expressivamente o comércio brasileiro, principalmente nos últimos 15 anos.

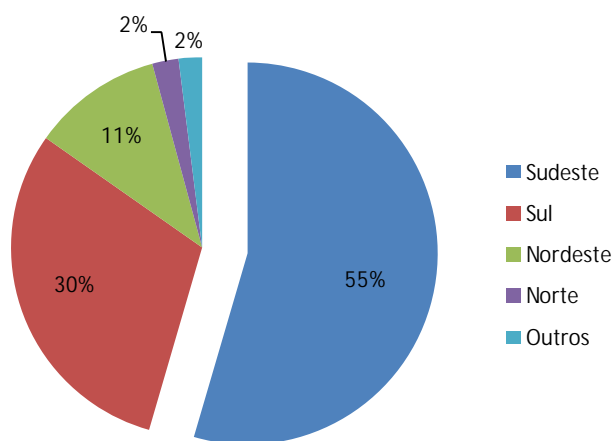
Entre os anos de 1997 e 2007 houve crescimento da movimentação de contêineres a uma taxa média anual de 11,8%. O balanço da movimentação de contêineres no ano de 2007, segundo dados da Associação Brasileira de Terminais de Contêiner (ABRATEC), atingiu o patamar de 4.099.885 unidades. A evolução na movimentação de contêineres nos portos nacionais pode ser observada no gráfico abaixo:



**Gráfico 2 – Movimentação de contêineres nos portos brasileiros (milhares de unidades)**  
(ABRATEC)

### 3.1.2 Distribuição Territorial da Movimentação de Contêineres

Apesar do cenário otimista de crescimento nacional, a movimentação de contêineres, como qualquer outra atividade econômica no Brasil, não é realizada de forma homogeneia territorialmente. Em 2007, as 4.099.885 unidades de contêiner movimentadas, foram distribuídas geograficamente da seguinte forma:



**Gráfico 3 – Participação das Regiões na Movimentação de Contêineres em 2007 (ABRATEC)**

A concentração territorial da movimentação de contêineres nas regiões Sudeste e Sul evidencia os pólos de produção e consumo no país. A região Sudeste do Brasil é

responsável por mais da metade da movimentação total nacional, com destaque evidente para o Porto de Santos.

O Porto de Santos é o líder na movimentação de contêineres não apenas se levarmos em conta a região Sudeste, mas também se considerarmos o país inteiro, com volume movimentado na casa de 1,6 milhões de unidades por ano. A participação santista no cenário nacional, no ano de 2007, foi de 39%. Essa estatística vem se mantendo estável ao longo da última década, conforme pode ser observado abaixo, evidenciando a importância do Porto de Santos no cenário da economia nacional.

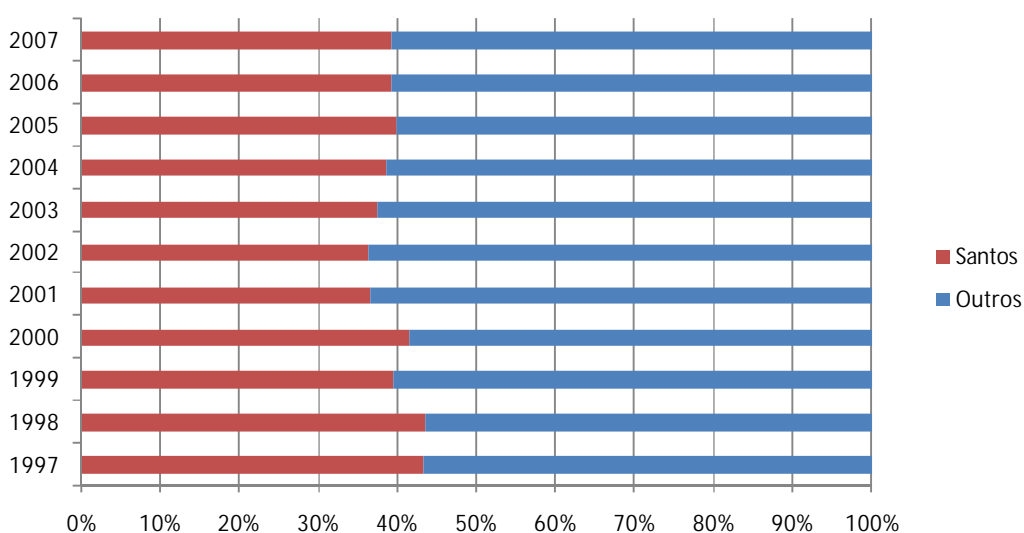


Gráfico 4 – Participação do Porto de Santos no cenário nacional 1997-2007 (em %)

### 3.2 Caracterização do Porto de Santos como um *Hub Port* nacional

A avaliação do cenário nacional de concentração na movimentação de contêineres (Sudeste com 55% e Sul com 30%), nos leva a crer que as Regiões Sul e Sudeste são as mais propensas à implementação de portos concentradores de carga, os chamados *hub ports*.

Um *hub port* é um porto concentrador de cargas e linhas de operação, dotado de excelentes condições operacionais (tecnológicas e físicas), como um amplo acesso marítimo de águas profundas, berços de atracação de calado generoso, modernos equipamentos de movimentação e ampla área de armazenagem. O objetivo principal desse tipo de empreendimento é aproveitar-se da economia de escala na exploração das

embarcações, através de um rateio dos custos fixos, dissipados na carga transportada. Assim, quanto maior a quantidade de carga, mais distribuídos estarão os custos fixos, o que reduz o custo unitário do transporte.

Atualmente não há, nem de longe, qualquer porto no Brasil que detenha as características expostas acima, e permita ser classificado como *hub port*. Há alguns portos concorrentes, dispostos a atingir essa fase de desenvolvimento, o que não é algo tão simples, todavia.

A determinação da potencialidade de um porto tornar-se um *hub port* passa por três fatores: avaliação de sua *hinterland*, de sua *vorland* e de sua *umland*. A *hinterland* de um porto é a área, na direção do continente, sobre a qual ele exerce influência geoeconômica - trata-se do mercado de atuação do porto, onde serão coletadas ou distribuídas cargas, e é dependente de fatores como a integração logística da região, a concorrência e influência de outros portos da região e as condições políticas, financeiras e econômicas da região. O termo *vorland* refere-se ao posicionamento estratégico do porto em relação às rotas de comércio a que o porto serve. Já o termo *umland* remete ao ambiente físico, às instalações portuárias propriamente ditas, às tarifas e qualidade dos serviços prestados.

Uma metodologia própria desenvolvida para a identificação de potenciais candidatos à condição de *hub port* nacional consiste na avaliação dos principais portos do Brasil, espalhados por toda a costa, com a atribuição de pesos aos critérios básicos para a avaliação do *hinterland*, do *vorland* e do *umland* e posterior julgamento (com a imputação de notas entre 1 – péssimo - e 5 - excelente, baseadas na Avaliação do Setor Portuário Nacional, estudo realizado pelo COPPEAD-RJ) de todos os principais portos nacionais. Posteriormente, através do estabelecimento do relacionamento *Hinterland x Vorland x Umland* das notas obtidas por cada porto, determina-se os portos com maior potencialidade concentradora de carga.

A Tabela 1 apresenta as notas obtidas pelos 16 portos considerados, com relação a sua *hinterland* específica, avaliando os seguintes critérios: Nível de Desenvolvimento da Região, Integração Logística do Porto e Custo Logístico do Porto.

Região	Porto	Nível Desenv. da Região	Integração Logística	Custo Logístico	Total
	Peso >	1	1	1	
Norte	Manaus	1	1	2	1,33
	Belém	1	1	1	1,00
Nordeste	Itaqui	2	3	2	2,33
	Pecém	3	4	3	3,33
	Fortaleza	3	2	3	2,67
	Recife	3	2	3	2,67
	Suaape	3	4	4	3,67
	Salvador	3	2	3	2,67
	Vitória	3	2	2	2,33
Sudeste	Rio de Janeiro	5	2	3	3,33
	Sepetiba	4	3	4	3,67
	Santos	5	3	1	3,00
	Paranaguá	4	2	3	3,00
Sul	São Francisco do Sul	3	2	3	2,67
	Itajaí	3	3	3	3,00
	Rio Grande	3	2	3	2,67

**Tabela 1- Tabela de avaliação da *Hinterland* dos portos nacionais**

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos pelos portos avaliados com relação à sua respectiva *vorland*. São avaliados os seguintes critérios: Rotas Internacionais e Rotas de Cabotagem as que o porto em questão serve.

Região	Porto	Rotas Internacionais	Rotas Cabotagem	Total
	Peso >	2	1	
Norte	Manaus	1	3	1,67
	Belém	2	5	3,00
Nordeste	Itaqui	5	3	4,33
	Pecém	3	2	2,67
	Fortaleza	1	1	1,00
	Recife	1	1	1,00
	Suaape	4	3	3,67
	Salvador	1	1	1,00
	Vitória	2	1	1,67
Sudeste	Rio de Janeiro	2	3	2,33
	Sepetiba	4	2	3,33
	Santos	5	4	4,67
	Paranaguá	4	2	3,33
Sul	São Francisco do Sul	2	3	2,33
	Itajaí	2	1	1,67
	Rio Grande	3	1	2,33

**Tabela 2- Tabela de avaliação da *Vorland* dos portos nacionais**

A Tabela 3 representa a avaliação da *umland* dos portos analisados. Foram avaliados critérios referentes à: ambiente físico existente no porto (equipamentos, estrutura física,



calado de atracação e manobra, retro-área primária disponível), tarifário praticado pelo porto e avaliação da qualidade do serviço prestado pelo porto pelos usuários.

Região	Porto	Ambiente Físico				Tarifas	Qualidade Serviço	Total
		Equipamentos	Estrutura	Calado	Retro-Área			
	Peso >	1	1	2	2	2	1	
Norte	Manaus	1	1	5	2	3	3	2,78
	Belém	1	1	1	2	3	2	1,78
Nordeste	Itaqui	2	2	5	2	3	2	2,89
	Pecém	2	3	4	4	4	4	3,67
	Fortaleza	2	2	2	1	3	3	2,11
	Recife	2	3	3	1	3	2	2,33
	Suape	3	3	5	3	3	3	3,44
	Salvador	2	1	2	2	3	3	2,22
Sudeste	Vitória	2	2	1	2	3	2	2,00
	Rio de Janeiro	3	3	3	1	2	2	2,22
	Sepetiba	2	2	5	5	4	4	4,00
	Santos	5	4	3	3	1	3	2,89
	Paranaguá	3	2	3	3	3	3	2,89
Sul	São Francisco do Sul	2	3	2	2	3	2	2,33
	Itajaí	2	3	1	3	4	2	2,56
	Rio Grande	2	2	3	2	3	3	2,56

**Tabela 3- Tabela de avaliação da *Umland* dos portos nacionais**

O resultado final obtido é descrito na tabela abaixo. A última coluna representa a relação entre os três aspectos avaliados (*hinteland x vorland x umland* ).

Região	Porto	Hinterland	Vorland	Umland	Total
Norte	Manaus	1,33	2,78	1,67	6,17
	Belém	1,00	1,78	3,00	5,33
Nordeste	Itaqui	2,33	2,89	4,33	29,21
	Pecém	3,33	3,67	2,67	32,59
	Fortaleza	2,67	2,11	1,00	5,63
	Recife	2,67	2,33	1,00	6,22
	Suape	3,67	3,44	3,67	46,31
	Salvador	2,67	2,22	1,00	5,93
Sudeste	Vitória	2,33	2,00	1,67	7,78
	Rio de Janeiro	3,33	2,22	2,33	17,28
	Sepetiba	3,67	4,00	3,33	48,89
	Santos	3,00	2,89	4,67	40,44
Sul	Paranaguá	3,00	2,89	3,33	28,89
	São Francisco do Sul	2,67	2,33	2,33	14,52
	Itajaí	3,00	2,56	1,67	12,78
	Rio Grande	2,67	2,56	2,33	15,90

**Tabela 4- Tabela de relacionamento *Hinterland x Vorland x Umland* dos portos nacionais**

Temos então três portos que despontam como principais candidatos brasileiros a assumir a condição de *hub ports* nacionais:

- Sepetiba;
- Suape e

- Santos.

Determinar qual dos portos acima irá tornar-se efetivamente um *hub port* nacional depende muito da velocidade de implementação de complexas mudanças específicas a cada um dos três portos, a fim da obtenção de vantagens sobre os portos concorrentes. Entre os três portos propostos acima, diversos fatores pesam a favor de Santos consolidar-se como um *hub port*.

Primeiramente, Santos está diretamente ligado (via ferrovia ou rodovia) a cerca de 55% do PIB nacional, além de estar localizado no estado mais rico da país, que concentra um excelente mercado consumidor.

Em termos de localização, Santos e Sepetiba estão muito próximos um do outro, o que faz com que apenas um deles tenha condições de tornar-se efetivamente um *hub port*, segundo as leis naturais da concorrência. Suape ganha uma pequena vantagem, uma vez que situa-se mais próximo aos grandes mercados europeus e norte-americanos, o que, a princípio, reduziria o custo do comércio marítimo nas trocas com esses mercados.

Mas outra vantagem que pesa enormemente favorável a Santos é a questão histórica. Santos é, e sempre foi, o maior porto nacional, não tendo, de fato, sua posição ameaçada em nenhum momento durante a história. Responsável pelo movimento de 26,4 % de toda balança comercial brasileira, destaca-se na movimentação de café, açúcar, carne, soja, automóveis, suco de laranja, álcool, entre outros, demonstrando sua grande versatilidade.

É evidente, porém, que muitos investimentos precisam ser realizados na região portuária santista e arredor a fim de explorar a sua potencialidade, tais quais: redução dos custos logísticos (custo da inter-modalidade, custo do transporte até o porto, índice de congestionamentos, etc) e operacionais, instalação de serviço de dragagem contínuo para garantia de profundidade suficiente para atracação de navios de grande porte, redução de tarifas, entre outros.

Santos, apesar dos diversos problemas, pode ser considerado como o porto de maior potencial para implantação de um *hub port* na costa brasileira.

### 3.3 Porto de Santos

Tristes tempos aqueles! De velhos pardieiros erigidos em trapiches alfandegados, tortuosas e alquebradas pontes de construção pré-histórica serpenteavam pelo lodaçal até penetrarem algumas braças nas águas turvas da baía .... Os barcos, cuja atracação se apresentava problemática por muito tempo ainda, descarregavam mesmo ao largo, sobre pontões – sorte de velhos cascos aposentados, onde as mercadorias, a troco de grossa armazenagem, jaziam até o dia em que o fisco, cobrando-se das respectivas taxas, permitia seu livre ingresso no território nacional (PDZ do Porto de Santos, 2006)

#### 3.3.1 Histórico

A história do porto de Santos tem início em 1531. Naquela época, o porto não passava de um conjunto de trapiches de madeira, construídos aleatoriamente, de acordo com a necessidade instantânea, e que permitiam apenas a atracação de navios de pequeno porte.



**Figura 2 - Tela de Benedito Calixto, ilustrando os primórdios do Porto de Santos (PDZ do Porto Santos)**

Por mais de três séculos e meio, o Porto de Santos, embora em constante crescimento, manteve padrões estáveis de infra-estrutura, com o mínimo de mecanização e muita exigência de trabalho físico. Além disso, as condições de higiene e salubridade do porto e da zona urbana afetada pelo porto eram altamente comprometidas, propiciando o aparecimento de doenças de caráter epidêmico e prejudicando o desenvolvimento do porto.

Foi somente na metade do século XIX que, pressionadas pelo crescente desenvolvimento da cultura cafeeira no interior do Estado de São Paulo, as autoridades cederam à necessidade urgente de melhorar a infra-estrutura portuária e as condições de escoamento em direção ao porto a fim de facilitar a exportação do café paulista. Em 1867 foi inaugurada a Estrada de Ferro São Paulo Railway, primeira ligação ferroviária com o Porto de Santos, importante marco na história do crescimento do porto.

Em 1888, o Decreto Imperial nº 9.979, autorizou um grupo privado a construir e explorar, por 39 anos, prazo depois ampliado para 90 anos, o Porto de Santos. Com o objetivo de construir um novo porto, os concessionários constituíram a empresa Gaffrée, Guinle & Cia., embrião da Companhia Docas de Santos.

O marco oficial da inauguração do Porto de Santos é o dia 2 de fevereiro de 1892, quando a então Companhia Docas de Santos - CDS, entregou à navegação mundial os primeiros 260 metros de cais na área até hoje denominada de Valongo. Desde então, o porto atravessou com todos os ciclos brasileiros de crescimento econômico, e nunca teve seu processo de crescimento e expansão interrompido. Em 1980, para suceder à CDS, foi criada pelo Governo Federal a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP), uma empresa de economia mista de capital majoritário da União, responsável atual pela administração do porto.

### **3.3.2 Caracterização**

O Porto de Santos está localizado no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro. Distante 65 quilômetros da maior cidade do Brasil, está muito próximo dos distritos industriais da Grande São Paulo e do complexo industrial de Cubatão. O Porto de Santos convive com o meio urbano de duas cidades: Santos, em sua margem direita, e Guarujá, na esquerda.

O porto conta hoje com 13.013 metros acostáveis, com profundidades de canal e berços variando entre 6,6 metros e 13,5 metros. No total são 64 berços de atracação. A área total do porto é de aproximadamente 7.700.000 m<sup>2</sup>, sendo 3.600.00 m<sup>2</sup> na margem direita (na cidade de Santos) e 4.100.000 m<sup>2</sup> na margem esquerda (na cidade do Guarujá).



**Figura 3 – Localização do Porto de Santos em imagem de satélite (Google Earth)**

### **3.3.3 Acessos**

O Porto de Santos é servido por acessos rodoviários, ferroviários, hidroviário e dutoviário.

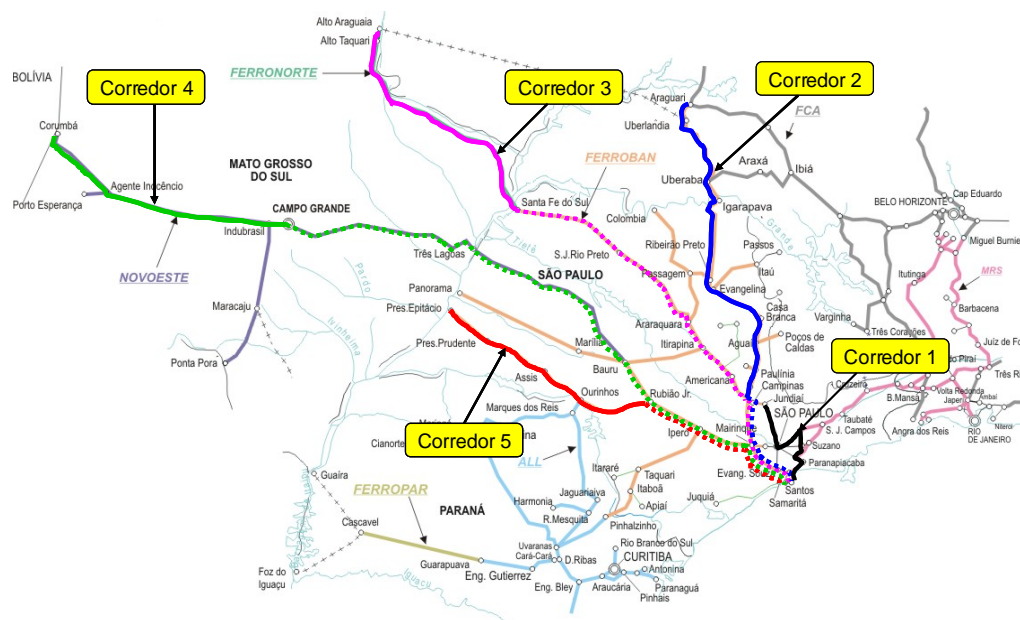
O acesso rodoviário ao porto apresenta diversos ramos que formam um dos mais complexos sistemas rodoviários de acesso do Brasil:

- Rodovia Padre Manoel da Nóbrega (SP-055) – acesso ao litoral sul do Estado de São Paulo e à região Sul do país;
- Rodovia Piaçaguera-Guarujá (Domenico-Rangoni) – ligação entre Cubatão e o Guarujá;
- Sistema Anchieta (SP-150) / Imigrantes (SP-160) – ligação com o Planalto Paulista;
- Rodovia Rio-Santos (BR-101) – ligação com o litoral norte do Estado de São Paulo, e com os portos de São Sebastião, Angra do Reis, Itaguaí e Rio de Janeiro.



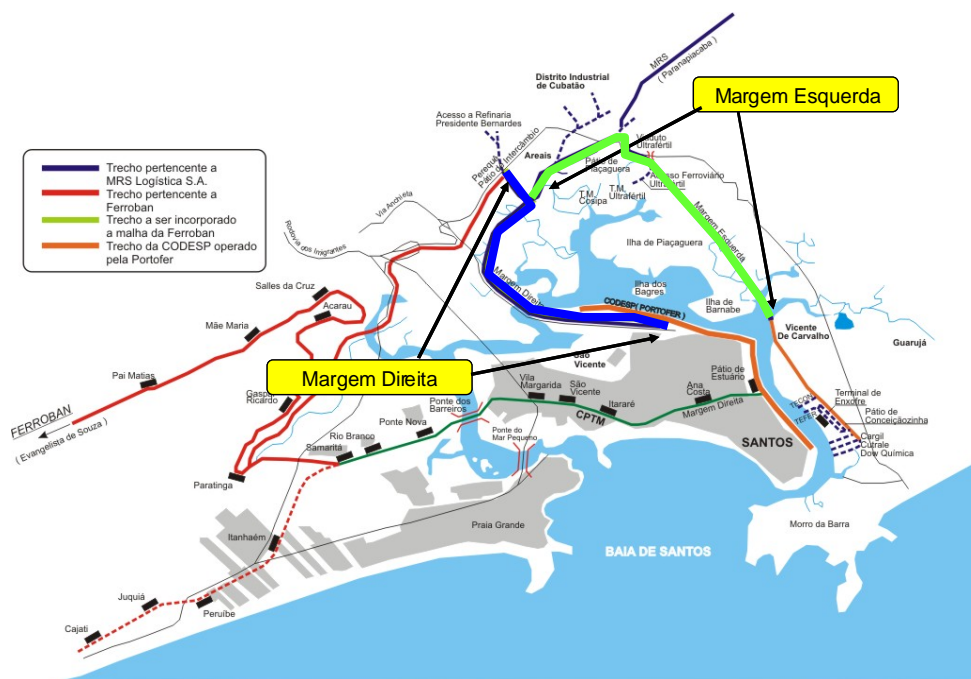
**Figura 4 – Mapa rodoviário do acesso ao Porto de Santos (Google Earth)**

O acesso ferroviário é feito através de cinco corredores férreos, servidos por linhas da Ferronorte, Ferroban, Novoeste, MRS e da Ferrovia Centro-Atlântica (FCA). Já dentro do porto, a concessão da operação da malha ferroviária foi cedida à Portofer, consorcio formado pelas empresas Ferronorte e Ferroban.



**Figura 5 – Mapa dos acessos ferroviários externos do Porto de Santos**





**Figura 6 – Mapa dos acessos ferroviários internos do Porto de Santos**

Em relação ao acesso hidroviário, destaca-se a hidrovia Tiête-Paraná, hoje em situação totalmente inadequada para seu bom aproveitamento. Inserida numa região de 76 milhões de hectares, nos Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, a Hidrovia do Tiête-Paraná integra-se às ferrovias, rodovias e dutovias, formando um sistema multimodal de transportes, que se interligam o Porto de Santos à sua extensa área de influência.

### 3.3.4 Movimentação de Contêineres em Santos

Já foi discutida anteriormente a importância do Porto de Santos no cenário da movimentação de contêineres do país. Vale a pena uma olhada mais cuidadosa para o caso.

Na área do Porto Organizado de Santos estão instalados quatro grandes terminais de contêineres: Santos Brasil, Libra, Tecondi e Rodrimar.

#### a. Santos-Brasil S/A (TECON):

Ü Localização: margem esquerda do estuário (Guarujá)

Ü Área Primária: 484.000 m<sup>2</sup>

- Ü Berços: três berços em 750 metros de cais acostável com calado de 13,5 metros. Dois berços dedicados a movimentação de contêiner. (utiliza também o berço público do TEV com 310 metros de extensão).
- Ü Expansão: expansão prevista em 110.000 m<sup>2</sup> de retro-área e 220 metros de cais.
- Ü Acesso: rodoviário e ferroviário.



**Figura 7 – Terminal da Santos Brasil no Porto de Santos**

**b. Libra Terminais S/A**

- Ü Localização: Ponta da Praia, margem direita (Santos)
- Ü Área Primária: 164.000 m<sup>2</sup>
- Ü Berços: cinco berços em 1.110 metros de cais acostável; dois berços dedicados para contêiner.
- Ü Expansão: expansão da retro-área (fora do porto organizado) em mais 350.000 m<sup>2</sup>.
- Ü Acesso: rodoviário e ferroviário.

**c. Tecondi S/A**

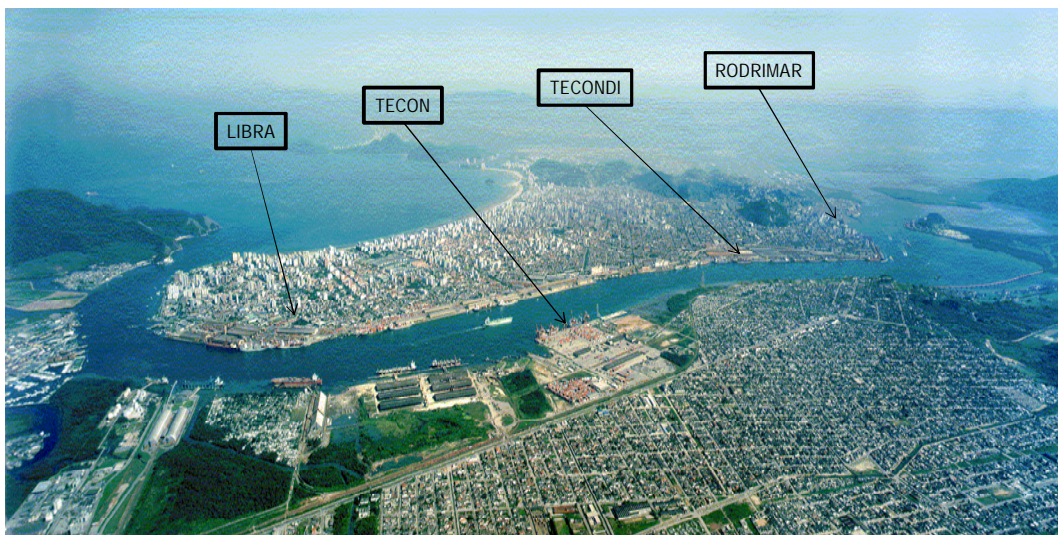
- Ü Localização: Valongo, margem direita (Santos)
- Ü Área Primária: 53.000 m<sup>2</sup>



- Ü Berços: dois berços privativos, somando 380 metros, e dois berços públicos contíguos, somando 400 metros; um berço dedicado a movimentação de contêiner.
- Ü Expansão: Já licenciada a expansão de retro-área primária de 32.000 m<sup>2</sup> de retro-área e 300 metros de berço.
- Ü Acesso: rodoviário e ferroviário.

**d. Rodrimar S/A**

- Ü Localização: Saboó, margem direita (Santos)
- Ü Área Primária: 70.000 m<sup>2</sup>
- Ü Berços: um berço público de 400 metros, com prioridade de atracação.
- Ü Acesso: rodoviário apenas.



**Figura 8 – Localização dos terminais de contêineres no Porto de Santos**

Terminal	Margem	Área Primária (m <sup>2</sup> )	Retro-área (m <sup>2</sup> )
Santos Brasil	Esquerda	484.000	-
Libra	Direita	164.000	335.000 *
Tecondi	Direita	107.000	-
Rodrimar	Direita	70.000	30.000
<b>Total</b>	-	<b>825.000</b>	<b>365.000</b>

**Tabela 5 – Resumo das áreas primárias para contêineres no Porto de Santos**

O terminal da Rodrimar, apresentado aqui, não será incluído no desenvolvimento do modelo de simulação.

### **3.3.4.1 Projetos de Expansão de Movimentação de Contêineres**

Há ainda em fase discussão e planejamento, projetos para implantação de novos terminais de contêineres no Porto de Santos, dos quais podemos citar:

- Terminal de Conceiçãozinha: entre os terminais da Cargil e da Cultrale, próximo a entrada do canal, pode gerar um acréscimo de 412.000 m<sup>2</sup> e 440 metros de cais.
- TECON 4: em área contígua ao terminal da Santos Brasil, representa a incorporação de 103.000 m<sup>2</sup> e 220 metros de berço para movimentação de contêineres.
- Ilha de Barnabé: no estuário de Santos, ao lado da Ilha Barnabé, o projeto prevê capacidade para movimentação de 1.2 milhões de contêineres por ano, além de movimentação adicional de veículos, graneis sólidos e líquidos, em área de 800.000 m<sup>2</sup> e 1,1 quilômetros de cais acostável.

### **3.3.5 Problemas Logísticos do Porto de Santos**

É fato saliente a dificuldade logística que assombra o Porto de Santos, tornando o porto, que seria um esteio, um estorvo para todos os envolvidos nas cadeias logísticas que utilizam o porto como um de seus nós. Entre os principais problemas enfrentados, pode-se citar:

#### **A. Acesso aos terminais**

Quando o acesso ao porto e aos seus terminais não é eficiente, há comprometimento em todas as direções na operação da cadeia logística. A ineficiência do acesso aos terminais pode gerar problemas como o aumento do tempo de ocupação do berço pelos navios, com prejuízo direto também ao tempo de espera dos navios fundeados aguardando atracação ou o aumento da necessidade de estoque de contêineres em pátio (não exclusivamente em pátio, mas ao longo de toda a cadeia logística) na tentativa de manutenção do nível de serviço. Esses tipos de problemas elevam o custo do transporte de carga, elevando, por conseguinte, o custo final do produto transportado, resultando em queda na competitividade da carga movimentada no porto.

O cenário santista apresenta uma precariedade evidente com relação ao acesso ferroviário e rodoviário ao porto. As ferrovias que chegam à Baixada Santista estão pouquíssimo ou nada integradas à malha ferroviária nacional, entre si e a outros modais transportadores. A descida da serra por via ferroviária é pouco aproveitada, e são necessárias diversas melhorias à montante de Santos como, por exemplo, a construção do Ferroanel para o contorno da cidade de São Paulo.

Com relação ao acesso rodoviário, a malha que dá acesso ao porto não é o maior dos problemas. A dificuldade enfrentada pelo modal rodoviário é primordialmente a chegada aos terminais, feita através da malha urbana de Santos e do Guarujá, que não foi projetada ou adaptada para o recebimento de tal demanda de tráfego. Há ainda a questão da falta de posições de estacionamento para carretas. A consequência é criação de enormes filas para acesso aos terminais portuários. Projetos como a Avenida Perimetral Portuária das Margens Esquerda e Direita e o túnel entre interligando as duas margens, embora muito longe da fase de implementação, tem como objetivo redimensionar a capacidade de absorção de tráfego na área urbana afetada pelo porto.



**Figura 9 – Fila de caminhões para acesso ao porto**

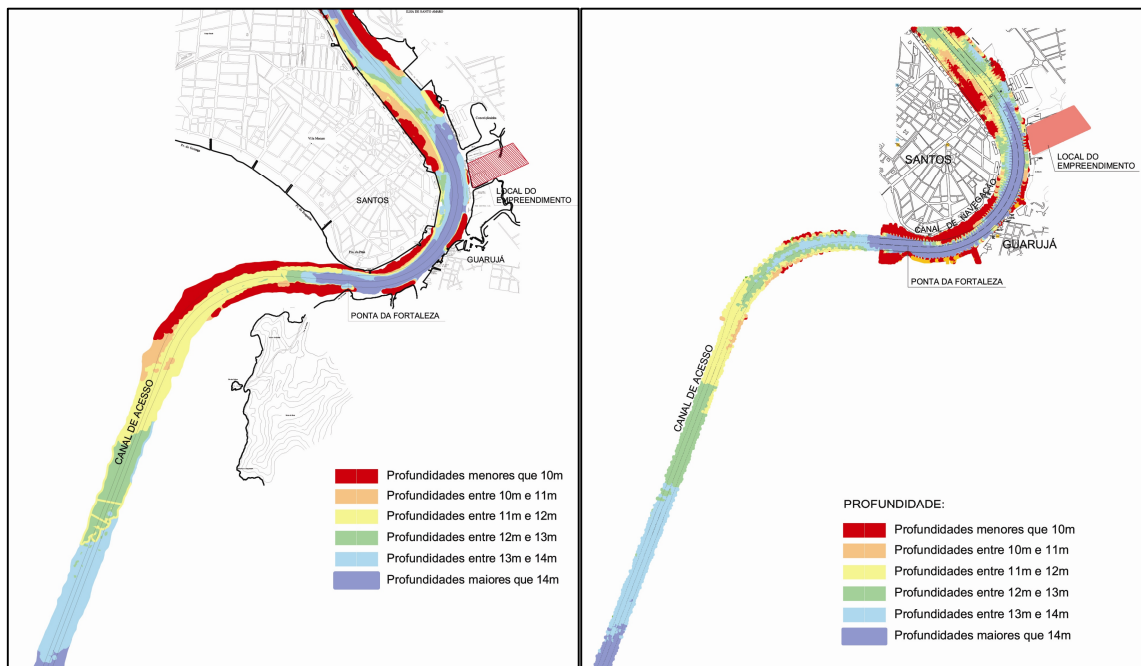
## **B. Relação Porto-Cidade**

A rede em que está incluído o transporte de cargas tem como um de seus pilares a dinâmica do uso e ocupação do solo. A existência do Porto de Santos afeta uma área considerável, alterando a dinâmica de ocupação do solo. Uma vez que, durante o



O canal de acesso ao Porto de Santos tem suas profundidades mantidas pela CODESP através de dragagens periódicas de manutenção, a saber:

- Profundidade de (-14,00) metros D.H.N. no trecho da barra, desde seu início até a região da Ponta da Fortaleza;
- Profundidade de (-13,00) metros D.H.N. ou maior, da Ponta da Fortaleza até o final do canal

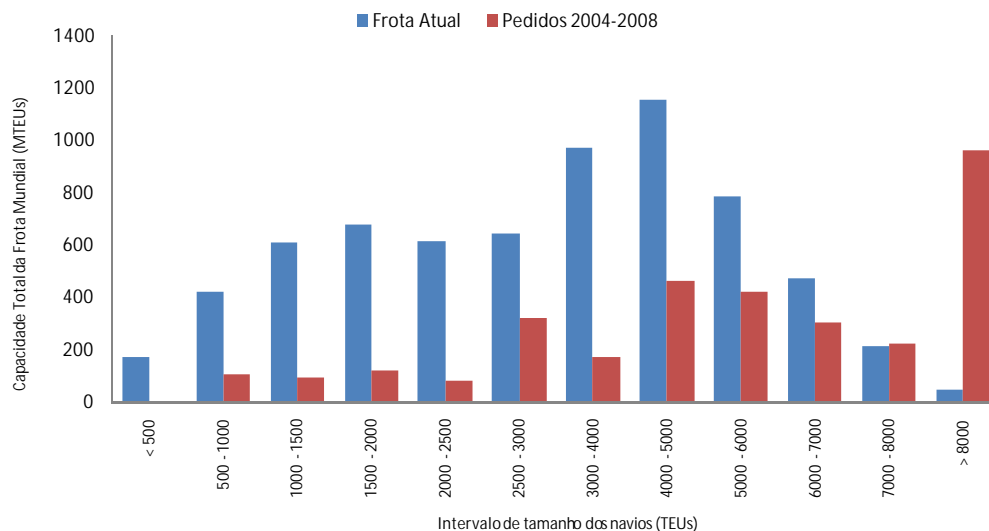


**Figura 11 - Levantamentos batimétricos do canal de acesso do Porto de Santos em 1998 e 2002**

Estas profundidades permitem a operação de navios com calado máximo de até 12,80m, em qualquer nível de maré.

Uma pesquisa simples sobre as características básicas da frota mundial de navios revela um crescimento elevado nos pedidos para construção de navios para contêiner com capacidade para 8 mil TEUs ou mais.





**Gráfico 5 – Capacidade Total da Frota Mundial de Navios (MTEUs) por intervalo de tamanho dos navios (TEUs) (Containership-Info)**

Os navios com 8 mil TEUs ou mais de capacidade têm dimensões mínimas de 300 metros de comprimento, 40 a 50 metros de largura de boca e 14 metros de calado. O Porto de Santos não tem, portanto, condições de atender essa nova frota mundial que cresce em tamanho e capacidade.

#### **D. Disponibilidade de áreas primárias e retro-áreas**

As retro-áreas, ou áreas secundárias, são áreas próximas (não necessariamente contíguas) à área primária do terminal, utilizadas, juntamente com a área primária, para estocagem e movimentação de carga. Os terminais de contêineres da margem direita (Libra, Tecondi e Rodrimar), principalmente, apresentam grande deficiência de área primária. Dados da Associação Brasileira de Terminais de Contêiner (ABRATEC) indicam um valor mínimo de referência, para operação logística adequada, na proporção entre área primária e número de berços de atracação de 140.000 m<sup>2</sup> por berço.

Terminal	Número de Berços	Área Primária (m <sup>2</sup> )	Área/berço (m <sup>2</sup> )	Referência (m <sup>2</sup> )
Santos Brasil	4	484.000	121.000	140.000
Libra	4	164.000	32.800	
Tecondi	3,5	107.000	30.571	
Rodrimar	1	70.000	70.000	

**Tabela 6 – Proporção área primária por berço nos terminais de contêineres do Porto de Santos**

Os dados acima confirmam que os terminais de contêiner da margem direita do Porto de Santos têm uma relação entre área primária e berço menor que 50% da especificada como mínima para um desempenho logístico adequado. Somente a Santos Brasil, localizada na margem esquerda, apresenta uma taxa próxima da referência. O Porto de Santos, em pleno processo de expansão, esbarra na pouca disponibilidade de áreas desocupadas dentro do porto organizado e nos conglomerados urbanos que cercam a região portuária.

Explica-se, dessa maneira, a necessidade de utilização, pelos terminais santistas, de retro-áreas fora do porto organizado como única forma de viabilizar a movimentação adequada de contêineres. A ABRATEC estimou o número e a área ocupada por retro-áreas dos terminais de contêiner na Baixada Santista.

Margem	Número de retro-áreas	Área Ocupada (m <sup>2</sup> )
Direita	30	2.000.000
Esquerda	6	289.000
Total	36	2.289.000

**Tabela 7 – Número de retro-áreas e área ocupada na região do Porto de Santos (ABRATEC)**

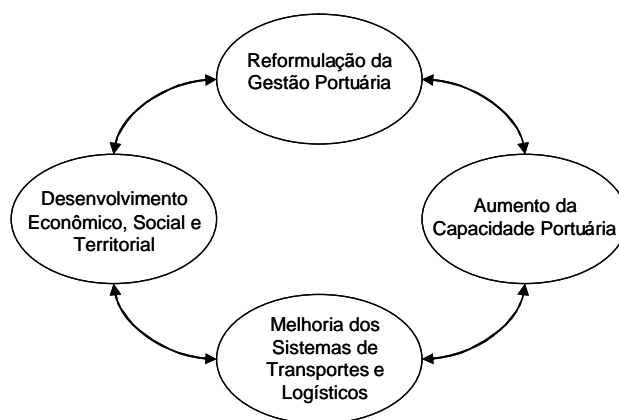
Vale ressaltar que as retro-áreas em questão são operadas por empresas que não são necessariamente as responsáveis pelos terminais a que servem. A figura abaixo, também desenvolvida pela ABRATEC, mostra a existência e localização de retro-áreas na margem direita do Porto de Santos.



**Figura 12 - Localização de retro-áreas na cidade de Santos**

## 4 Justificativa da implantação de um Terminal Regulador de Cargas na Região do Porto de Santos

Como demonstrado, o Porto de Santos constitui o principal vetor de atração de cargas do Estado de São Paulo, estimulando o crescimento econômico e induzindo melhorias nos sistemas logísticos da região e na qualidade do uso e ocupação estratégica do solo no Estado de São Paulo.



**Figura 13 – Esquema das melhorias logística na Baixada (adaptado do Plano Viário Metropolitano da Baixada Santista)**

O estudo de implantação e dimensionamento de um retro-terminal regulador de cargas na região da Baixada Santista apresenta em seu corpo principal três propostas vitais para o conflito logístico da região da Baixada, já discutido no presente trabalho:

- Redimensionamento das retro-áreas e áreas primárias;
- Melhoria da estrutura de acesso aos terminais portuários;
- Redução do conflito área urbana x porto.

O estudo representa um projeto cuja importância não pode ser medida apenas em termos financeiros ou econômicos, mas também em termos estratégicos e referenciais para manutenção do Porto de Santos como o mais importante porto brasileiro, e do Estado de São Paulo como referência de potencial econômico e eficiência.



Correto também é admitir que não há solução simples e única para os principais problemas logísticos de Santos. A implantação de um terminal regulador de carga, como atitude isolada, não será, de maneira alguma, o abrando que necessita o Porto de Santos. É necessário um conjunto de ações, implementadas em ordem lógica, para tornar o Porto de Santos capacitado a atender sua própria necessidade de crescimento. Todavia, o terminal em questão apresenta-se como uma proposta bastante eficaz, razoavelmente simples e de rápida implantação

#### **4.1.1 Função de um Terminal Regulador de Carga**

Um terminal regulador de carga pode ser definido mais facilmente como um pré-porto ou um pulmão. A idéia do terminal é servir como pólo atrativo a caminhões de contêineres, que descem a serra com destino ao Porto de Santos. Ao chegar ao terminal, o caminhão, que originalmente seguiria até Santos, deixa o contêiner, é, possivelmente, carregado e retorna em seguida ao seu local de origem. Dentro do terminal, o contêiner descarregado é posicionado e aguarda para ser transportado até o Porto de Santos através do modal rodoviário (caminhões), ferroviário (vagões) ou aquaviário (barcaças), especializados na operação.

O objetivo do terminal regulador é contribuir para disciplinar o fluxo de caminhões de contêiner que descem ou sobem a serra, principalmente no período de safra, quando a demanda portuária aumenta significativamente. Sua implementação proporcionará a oportunidade da realização de uma triagem e posterior liberação dos contêineres com destino ao Porto de Santos, garantindo mais pontualidade nas chegadas e saídas, facilitando o processo de carga e descarga nos terminais de contêiner. Como consequência desses processos, espera-se obter uma redução geral dos custos logísticos do processo em quase todas as suas fases, com resultados como a redução das filas de espera dos caminhões nos terminais para carga/descarga, a obtenção de maior velocidade no trajeto entre o terminal regulador e porto e, a redução de despesas referentes a atrasos de forma geral como o *demurrage* dos navios, entre outros.

A especialização dos modais citados, que operam entre o pátio regulador e o Porto de Santos, deve ser determinada pela implantação de um moderno sistema de troca de informações e comunicação entre os terminais de contêiner e o terminal regulador. A implantação desse sistema de informação e comunicação é elemento vital para o sucesso

do terminal regulador de carga. Sem ele, o terminal retro-regulador tornar-se-ia apenas mais um entreposto entre o destino/origem da carga e o porto. Apesar do desenvolvimento desse tipo de sistema de informação não ser parte do escopo do presente trabalho, é válido o destaque dos seus principais pontos:

- Monitoramento Remoto de Carga: acompanhamento virtual do embarque e desembarque dos navios, trens, caminhões e barcas para monitoramento remoto da carga;
- Central de Integração Logística: monitoramento contínuo das condições operacionais dos modais de acesso ao porto para controle de descida da carga em direção ao porto;
- Agenda Virtual: agendamento e pré-programação da chegada e transferência de carga entre o terminal regulador e os terminais de contêineres;
- Controle de Abertura ou Fechamento de *Gates*: controla a abertura ou fechamento dos *gates* do terminal regulador, a fim de otimizar a
- Integração Alfandegária: pré-liberação de determinados produtos de exportação;

Além disso, o pátio regulador tem a função de funcionar como um porto seco, aumentando a disponibilidade de retro-área dos terminais santistas, hoje praticamente exaustas.

A implantação do terminal retro-regulador está então, primeiramente, comprometida com a retirada de caminhões do ambiente urbano, mas conseqüências de sua implantação são, entretanto, muito mais extensas.

## 5 Revisão Bibliográfica

Uma vez apresentado o cenário do problema e as justificativas e expectativas da implantação de terminal regulador de carga, resta partir para o seu dimensionamento através do método proposto, de Modelagem e Simulação.

A busca na revisão bibliográfica é esclarecer conceitos que envolvam o desenvolvimento do método proposto, uma vez que pouca ou nenhuma informação, no nível de graduação, é fornecida aos alunos sobre esse método de solução de problemas de elevada complexidade. A revisão bibliográfica foca também, no seu final, em publicações que abrangem os diversos tipos de estudo sobre terminais portuários, conceituando a Modelagem e Simulação como um dos principais e mais úteis tipos de soluções disponíveis.

### 5.1 Conceitos

#### 5.1.1 Simulação

Se desejamos entender o significado do termo *Simulação*, basta realizarmos uma investigação simples da etimologia do termo. De origem latina, o vocábulo *simulationis* foi usado pela primeira vez por Cícero, o mais importante orador romano, como sinônimo de fingimento, ficção, dissimulação. Também Plínio, outra importante figura romana, utilizou-se do termo, sob o significado de semelhança, imitação.

Simulação nada mais é então do que a tentativa de imitar o comportamento de algo ou alguma coisa. No contexto do presente trabalho, podemos definir simulação como uma vasta coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento de um sistema do mundo real.

São diversas as definições de simulação. Schriber (1974), personagem principal no desenvolvimento do GPSS (General Purpose Simulation System) – primeira linguagem computacional comercial voltada à simulação de sistemas – e considerado por muitos como o pai da simulação computacional, diz que:

*Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo.* (SCHRIBER, 1974)

Shannon (1975), outro importante autor do tema, diz ainda:

*....(modelagem) é um processo de elaboração de um modelo de um sistema real (ou hipotético) e a condução de experimentos com a finalidade de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação.*

(SHANNON, 1975)

A simulação então, como processo anterior à implementação do sistema, permite a aceleração dessa etapa, uma vez que é capaz de prever falhas que só ocorreriam quando o sistema fosse implementado efetivamente. Além de uma economia temporal, a simulação permite também então uma poupança generosa de recursos financeiros que, não havendo sido desenvolvida a simulação, seriam despendidos de maneira indesejável. As técnicas de simulação permitem assim interferência, direta ou indiretamente, sobre diversas atividades do sistema, tais quais: identificação de gargalos, determinação da capacidade instalada, remodelagem de operações, realocação de recursos temporais, financeiros ou de processo, balanceamentos de equipamentos, etc.

Hoje no mundo a simulação virou sinônimo de “simulação computacional”. Trata-se de fenômeno perfeitamente dedutível. Afinal, num mundo onde a complexidade dos problemas do dia-a-dia cresce rapidamente – motivada pela escassez cada vez maior de recursos de todos os tipos – associada à sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais e ao crescente poder de processamento das estações de trabalho, nada mais natural do que apelar para a única técnica capaz de verificar ou encaminhar soluções com a profundidade, velocidade e eficiência desejadas. Tanto que Kelton (1998) assim a define:

*...uma gama variada de métodos e aplicações que reproduzem o comportamento de sistemas reais, usualmente utilizando-se de ferramentas computacionais.* (KELTON et al., 1998)

É Pidd (2000) porém que, ao definir simulação, discute também o mérito de sua finalidade. Ao caracterizar a simulação como a construção de um modelo de interesse e a posterior utilização do computador para observação do comportamento desse modelo do sistema sob diversas políticas, fica clara uma das principais funções da técnica de simular. A simulação de modelos permite ao observador (ao analista ou a qualquer

outro) realizar estudos explorando o conceito de análises *what-if*. Isso quer dizer que ele é capaz de responder questões pertinentes ao funcionamento do sistema no cenário atual e como ele poderia vir a funcionar em cenários hipotéticos. “O que aconteceria se...” é a frase que melhor ilustra a finalidade da simulação de um sistema.

A frase é, sem dúvida, o principal apelo do uso dessa ferramenta. A simulação computacional permite então que o sistema seja estudado sem que o sistema real sofra qualquer tipo de perturbação. O analista pode supor a situação que julgar conveniente, seja ela possível ou não, e analisar o comportamento do sistema sob tais circunstâncias. Mais do que isso, permite que os estudos sejam conduzidos sobre sistemas que sequer existem (Freitas, 2001).

Assim podemos definir como principais funções da técnica da simulação:

- § Analisar um novo sistema antes de sua implantação;
- § Melhorar a operação de um sistema já existente;
- § Compreender melhor o funcionamento de um sistema já existente;
- § Comparar resultados de situações hipotéticas (análises *what-if*).

E as principais razões para sua utilização (Freitas, 2001):

- § O sistema real ainda não existe (a simulação é usada como uma ferramenta de planejamento para o futuro);
- § Experimentar com o sistema real é dispendioso (utiliza-se a simulação para que se evite gastos desnecessários com paradas e/ou modificações no *modus operandis* do sistema);
- § Experimentar com o sistema real não é adequado (ao utilizar-se a simulação, determinado sistema – como, por exemplo, um incêndio em um prédio – não precisa ser executado, evitando grandes transtornos).

Cellier (1991) é bastante enfático ao tratar a simulação como única técnica disponível (além da experimentação com o sistema real) da análise do comportamento arbitrário dos sistemas. As técnicas analíticas, segundo Cellier, são válidas, porém as diversas simplificações a que o sistema será submetido nem sempre são justificáveis e terminam por vezes terminam por desconfigurar a realidade sistema.

Trabalha-se até aqui com uma relação natural existente entre os conceitos de simulação, sistemas e modelos. São conceitos inseparáveis que exigem porém uma definição individual bastante clara para evitar um possível atabalhoamento dos termos.

### 5.1.2 Sistemas

Uma das definições mais antigas de sistemas remete a Taylor (1970).

*...um sistema é um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, por exemplo, que atuam e interagem com a intenção de alcançar um objetivo ou um propósito lógico.*(TAYLOR, 1970)

A posição de Taylor (1970) é basicamente igual à de Forrester (1968):

*....um sistema é um agrupamento de partes que operam juntas, visando um objetivo em comum.* (FORRESTER, 1968)

Nota-se que não é tarefa das mais difíceis definir o que é um sistema. Os sistemas são compostos por: entidades, atributos, atividades, estados e eventos, que interagem com o fim de um objetivo lógico. Basicamente, e seguindo o proposto por Bennet (1995), definimos cada um dos componentes de um sistema da seguinte forma :

- entidades são objetos de interesse do sistema, que necessitam de uma definição individualizada clara;
- atributos são as propriedades das entidades, que as definem totalmente. Assim, as entidades são diferenciadas por seus atributos. Além disso, alguns atributos em particular possibilitam que sejam geradas estatísticas importantes para a observação do sistema;
- atividades são ações com duração determinada, iniciadas pela ocorrência de algum tipo de evento;
- eventos são acontecimentos (que podem ter sua duração constante ou estatística) que modificam, de alguma forma, as propriedades do sistema, modificando assim seu estado.
- estado de um sistema é o conjunto de informações (variáveis, etc) capazes de definir a situação do sistema durante o tempo.

Normalmente, trata-se um sistema isoladamente do resto do universo, o que facilita muito seu estudo e entendimento. Porém, nunca deve-se descartar sua relação com o ambiente externo visto que a maioria absoluta dos sistema é afetada por mudanças ocorridas fora dele e descartá-las traria certamente consequências ao modelo do sistema. (Watanabe e Fuji, 2002)

### 5.1.3 Modelo e Modelagem

Uma etapa fundamental do processo de simulação de um sistema é a construção de um modelo. Um modelo nada mais é do que a representação de algo real (Gualda, 1995). Trata-se de uma abstração, de uma representação simplificada de um sistema real.

*Um **modelo** pode ser definido como uma representação das relações dos componentes de um **sistema**, sendo considerada como uma abstração, no sentido em que tende a se aproximar do verdadeiro comportamento do sistema* (CHWIF e MEDINA, 2006)

O termo tem origem no vocábulo italiano *modello* (1564), que designa 'protótipo, imagem que se copia em escultura ou pintura, representação em pequena escala do que se quer executar em tamanho maior, o que se deve imitar, pela sua perfeição'. (Houassis, 2005)

Assim, admite-se que o processo de modelagem é um processo de criação e descrição, que usualmente toma o rumo matemático e lógico.

Por se tratar então de uma simplificação da realidade, um modelo deve conter somente as características fundamentais para capturar aquilo que é essencial ao sistema em estudo, dispensando tudo aquilo que não é determinante na caracterização do sistema.

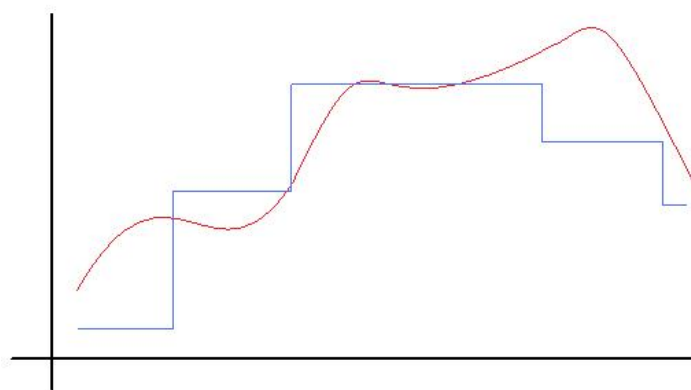
Um modelo pode ser classificado de diversas formas:

#### § Estático x Dinâmico

Nos modelos dinâmicos, o sistema representado comporta-se em função de eventos presentes e passados, enquanto que modelos estáticos só dependem de ocorrências presentes.

## § Discreto x Contínuo

Nos modelos contínuos, as variáveis de estado apresentam uma mudança constante ao longo do tempo. Já nos modelos discretos, as variáveis de estado mantêm-se constantes por determinados períodos de tempo, mudando de valor apenas em pontos específicos do tempo, quando da ocorrência de algum evento.



**Figura 14 - Comparação entre um modelo contínuo e discreto**

## § Determinístico x Estocástico

Trata-se da classificação adotada pelo trabalho-referência de Gualda (1995). Modelos determinísticos são aqueles que não contêm variáveis do tipo aleatórias, ou seja, as variáveis de entrada são conhecidas e conseqüentemente as variáveis de saída serão únicas. Normalmente, utilizam-se para a entrada do modelo valores estatísticos médios. Sua construção é baseada principalmente na Teoria da Programação Linear, da Programação Inteira, da Programação Dinâmica, da Teoria dos Grafos e Fluxos em Redes (Ribeiro, 2003).

Já modelos estocásticos são aqueles que possuem variáveis aleatórias como entrada, o que implica em saídas também aleatórias. A construção desse tipo de modelo utiliza-se de ferramentas como a Teoria dos Processos Estocásticos, dos Jogos, da Fila e da Programação Dinâmica. (Ribeiro, 2003)

Segundo Chwif e Medina (2006), os modelos podem ser basicamente de três tipos:



- § simbólicos: utilizam símbolos gráficos (fluxogramas, DFD, Layouts etc.) e são principalmente utilizados para comunicação, uma vez que não detalham o sistema e não oferecem elementos quantitativos. Além disso, só são eficientes com sistemas estáticos.
- § analíticos: utilizam forte modelagem matemática (Modelos de Programação Linear, Teoria de Filas, etc), mas a complexidade que atinge muitas vezes não permite a busca de soluções rápidas. É limitado na maior parte das vezes para sistemas estáticos.
- § de simulação : é a capaz de representar o comportamento do sistema real com propriedade, além de permitir a análise *what-if*. Também é capaz de capturar a natureza aleatória e dinâmica do sistema, porém sua construção pode ser bastante complexa.

## 5.2 Método Científico

*Método é um conjunto coerente de procedimentos racionais ou prático-rationais que orientam o pensamento para serem alcançados os conhecimentos válidos (LAKATOS E MARCONI, 1983)*

A solução de um problema de simulação, como o que é proposto no trabalho envolve, obrigatoriamente, a adoção de um método científico. O método científico nada mais é do que uma seqüência de etapas, construída da forma racional ou não, cujo objetivo é a leitura, análise e resolução do problema em questão.

*Método é a forma de proceder ao longo de um caminho ... constituem instrumentos básicos que ordenam de início o pensamento em sistemas, traçam de modo ordenado a forma de proceder ... para alcançar um objetivo (LAKATOS E MARKONI, 1983)*

É baseando-se nas definições de Lakatos e Markoni (1983), que Gualda (1995) elabora o diagrama simplificado para da seqüência necessária ao método científico.

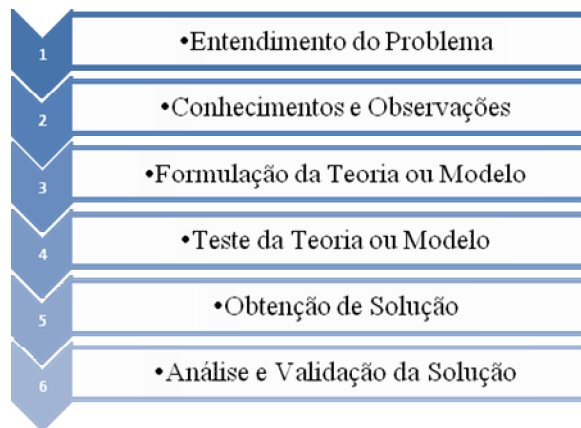


Figura 15 – Representação das etapas do método científico

### 5.2.1 Método da Simulação

A bibliografia clássica sobre o assunto - Banks (1984), Law e Kelton (1991), Pedgen (1990), Kelton e Sadowski (1998) – conduz-nos a construção do seguinte diagrama,

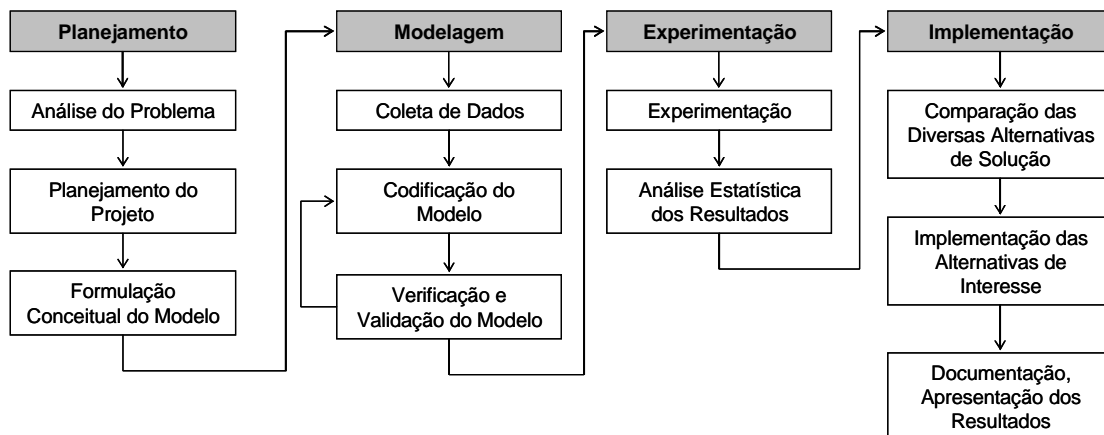


Figura 16 - Passos para um estudo envolvendo simulação baseado em Freitas (2001)

Na fase de planejamento, o primeiro passo é a análise do problema. É necessária uma formulação inicial do problema, que vai contar com a definição dos objetivos do estudo. Em seguida, no planejamento do projeto, define-se o cronograma do projeto, a alocação de recursos na sua execução e o planejamento de custos, aspectos que definem sua viabilidade técnica. No passo seguinte - formulação conceitual do modelo – esboça-se o primeiro modelo do sistema, de forma simbólica ou analítica, e são definidos os

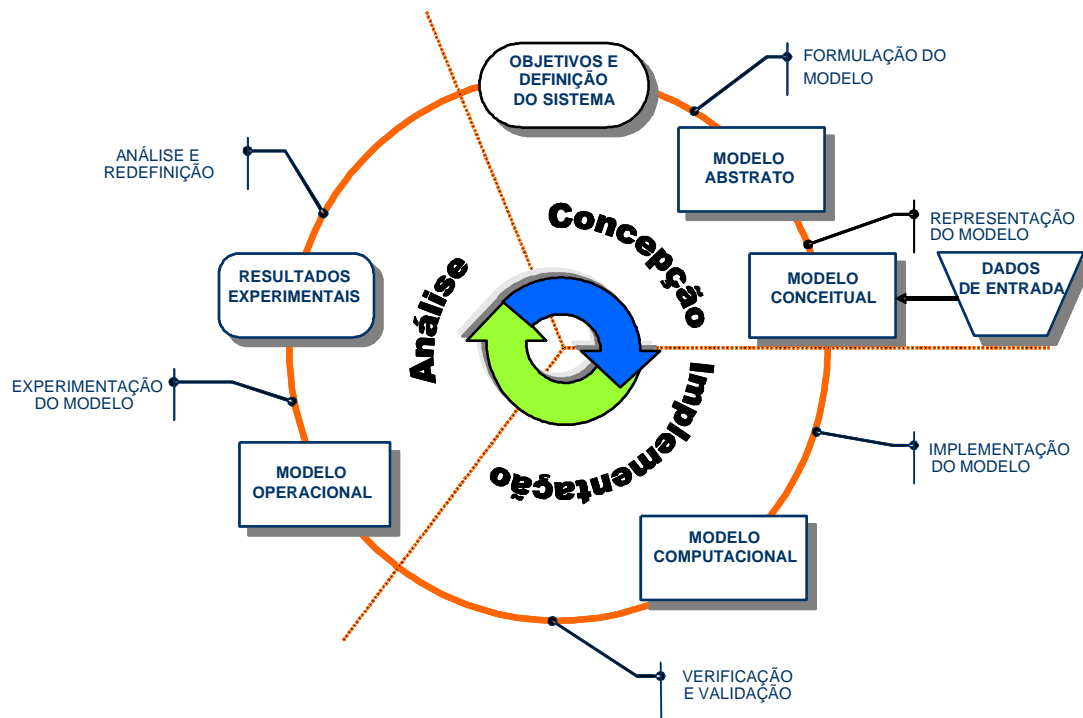
componentes que interessam ao modelo que será proposto, além da estratégia de simulação e nível de detalhamento.

A próxima fase no estudo é a modelagem. Para a concretização de um modelo, é essencial a disponibilidade de informações e estatísticas históricas a respeito das variáveis que foram definidas como interessantes ao modelo. A definição da relação entre essas variáveis também se dá nesse ponto. Passa-se então à codificação do modelo, que nada mais é do que a sua tradução para a linguagem de simulação. Uma vez codificado, o modelo deve receber a confirmação que ele opera de acordo com as expectativas, gerando respostas confiáveis e depositando crédito no estudo. Caso verifique-se a incapacidade do modelo em corresponder às expectativas propostas, retorna-se à etapa de codificação para seu aperfeiçoamento ou mesmo completa reformulação. Esse ciclo é mantido até que a verificação obtenha resultados satisfatórios, e o modelo possa ser assim validado, o que significa que ele é sim capaz de reproduzir o sistema real de forma fiel.

Com o modelo então construído, inicia-se o processo de experimentação. Cria-se um plano de experimentação, baseado na análise *what-if* para cobrir todas as alternativas (ou pelos menos as válidas) para o estudo. Ao executarmos as simulações, são gerados dados que seguirão para posterior análise e julgamento. Traçam-se inferências sobre os resultados alcançados pela simulação, através da análise estatística dos dados.

Ficam assim evidentes para o operador as diferenças existentes entre as diversas alternativas propostas para o sistema. Ele pode então compará-las do modo que bem entender, classificando-as conforme seu próprio critério, escolhendo assim a sua melhor alternativa para implementação.

Outros autores relevantes do tema são Chwif e Medina (2006), que apresentam o seguinte diagrama da metodologia da simulação:



**Figura 17 – Metodologia de Simulação (Chwif (1999))**

O desenvolvimento de um modelo de simulação é dividido em três grandes blocos:

- Concepção do modelo;
- Implementação do modelo;
- Análise dos resultados.

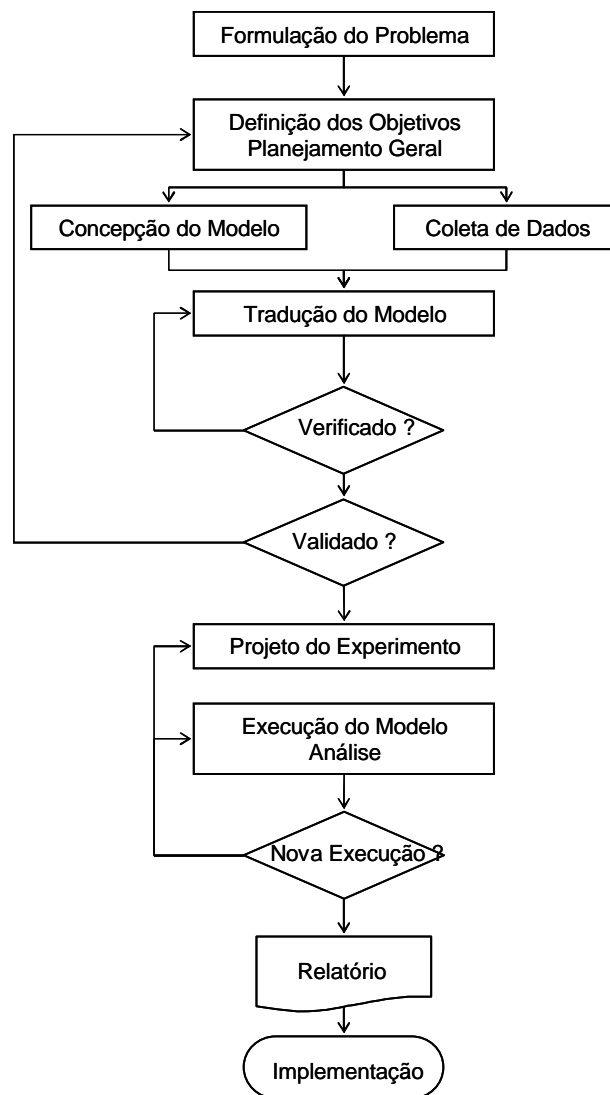
A fase de concepção envolve o entendimento do sistema a ser simulado e dos objetivos da simulação. É nessa etapa que surge também a idéia do modelo conceitual, que irá orientar a busca dos dados de entrada.

A segunda etapa, de implementação, há a conversão do modelo conceitual em modelo computacional, através da utilização de uma linguagem computacional.

Por fim, na terceira etapa, é feita a análise do modelo computacional criado anteriormente, dando origem ao modelo experimental ou operacional. Essa transformação é possível após a observação de resultados gerados pelo modelo computacional e sua validação. A partir dos resultados obtidos pelo modelo experimental, podem ser feitas conclusões e recomendações sobre o sistema em estudo.

É importante salientar que as etapas apresentadas acima não ocorrem de forma linear. Durante a formulação de um estudo de simulação, pode ocorrer interações e realimentações de todos os tipos no processo, o que pode alterar o entendimento do sistema. Segundo Chwif e Medina (1996), a melhor maneira de entender o projeto de simulação é imaginar que o diagrama apresentado acima desenvolver-se de maneira espiral, na sequência apresentada, até que estejam totalmente alinhadas.

Banks (1996) também apresenta uma metodologia para formulação de um estudo de simulação, apresentada no diagrama abaixo. Essencialmente, é muito parecida com as aqui já apresentadas, mas é digna de observação.



**Figura 18 - Procedimento de Análise de Sistemas de Simulação (Banks et al. (1996))**

### 5.3 Verificação e Validação do Modelo

A verificação e validação do estudo de simulação é passo fundamental para o sucesso do modelo. Embora similares, os conceitos de verificação e validação apresentam definições bastante distintas, e receberam observação especial por Chwif e Medina (1996). Segundo os autores, a validação do modelo está ligada à avaliação do modelo conceitual desenvolvido, ou seja, o modelo desenvolvido na fase de concepção do problema, e pode ser resumida pelo questionamento: “Será que estamos desenvolvendo o modelo correto?”

*“a validação de um modelo é realmente muito direta em princípio.. Tudo o que devemos fazer é checar se o modelo comporta-se como o mundo real sob as mesmas condições. Se ele se comporta, então o modelo é válido, caso contrário, não.” (PIDD,2000)*

Já a verificação está sempre ligada com o modelo computacional desenvolvida e pode ser resumida pela pergunta: “Será que estamos desenvolvendo o modelo corretamente?”. Pode-se entender verificar como solucionar os *bugs* do sistema.



**Figura 19 – Conceitos fundamentais da verificação e validação (Chwif e Medina (2006))**

O esquema proposto por Chwif e Medina (2006) resume o conceito de validação e verificação. A validação é o sentido exatamente oposto ao da modelagem e propõe o confronto entre o modelo conceitual e o mundo real. Já a verificação é o processo inverso da implementação do modelo conceitual, contrapondo o modelo conceitual e o modelo computacional. Entre os pontos que merecem destaque, podemos citar:

- nenhum modelo é 100% válido ou verificado; é impossível garantir que o modelo represente de forma absolutamente fiel o problema ou que esteja totalmente livre de *bugs*;
- é possível que determinado modelo tenha sido verificado mas não seja válido, o que reforça a distinção dos dois termos.

Entre as técnicas básicas de verificação enumeradas por Chwif e Medina (2006), podemos citar:

- implementação modular – implementação do modelo em blocos, fazendo a verificação a cada bloco;
- utilização de *debugger* ou depurador – o depurador permite que a simulação corra passo a passo, visualizando o que ocorre naquele momento exato;
- simulação manual;
- animação gráfica;
- revisão em grupo;

Com relação às técnicas básicas de validação, o autor cita:

- duplicação de modelos – confecção de dois modelos em paralelo;
- comparação com modelos anteriores – comparação do modelo desenvolvido com modelos anteriores já validados ou modelos mais simples (teoria de filas, por exemplo)
- análise de sensibilidade – determinar a influência da alteração de cada parâmetro nos resultados obtidos;
- validação “face a face” – validação do modelo por um especialista do processo simulado.

## 5.4 Tipos de Estudos de Terminais Logísticos

A proposta do trabalho – a elaboração de um modelo que permita o dimensionamento eficiente de um terminal de contêineres – não é absolutamente nova. O desafio aqui é a escolha da técnica de simulação como a ferramenta para a elaboração do modelo.

O rol de publicações que dizem respeito à modelagem de sistemas logísticos, especificamente focados nos requisitos operacionais, é vasto, ilustrando a importância do tema. Muitos desses trabalhos porém, são relativamente antigos, quando o poder de processamento das estações de trabalho era débil. Exigiam assim uma simplificação exagerada na constituição do modelo, prejudicando sua correspondência com a realidade.

Em seu trabalho sobre metodologia para o cálculo do número de posições de estacionamento nos pátios de aeroportos, Martinelli (1980) agrupa os trabalhos existentes sobre o tema em três tipos:

- baseados em modelos determinísticos ou empíricos;
- baseados em modelos de simulação de fila;
- baseados em modelos de simulação.

A divisão de Martinelli (1980) encaixa-se adequadamente ao prosseguimento do presente trabalho e coincidem com a classificação de modelos Chwif e Medina (2006), já apresentada aqui. De uma forma geral, todos os três tipos de trabalhos, têm basicamente o mesmo fim: determinar a configuração do sistema (segundo critérios operacionais – qualitativamente e quantitativamente) para atender a demanda (presente ou futura).

Optou-se aqui, no desenvolvimento de um sistema portuário, pela utilização de um modelo baseado em simulação. O uso do modelo de simulação é muitíssimo predileto no caso de estudos que requerem maior detalhamento e cujo objetivo é identificar falhas, gargalos e possíveis pontos de melhorias no sistema, uma vez que as possibilidades para análise de sensibilidade do sistema são milhares.

Darzentas (1996) justifica ainda a escolha da simulação como instrumento ao remeter-se aos elevados custos das operações portuárias e aos vultosos investimentos necessários para sua realização. Assim, torna-se essencial a utilização eficiente dos recursos disponíveis e é, somente a simulação, capaz de lidar simultaneamente com a complexidade do sistema real, traduzindo-o verossimilmente, aliado-a à precisão na determinação da forma mais eficaz de administração das operações.



A maior deficiência que podemos encontrar nos modelos determinísticos é a substituição da distribuição de probabilidades de chegada, atendimento, etc, por um valor estatístico médio. É notável a característica probabilística de boa parte dos processos presente num modelo (principalmente na demanda e no serviço prestado).

É a capacidade de incorporar variabilidade ao modelo computacional o critério vencedor para a escolha da simulação como método de solução do problema. Seria um desleixo não tentar compreender e incorporar ao modelo o comportamento dinâmico e aleatório das variáveis do sistema.

#### **5.4.1 Simulação em Terminais de Contêiner**

A escolha da simulação computacional como método de solução do problema em estudo é correspondente à escolha de diversos autores da mesma área. Fernandes (2001), em seu trabalho sobre a construção de um modelo econômico-operacional para terminais de contêineres, realiza uma pesquisa bastante ampla sobre trabalhos cujo tema envolve simulação em sistemas portuários.

Tondo (1984) desenvolve um modelo de simulação para um terminal de contêineres em GPSS (General Purpose Simulation System) com a finalidade avaliar a eficiência e a utilização desse terminal, identificando os recursos ociosos e limitantes no processo de operação (tais como portêineres, empilhadeiras, caminhões, etc). Ele realiza o estudo porém sem encaminhar, paralelamente, um modelo econômico para o terminal em estudo, o que o impede de avaliar a possibilidade de retorno financeiro das propostas geradas através da identificação dos problemas operacionais. Além disso, a baixa capacidade de processamento computacional da época não permitiu que o modelo construído representasse uma cópia fiel do sistema real, desvirtuando, em termos, o estudo realizado.

Paralelamente, Botter (1984), desenvolve uma modelagem computacional para análise operacional de um porto e avaliação de sua capacidade, através da teoria de filas e de construção de um modelo de simulação utilizando a linguagem GPSS. Em ambos os casos, os objetivos da modelagem foram alcançados, resultando na obtenção de dois modelos computacionais para cálculo da capacidade global. O modelo GPSS porém resultou na obtenção de dados mais próximos à realidade, dadas as simplificações

obrigatórias inerentes à aplicação da teoria das filas. Como no caso de Tondo (1984) descrito acima, o modelo GPSS desenvolvido por Botter (1984) apresentou problemas de processamento, devido à baixa capacidade computacional da época.

Merkuryev, Tolujew e Blumel (1998) privilegiam, na construção de seu modelo, a coleta de dados. Assim, a parametrização e padronização do sistema é seu ponto de destaque. Também o terminal de contêineres foi dividido em diversos módulos, modelos de cada parte específica do terminal, o que gera críticas de outros estudiosos, que alegam que é muito difícil medir a eficiência do sistema como um todo ao adotar-se a divisão proposta.

Nevins, Macal e Love (1998) realizam em seu trabalho um estudo de simulação discreta de terminais de contêineres e veículos. Os autores usaram como trunfo principal do trabalho a visualização da operação através de animações 3D. Evidentemente, torna-se muito mais atrativo acompanhar o processo de simulação, inclusive permitindo que pessoas que não estejam acostumadas com o sistema real consigam entender o que se passa. Fica evidente no trabalho a importância de uma boa interface gráfica, elemento esse que permite uma melhor verificação e acompanhamento do modelo.

Gambardella, Rizzoli e Zaffaloni (1998) trabalham também a modelagem e simulação de um terminal portuário, o fazem porém, juntamente com a utilização de outras técnicas e teorias, para facilitar o processo de tomada de decisão, como programação linear, análise estatística de dados, teoria de filas, etc. Assim, utilizou-se o modelo de simulação para teste cenários. Destaca-se no trabalho a importância da utilização de outras ferramentas aliadas à simulação para que seja possível avaliar um modelo altamente complexo e que conta com a variação de muitos parâmetros simultaneamente.

No estudo de Kondratowicz (1990) constrói-se um modelo de grande qualidade, porém com pouquíssimos recursos visuais. Assim, torna-se praticamente impossível a leigos acompanharem a simulação do sistema. Outro ponto é que o autor opta por construir seu modelo utilizando variáveis determinísticas e não estocásticas, discussão já permeada no presente trabalho.

Lima Júnior (1988) foge um pouco da área portuária, mas apresenta a proposição de uma metodologia para concepção e dimensionamento de terminais multi-modais, buscando a compatibilizar flexibilidade, eficiência operacional e economia financeira.

Fernandes (2001), em sua dissertação de mestrado, realiza um estudo que integra todos os subsistemas de um terminal portuários de contêineres, com ênfase ao dimensionamento de equipamentos e identificação de gargalos. O foco do trabalho é o completo entendimento das operações para sua posterior otimização. Além disso, o autor cria um modelo econômico para avaliar, simultaneamente a viabilidade financeira de cada proposta.

## **5.5 Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica**

As diversas avaliações dos trabalhos realizados sobre terminais de contêiner confirmam a idéia que a utilização das técnicas de modelagem e simulação é realmente a maneira mais eficiente a ser utilizada para a sua solução. Um aspecto a ressaltar é a inexistência de obras que trate o dimensionamento de terminais reguladores especificamente, como o proposto pelo trabalho. Nota-se também que poucos trabalhos, mesmo sobre terminais de contêiner, realizam uma abordagem mais abrangente, com a inclusão de diversos sub-sistemas que compõe o terminal. A maior parte dos trabalhos está preocupada em dimensionar e avaliar sub-sistemas específicos, como berços, acesso, operações internas, etc. O presente trabalho propõe também esse tipo de abordagem mais abrangente, objetivando a construção de um modelo que integre os diversos sistemas modais que servem o terminal.

Além disso, o embasamento obtido através da pesquisa e estudo de obras que tratam sobre os conceitos dos processos de modelagem e simulação, fornece uma base sólida para a continuação da proposta do trabalho.

Reconsiderando o Método de Simulação proposto por Freitas (2001) - Figura 16, esse trabalho propõe o seguimento das próximas etapas:

- Escolha do software de simulação a ser utilizado;
- Avaliação situacional da operação multimodal na Baixada Santista e coleta de dados;

- Caracterização da operação do terminal regulador e sua inserção na operação multimodal da Baixada Santista;
- Formulação do modelo conceitual e coleta de dados;
- Codificação do modelo;
- Verificação e validação do modelo;
- Experimentação e análise dos resultados;

## **6 Escolha de um software de simulação**

Uma vez demonstrada todas as facilidades e benefícios provenientes da utilização da simulação, resta a decisão sobre a escolha da ferramenta de modelagem a ser utilizada. O fenômeno da simulação computacional teve como resultado prático, a crescente disponibilidade de softwares de simulação no mercado. A escolha da ferramenta de simulação adequada depende principalmente da definição das aplicações a que ela será submetida. Essa escolha é importante também financeiramente, uma vez que representa normalmente dispêndios consideráveis para os usuários. Se anteriormente a dificuldade consistia em escolher entre algumas poucas linguagens para simulação, transferiu-se hoje para uma escolha entre uma vasta gama de produtos em constante processo de atualização e características peculiares.

Como primeiro critério para escolha do software, toma-se como referência estudo de Gualda (1995) destinado ao dimensionamento de pátios de interface baseado em processos estocásticos de formação de filas, onde é descrito e comparado um trabalho de simulação realizado primeiramente com o software DYNAMO – baseado na metodologia de simulação contínua, e depois com o GPSS – que realiza o processo de simulação discreta. Os resultados comprovam que o método contínuo não ofereceu vantagens práticas. Pelo contrário; houve uma necessidade de simplificação para construção do modelo contínuo que fizeram o programador optar pela metodologia de simulação discreta. Assim, faz-se aqui a opção primária por ferramentas que desenvolvam modelos de simulação discreta.

A partir da seleção de softwares realizada por Saliby (1996) e análise de Ribeiro (2003) baseada em um levantamento da ‘Winter Simulation Conference’ – WSC, vamos tomar como objeto de interesse no processo de escolha, apenas os softwares da Tabela XX. É verdade que nem todos os softwares citados foram avaliados profundamente e experimentados, seja por falta de recursos financeiros ou falta de tempo hábil, mas a Tabela 8 atinge boa parcela dos simuladores os quais a utilização era viável no estudo.

Software	Fabricante	Linguagem	Tipo de Simulação	Animação	Observações
ARENA	Systems Modeling Corporation	SIMAN	discreta ou contínua	sim	ambiente gráfico com arquitetura orientada a objetos, com aplicações em qualquer área de simulação; permite a modelagem nos mais variados graus de complexidade com abordagem "top to bottom"; arquitetura aberta e integrável a outros aplicativos via VBA
AutoMod	Autosimulations	?	discreta ou contínua	sim	permite a simulação em dimensões, facilitando a avaliação do funcionamento e de parâmetros estatísticos de desempenho
Extend	Imagine That	ModL	discreta ou contínua	sim	ambiente de simulação gráfico, capacidade de animação
Micro Saint	Micro Analysis & Design	?	discreta ou contínua	sim	programa de simulação genérico e flexível com interfaces gráficas do tipo diagrama de fluxos
Pro Model	Pro Model Corporation	C, Pascal ou Basic	discreta ou contínua	sim	programa de simulação orientado a objetos para avaliação, projeto ou reengenharia de sistemas logísticos
TAYLOR II b	F & H Simulations	4D-Scip	discreta ou contínua	sim	arquitetura orientada a objetos para modelagem e simulação de processos de controle de negócios
VisSim	Visual Solutions	CSIM18	discreta ou contínua	sim	linguagem de visual de diagrama de blocos (orientada a processos)
GPSS H	Wolverine Software	GPSS	discreta	n/a	modelos são desenvolvidos em formato texto, que são compilados e carregados na memória para execução, o que permite alta performance. Modelagem baseada na interação entre processos, o modelo descreve o fluxo de um objeto. Esse objeto é controlado e estatísticas são geradas como resultado da simulação.

Tabela 8 – Lista de Softwares de Simulação (adaptado de Ribeiro, 2003)

## 6.1 Características gerais dos softwares

A característica mais marcante dos softwares é a questão da interface com o usuário. Busca-se hoje um ambiente mais amigável, embutido de facilidades para as tarefas de modelagem, visualização gráfica, análise pré e pós simulação e avaliação de resultados.

A técnica do “*drag and drop*” (posicionamento e conexão de blocos básicos pré-programados de simulação via mouse) é certamente a mais difundida. O usuário fica livre da programação pesada, uma vez que constrói o modelo através de menus que apresentam uma infinidade dos tais blocos pré-programados, mas ainda é necessário um bom conhecimento do para a realização da programação fina.

O grande apelo dos softwares de simulação são, porém, os recursos de animação. De animação 3-D a simples implementações gráficas (números, círculos piscando, etc.), os recursos de animação aumentam o poder sedutor e convencedor do software, na apresentação dos resultados. É importante também não se deixar levar, e desviar a atenção lógica do modelo para sua visualização.

Banks (1997) é responsável pela consolidação de uma lista de elementos considerados essenciais para a avaliação de um software de simulação, uma vez conhecidas as necessidades dos clientes desse software.

Entrada (Input):	Processamento:	Saída (Output):	Ambiente:
Recurso de mouse;	Possibilidade de modelagem complexa	Relatórios padronizados;	Facilidade de uso
Importação de arquivos;	Velocidade	Relatórios personalizados;	Facilidade de aprendizado
Exportação de arquivos;	Flexibilidade de execução de corridas	Geração de gráficos;	Recursos de animação
Sintaxe compreensível;	Geração de valores aleatórios	Manutenção de bancos de dados;	Uso de <i>templates</i> para modelagem mais rápida
Controle interativo de execução;	Reinicialização de estatísticas e geradores	Coleta do resultado de expressões matemáticas;	Uso do conceito de programação orientada a objetos
Interface com outra linguagem;	Replicações independentes	Medidas de desempenho específicas da aplicação;	Interface com outras ferramentas de <i>software</i> (CAD, planilhas, ...)
Análise de dados de entrada.	Variáveis globais e de atributo	Saída em arquivos.	Aplicações <i>Internet</i>
	Programação: flexibilidade lógica		Recursos de otimização experimental

**Tabela 9 – Elementos essenciais para avaliação de um software de simulação (BANKS, 1997)**

A escolha da ferramenta de simulação no presente estudo foi realizada então a partir da avaliação e comparação dos elementos essenciais entre os softwares apresentados e suas

características principais, tendo como filtro os requisitos necessários para elaboração do modelo proposto no trabalho.

Assim, a escolha foi pela utilização do software de simulação ARENA, desenvolvido pela ‘Systems Modelling Corporation’ e distribuído no Brasil pela Paragon. As razões dessa escolha são resumidas a baixo (segundo a própria Paragon):

- Û ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados;
- Û capaz de unir os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado;
- Û não é necessário escrever nenhuma linha de código no ARENA, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual;
- Û a tecnologia diferencial do ARENA são os *templates*, ou seja, uma coleção de objetos/ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem programação, de maneira visual e interativa;
- Û funcionalidades: MS Office, Visual Basic e C++ compatíveis; inclui VBA (permite ao programador desenvolver rotinas em VB); possui assistente para criação de modelos; *input e output analyzer* para tratamento de dados e análise de resultados; manuais on-line; entre outras tantas.

Evidentemente, a familiaridade com o programa, utilizado como ferramenta didática em disciplinas do Departamento de Engenharia Naval da Escola Politécnica de São Paulo, também foi fator decisivo da escolha



## **7 Caracterização do Sistema Multimodal da Baixada Santista**

### **7.1 Modal Rodoviário**

O modal rodoviário é com grande vantagem, o modal mais utilizado para acesso ao Porto de Santos. Em contrapartida, a consolidação de um sistema viário de alta capacidade para acesso ao Porto de Santos, capaz de proporcionar rotas seguras e confortáveis para os veículos de carga e para o ambiente urbano é uma realidade distante. A convivência entre a cidade e o movimento portuário é um transtorno. Quase nove mil caminhões chegam diariamente ao Porto de Santos, onde permanecem estacionados, em média, por um período de quatro dias. Esse enorme volume de tráfego e de caminhões estacionados gera problemas como insegurança, poluição, degradação urbana, destruição ambiental, etc.

Para a rede rodoviária de influência direta, correspondente à rede de acesso ao Porto, mais precisamente descrita pela Rodovia Cônego Domenico Rangoni (Piaçaguera-Guarujá), pela Rodovia Padre Manoel da Nóbrega (Peruíbe-Cubatão) e pelo Corredor Imigrantes/Anchieta, o Plano Viário Metropolitano de Cargas da Baixada Santista fornece informações sobre necessidades de inúmeras intervenções pontuais para melhoria do fluxo de acesso ao porto.

Já na área do porto, a discussão da questão viária gira em torno da construção da Via Perimetral Portuária de Santos, da Via Perimetral Portuária do Guarujá e do Túnel Submarino Santos-Guarujá. Esses três elementos terão como função, quando finalizados, interligar o sistema rodoviário do Porto de Santos, ordenando e facilitando a circulação de caminhões e outros veículos (automóveis de passeio e ônibus) entre as margens esquerda e direita, permitindo a transposição rápida do estuário santista, e funcionando como alternativa às balsas e à Rodovia Piaçaguera-Guarujá, aliviando o sistema de tráfego urbano de Santos.

O problema logístico envolvendo o modal rodoviário na Baixada Santista só será resolvido definitivamente com a criação de alternativas economicamente viáveis à sua utilização, como a revitalização da utilização dos outros modais disponíveis (ferroviário, aquaviário e dutoviário) a fim de proporcionar oportunidades de redução de custo de transporte e alívio do caos logístico da Baixada Santista.

### 7.1.1 Demanda Atual

A quantidade de caminhões que cruzam diariamente os pedágios do sistema Anchieta-Imigrantes com destino ao Porto de Santos e seus respectivos tipos são apresentados abaixo:

Tipo	VMD
Granel Sólido	1.980
Granel Líquido	566
Francionada	901
Pallet	717
Contêiner	2.445
Vazio	2.316
<b>Total</b>	<b>8.925</b>

**Tabela 10 - Quantidade de caminhões que chegam ao Porto de Santos (Volume Médio Diário -VMD – mês médio de 2007) – fonte: ECORODOVIAS**

Dos caminhões que atravessam o pedágio, uma parcela segue para a margem esquerda do porto, outra para a margem direita e outra tem como destino Cubatão, segundo a distribuição abaixo:

Tipo	Margem Esquerda	Margem Direita	Cubatão
Granel Sólido	13%	60%	27%
Granel Líquido	16%	64%	20%
Francionada	18%	65%	17%
Pallet	24%	72%	5%
Contêiner	23%	75%	2%
Vazio	9%	74%	17%

**Tabela 11 - Distribuição proporcional dos caminhões que chegam ao Porto de Santos por suas margens diariamente (Mês médio 2007) – fonte: ECORODOVIAS**

Assim, podemos determinar uma distribuição média diária de caminhões segundo seu tipo e destino.

<b>Tipo</b>	<b>Margem Esquerda</b>	<b>Margem Direita</b>	<b>Cubatão</b>
Granel Sólido	257	1.188	535
Granel Líquido	91	362	113
Francionada	162	586	153
Pallet	172	516	36
Contêiner	562	1.834	49
Vazio	208	1.714	394
<b>Total</b>	<b>1.453</b>	<b>6.200</b>	<b>1.279</b>

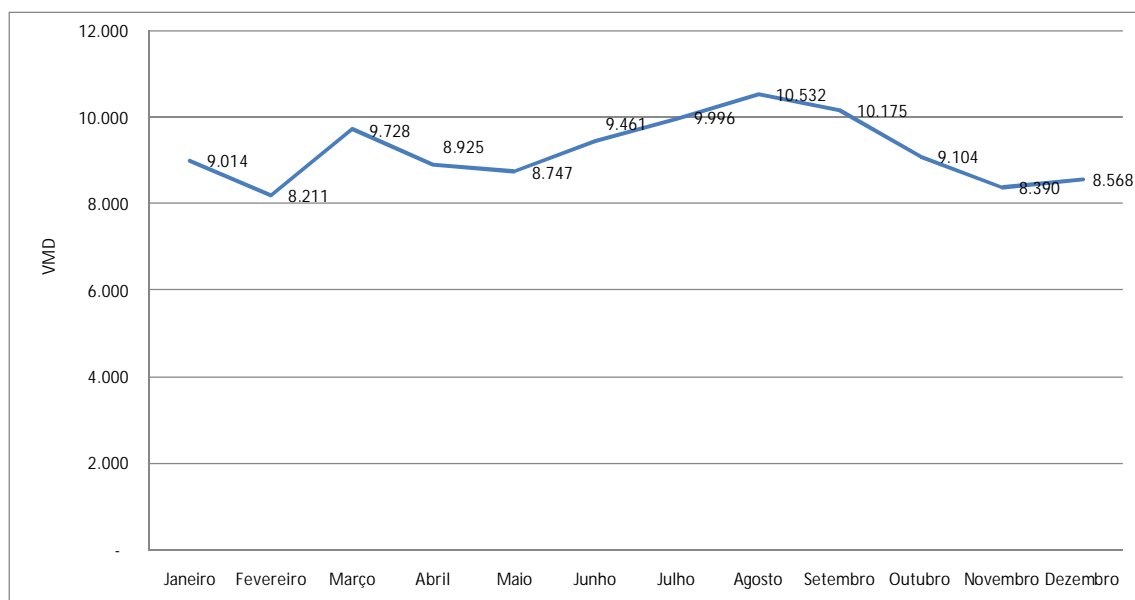
**Tabela 12 - Volume Médio Diário (VMD) dos caminhões que chegam diariamente ao Porto de Santos por tipo e por margem (mês médio 2007)**

Ao longo do ano, entretanto, a demanda do modal rodoviário não é constante, com variações provocadas por períodos de safra, feriados, festividades, condições climáticas, etc. É possível, através da comparação do padrão de chegada de caminhões ao porto, mês a mês ao longo de um ano, montar um quadro que representa a sazonalidade mensal da chegada de caminhões, no Porto de Santos.

<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maio</b>	<b>Junho</b>
1,01	0,92	1,09	1	0,98	1,06
<b>Julho</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setembro</b>	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>
1,12	1,18	1,14	1,02	0,94	0,96

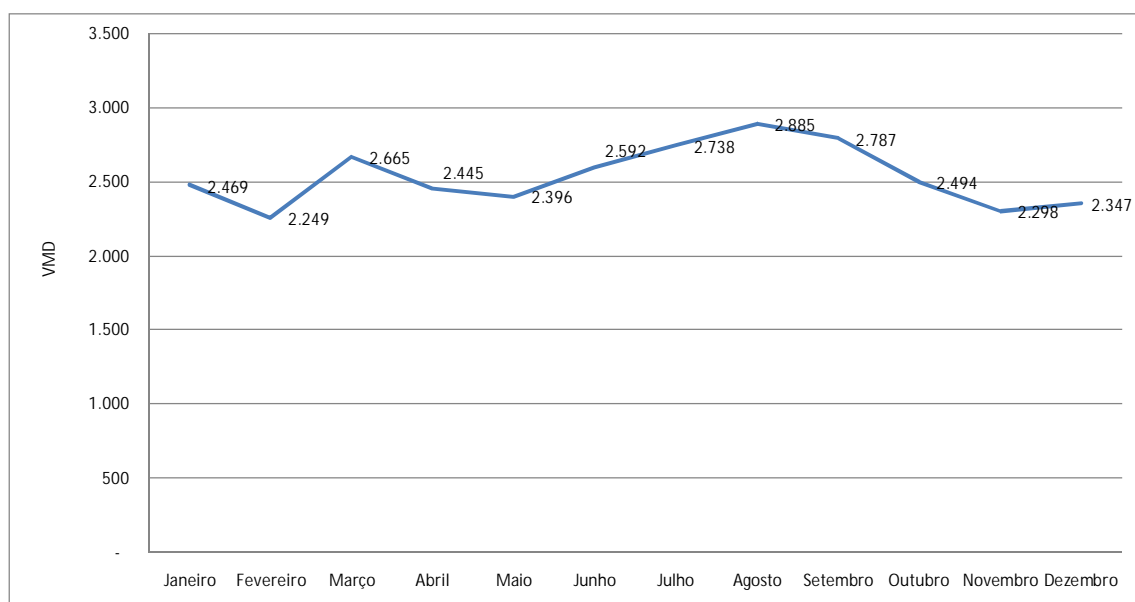
**Tabela 13 - Índice de Sazonalidade da chegada de caminhões ao Porto de Santos**

Temos então o seguinte perfil anual de chegada de caminhões ao Porto de Santos, através do sistema Imigrantes-Anchieta (volume médio diário, mês a mês):



**Gráfico 6 - Volume Médio Diário (VMD) dos caminhões que chegam a Santos, mês a mês**

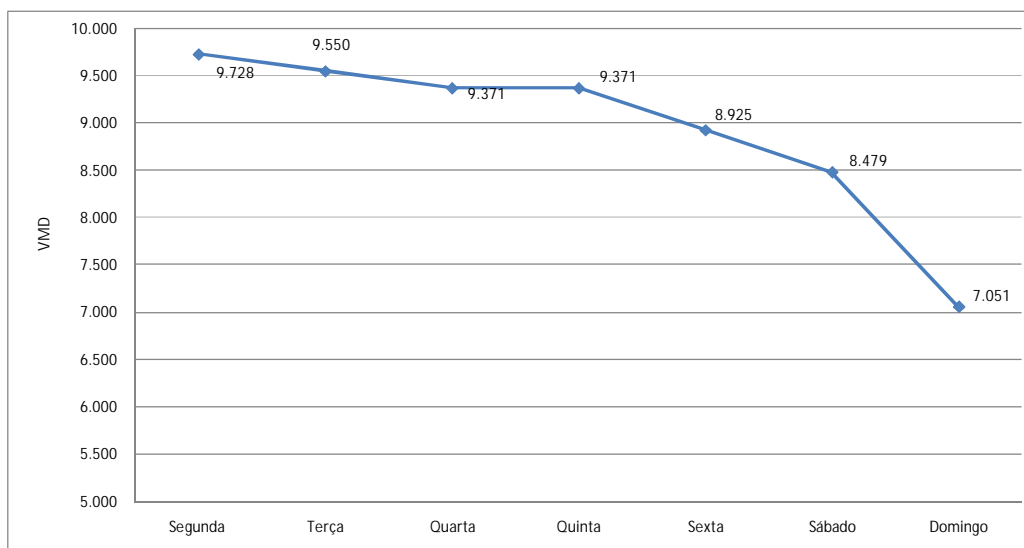
Relativamente aos caminhões de contêiner que chegam ao Porto de Santos, temos o seguinte perfil médio mensal:



**Tabela 14 - Chegada de caminhões de contêiner no Porto de Santos através do Sistema Anchieta-Imigrantes**

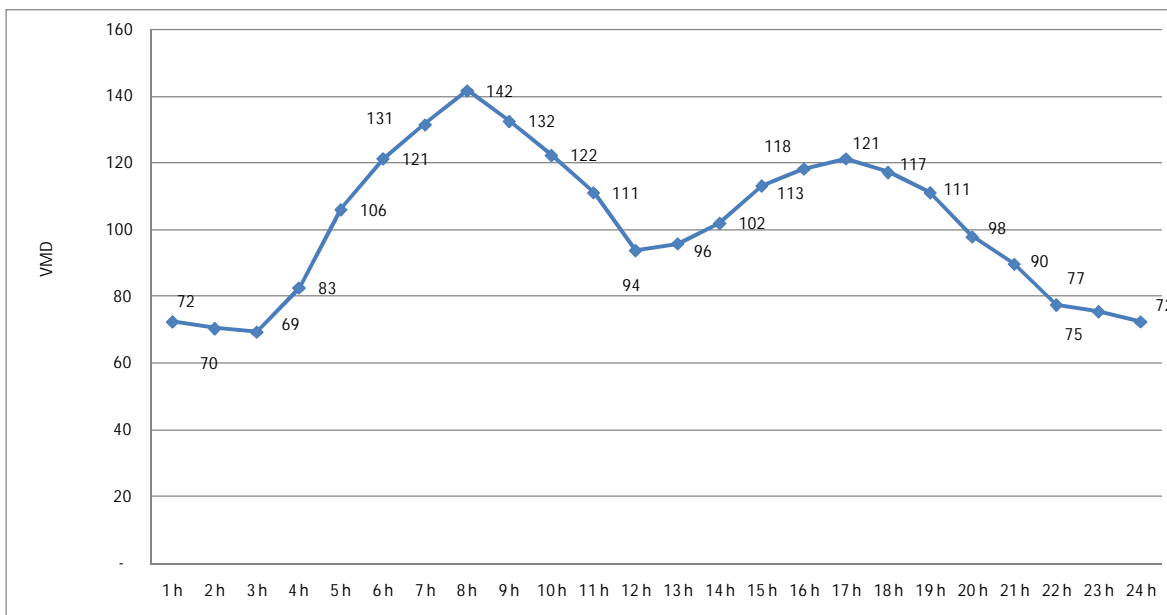
As informações sobre a demanda de utilização do modal rodoviário, obtidas junto à administradora do sistema rodoviário de ligação entre o Porto de Santos e o Planalto

Paulista, também revelam outros importantes fatores que interferem sobre seus padrões de utilização: o dia da semana e o período do dia. Tomando novamente um mês médio de chegada de caminhões, quando 2.445 caminhões de contêiner dirigem-se ao porto, é possível estabelecer o seguinte padrão semanal de chegadas:



**Gráfico 7 - Volume Médio Diário (VMD) de caminhões de contêiner que chegam a Santos, durante os dias da semana**

Com relação às chegadas de caminhões ao Porto de Santos durante um dia de um mês médio, é possível estabelecer o seguinte padrão:



**Gráfico 8 - Volume Médio Diário (VMD) de caminhões de contêiner que chegam a Santos, durante os períodos do dia**

## 7.2 Modal Ferroviário

A malha ferroviária da Baixada Santista, apesar de ter sido toda ela desenvolvida para atender ao movimento portuário em Santos, é responsável hoje pela movimentação de apenas 12,5% do total do movimento portuário. De certa forma, uma das causas desse baixo percentual de atividade é a configuração da malha ferroviária do planalto paulista, incapaz de proporcionar integração operacional entre as duas regiões. Além da dificuldade da circulação inter-malhas, há a questão da adoção de trajetos incompatíveis a trens de carga como, por exemplo, a transposição da Estação da Luz, em São Paulo. Aspectos políticos, como o privilégio à indústria rodoviária nacional durante seguidas décadas, também contribuíram para o “esquecimento” da malha ferroviária.

### 7.2.1 Operação Ferroviária na Baixada Santista

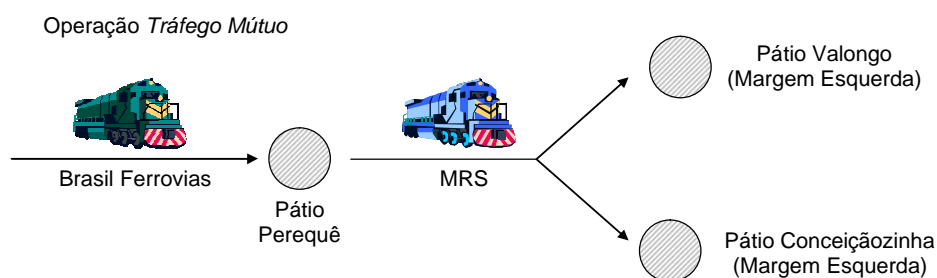
A operação ferroviária na RMBS é composta basicamente por três frentes: a operação da Brasil Ferrovias (consórcio que envolve a Ferronorte, Ferrobán, Ferrovia Novoeste e Ferrovia Centro Atlântica (FCA)) e as operações da MRS e da Portofer (controlada pela ALL), essa última exclusivamente dentro da área portuária.

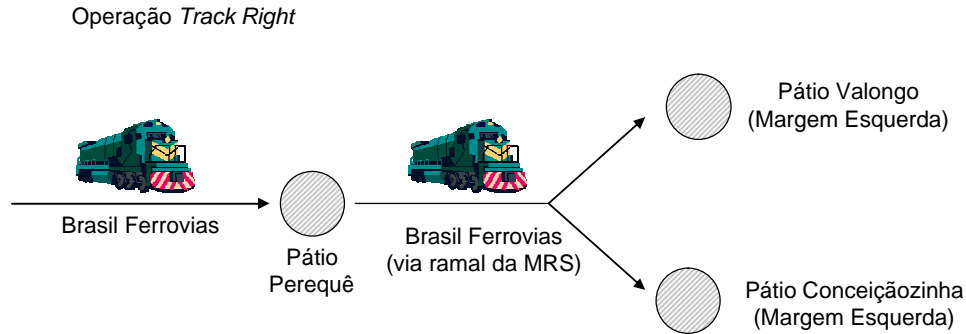
## A) Brasil Ferrovias

Na operação da Brasil Ferrovias, os trens chegam até a Baixada Santista através do ramal Mairinque-Santos, de linha dupla e bitola mista. No Pátio Paratinga, são separados segundo o destino final e há a formação de novos trens. Também são realizadas inspeções nos vagões e abastecimento das locomotivas. Os trens formados podem ter dois destinos: o Pátio do Estuário ou o Pátio do Pequerê.

Aqueles que se destinam ao Pátio do Estuário estarão submetidos a restrições de horário e de comprimento máximo, uma vez que atravessam região densamente urbanizada na cidade de Santos, com diversos cruzamentos em nível com ruas e avenidas. Aqueles que se destinam ao Pátio do Perequê, ao chegarem a seu destino, são submetidos a um novo registro de operação, uma vez que, a partir deste ponto a responsabilidade da movimentação ferroviária é da MRS.

O Pátio do Perequê é o ponto de divisão entre os trens que se destinam à margem direita ou esquerda do Porto de Santos. A partir deste ponto, os trens podem então ser submetidos a dois tipos de operação: tipo Tráfego Mútuo e tipo *TrackRight*. No primeiro tipo, os vagões, que chegam ao Pátio do Perequê puxados por locomotivas da Brasil Ferrovias são conectados a locomotivas da MRS, que tracionam os vagões até o Pátio do Valongo, na margem direita do Porto de Santos, ou até o Pátio da Conceiçãozinha, margem esquerda. Já na operação do tipo *TrackRight*, as próprias locomotivas da Brasil Ferrovias tracionam os vagões até seus destinos finais, margens direita ou esquerda, através do ramal “emprestado” pela MRS.





**Figura 20 - Operações a partir do Pátio do Perequê**

## **B) MRS**

Na operação da MRS, os trens chegam até a Baixada Santista através da “Cremalheira”, ramal que liga o pátio de Paranapiacaba, ainda no Planalto Paulista, ao pátio Raiz da Serra, já na Baixada Santista. Trata-se de um ramal considerado gargalo para a operação da MRS na Baixada Santista, em função de suas características físicas. Com trechos de até 10% de inclinação de rampa, o ramal impõe limitações à tonelagem e ao comprimento das composições na operação da MRS na Baixada Santista.

A operação na “Cremalheira” é realizada por três duplas de locomotivas que sobem e descem a serra em grupo, uma em sequência da outra. Cada dupla traciona até 500 toneladas brutas, o que corresponde, na descida, para que se tenha uma idéia, a um máximo de quatro vagões cheios de minério de ferro, enquanto, na subida, devido ao fato dos vagões estarem vazios, esse número chega a 15, esbarrando na restrição de 200 metros de comprimento da composição.

Do pátio Raiz da Serra, as composições seguem até o pátio Perequê de onde podem seguir para a margem esquerda, até o pátio Conceiçãozinha, ou para a margem direita, até o pátio do Valongo, pontos finais da malha da MRS, onde a operação é transferida para a Portofer. A Portofer é a responsável pela distribuição dos vagões dentro da área de concessão dos serviços portuários.



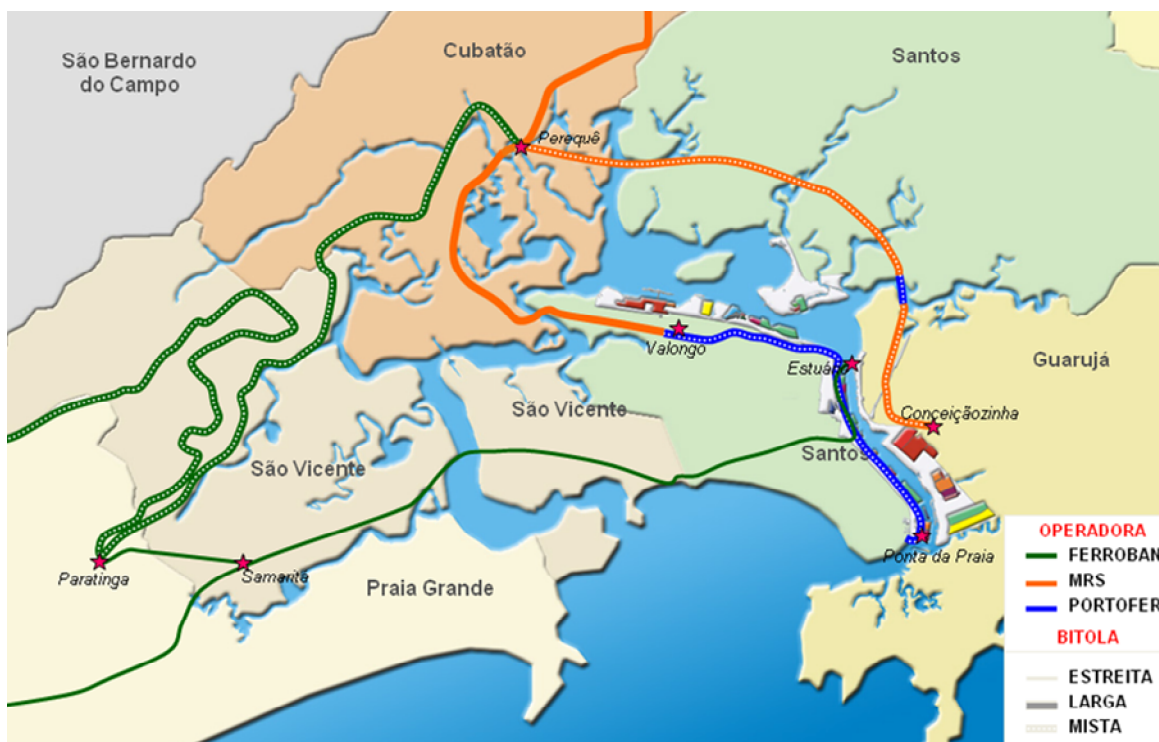


Figura 21 – Mapa da estrutura ferroviária da Baixada Santista

### 7.2.2 Características da Linha Férrea na Baixada

De forma geral, a linha férrea da Baixada Santista é composta por trechos em linha singela. Assim, apenas um trem pode ocupar determinado ramal, não sendo permitidas operações simultâneas de exportação/importação na maioria dos trechos. As exceções são os trechos Piaçaguera - Raiz da Serra, um pequeno trecho em Cubatão e os pátios, onde as composições podem “desocupar” a linha, permitindo a passagem de outras no sentido inverso. Daí a importância de considerá-los no dimensionamento da capacidade de transporte ferroviário da Baixada. Na tabela abaixo tem-se a capacidade estática de cada um dos pátios ferroviários da Baixada Santista.

Pátio	Vagões
Paranapiacaba	237
Raiz da Serra	173
Piaçaguera	350
Conceiçãozinha	187
Paratinga	660
Perequê	463
Valongo	320
Estuário	206
Barnabé	250
Arreais	350

**Tabela 15- Capacidade Estática dos Pátios da Baixada (fonte: Portofer)**

A velocidade média das composições na Baixada é de aproximadamente 18 km/h (fonte: MRS e Brasil Ferrovias), havendo restrições na “Cremalheira” (máximo de 10 km/h) e no vão móvel sobre o canal da Bertioga (máximo de 8 km/h). Já nos ramais administrados pela Portofer, a velocidade média é de 10 km/h.

### **7.2.3 Propostas de Melhoria**

Algumas das limitações do sistema ferroviário são alvos de propostas de melhorias. Entre essas propostas podemos citar a construção de um sistema de esteiras rolantes, paralelo ao sistema da “Cremalheira”, e que seria responsável pelo fluxo de até 6 milhões de toneladas de minério por ano, aumentando assim a capacidade de transporte do sistema de descida da serra. Outro projeto é a construção de novo acesso ferroviário ao porto pela margem direita, entre os pátios do Perequê e do Valongo, paralelo ao acesso já existente, que permitiria a passagem de trens de bitola métrica até os terminais da margem direita, além de acabar com o problema de compartilhamento da malha ferroviária pelas duas operadoras, a MRS e a Brasil Ferrovias (no caso, a malha é administrada pela MRS e a Brasil Ferrovias precisa de autorização para operação).

## 7.2.4 Demanda Atual do Modal Ferroviário

### 7.2.4.1 Movimentação Geral

Dados da Portofer indicam um movimento total de mais de 10 milhões de toneladas no ano de 2007 através do modal ferroviário. De forma geral, a participação das ferrovias foi a seguinte:

Concessionárias	Quantidade Transportada (milhões t)		
	Margem Direita	Margem Esquerda	Total
MRS	0,56	1,30	1,85
Brasil Ferrovias	6,28	3,38	9,66
Total	6,83	4,68	11,51

Tabela 16- Movimentação por via ferroviária no Porto de Santos em 2007 (em milhões de toneladas)

### 7.2.4.2 Movimentação de Contêineres

Nas tabelas a seguir, está apresentada a movimentação de contêineres através do modal ferroviário, segundo dados da Portofer, que atua dentro da área de concessão portuária, centralizando a chegada de trens da MRS e da Brasil Ferrovias.

Margem Direita							
Terminal	Exportação		Importação		Total		Participação (%)
	Vagões	TU	Vagões	TU	Vagões	TU	
Libra	2.697	74.482	3.854	99.452	6.551	173.934	23,3%
Tecondi	793	15.338	1.493	34.475	2.286	49.813	6,7%
Total	3.490	89.820	5.347	133.927	8.837	223.747	30,0%

Margem Esquerda							
Terminal	Exportação		Importação		Total		Participação (%)
	Vagões	TU	Vagões	TU	Vagões	TU	
Santos Brasil	8.517	289.662	6.691	233.413	15.208	523.075	70,0%

Total Geral							
Margem	Exportação		Importação		Total		Participação (%)
	Vagões	TU	Vagões	TU	Vagões	TU	
Direita	3.490	89.820	5.347	133.927	8.837	223.747	30,0%
Esquerda	8.517	289.662	6.691	233.413	15.208	523.075	70,0%
Total	12.007	379.482	12.038	367.340	24.045	746.822	100,0%

Tabela 17 - Movimentação Geral de Contêineres no Porto de Santos - Janeiro-Agosto/2007 - fonte: Portofer

A movimentação de contêineres da margem esquerda do porto corresponde a 70% da movimentação total, somente com a participação do terminal da Santos Brasil. A margem direita absorve os 30% restantes da movimentação de contêineres, com os terminais da Libra e Tecondi.

Os dados acima permitem considerar como média, para um mês padrão, a seguinte movimentação de vagões de contêiner:

Média Mensal	Exportação	Importação	Total
Margem Direita	436	668	1105
Margem Esquerda	1.065	836	1901
Total	1.501	1.505	3006

### 7.3 Modal Aquaviário

A idéia difundida hoje é de que o modal aquaviário só é atraente economicamente para transporte de cargas de baixo valor agregado e para grandes distâncias. O fato é que, essa noção, hoje, está ultrapassada. Basta observarmos o exemplo da Europa. Hoje, são transportados pelos grandes corredores aquaviários europeus (Reno, Danúbio, Ruhr, etc.), através de distâncias por vezes não superiores a 50 quilômetros, diversos bens de alto valor agregado, como: combustíveis líquidos e sólidos, aço e ferro, produtos siderúrgicos, produtos químicos, equipamentos industriais e mercadorias containerizadas.



**Figura 22– Mapa dos corredores aquaviários europeus (fonte: World Canals)**

O que se observa, então, é um ambiente bastante favorável ao desenvolvimento do transporte aquaviário, para todos os tipos de carga. A quebra desse paradigma só foi possível graças ao desenvolvimento de fatores como a facilidade da intermodalidade do transporte e a unitização da carga, principalmente pelo processo de containerização, o que possibilita um melhor manuseio e mais segurança no transporte, reduzindo custos e tempos.

O custo, aliás, é outro fator que pesa favoravelmente ao transporte aquaviário. Uma visão tradicionalista é estabelecer uma comparação entre os custos dos modais de acordo com a seguinte escala: modal aquaviário = 1; modal ferroviário = 2; modal rodoviário = 3. Essa relação foi comprovada através de diversos estudos, dentre os quais podemos citar o Plano Diretor Desenvolvimento dos Transportes (PDDT) do Departamento Hidroviário da Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo, de 2004, que estabelece os seguintes custos operacionais básicos, para cada um dos modais:

<b>Modal</b>	<b>US\$ / mil toneladas-km</b>
Aquaviário	12
Ferrovário	21
Rodoviário	34

**Tabela 18- Custos Operacionais dos Modais em US\$/mil toneladas-km**

Entretanto, os custos para a sociedade não são exatamente esses, uma vez que cada um dos modais também gera custos indiretos que não necessariamente recaem sobre a tarifa de frete, mas sim sobre a própria sociedade. Esses custos relacionam-se aos acidentes, poluição sonora, poluição do solo, poluição do ar, ocupação do solo, etc. O mesmo estudo acima citado, baseado em dados do Porto Autônomo de Paris, estabelece a seguinte escala de custos indiretos:

<b>Modal</b>	<b>US\$ / mil toneladas-km</b>
Aquaviário	2,3
Ferrovário	7
Rodoviário	32

**Tabela 19- Custos Indiretos dos Modais em US\$/mil toneladas-km**

Assim podemos construir a seguinte tabela, em referência ao custo total de cada modal:

Modal	Custos Operacionais	Custos Indiretos	Total
Aquaviário	12	2,3	14,3
Ferroviário	21	7	28
Rodoviário	34	32	66

**Tabela 20- Custos Totais dos Modais em US\$/mil toneladas-km**

Nota-se que a relação de custos totais da ordem de 1 : 2 : 5 (Aquaviário : Ferroviário : Rodoviário), o que demonstra de forma mais contundente a eficiência do modal aquaviário.

Ainda há outros elementos que merecem ainda serem citados, como a comparação da utilização de solo e de infra-estrutura necessária. Um exemplo simples é a utilização de uma barça que comporta 72 TEUs e com 60 metros de comprimento, que substitui cerca de 50 caminhões, que dispostos em linha reta e separados pela devida distância de segurança, formariam uma fila de cerca de 9 quilômetros em uma rodovia.

### **7.3.1 A Hidrovia e o Porto de Santos**

As cargas que chegam ao Porto de Santos são atualmente privilegiadas por acessos rodoviários e ferroviários. O modal aquaviário é relegado à terceiro ou mesmo quarto plano, atrás do acesso dutoviário. O que se observa, entretanto, é que o porto encontra-se em um generoso estuário que adentra o continente, criando diversas ramificações, canais, rios e largos até o município de Cubatão. Essa riqueza de extensão de águas é elemento crucial no desenvolvimento de projetos de expansão portuária, como os portos privados da Cosipa e da Ultrafertil, em Cubatão.

Outro grande projeto inspirado nos vastos recursos aquaviários da Baixada é a Hidrovia da Carbocloro, que utiliza o Rio Cubatão para transporte de sal do Largo do Carnéu (ponto final do Canal Portuário) até um cais instalado junto à sua fábrica às margens do Rio Cubatão. O projeto tem a expectativa de realizar o transporte mensal de 800 mil toneladas de sal por ano.

Assim, surge como alternativa ao desenvolvimento da intermodalidade no transporte de carga entre o terminal regulador de carga em estudo e os terminais portuários, a utilização

de barcas através de uma hidrovia planejada, que conta pelo menos duas boas alternativas de traçado, visualizadas através do desenho abaixo:



**Figura 23 – Alternativas de Traçado da Hidrovia (em azul)**

## **8 Descrição da Operação do Terminal**

### **8.1 Considerações**

Como definido anteriormente, o papel do terminal é servir como pólo atrativo de caminhões cujo destino original seriam os terminais de contêiner do Porto de Santos. O objetivo é realizar a operação de descarga de tais caminhões, para que, na seqüência, a transferência da carga entre o terminal regulador e o Porto de Santos possa ser feita através de modais especializados na operação (rodoviário (caminhões), ferroviário (vagões) ou aquaviário (barcaças)).

Surge um questionamento bastante razoável nesse ponto: se uma das idéias básicas do terminal regular é retirar caminhões de circulação da zona urbana que envolve o porto, aliviando o trânsito da região, etc., por que continuar usando caminhões para transportar contêineres até o porto? O fato é que é impossível, abrir mão da utilização dos caminhões. O caminhão é elemento importante para o transporte de carga pela flexibilidade que oferece. Há situações diversas que a utilização do caminhão, para o caso do terminal em estudo, é mais vantajosa do que a utilização de outros modais. Podemos citar o exemplo de um contêiner que chegou ao terminal atrasado e corre o risco de perder o navio para o qual seu embarque está programado se tiver que esperar a próxima janela de saída do trem ou da barcaça, ou ainda, haver apenas alguns poucos contêineres a serem enviados a determinado terminal, tornando desvantajosa a mobilização de locomotivas, vagões ou barcaças. É importante ressaltar aqui as diferenças práticas entre o caminhão convencional, que desce a serra e seguiria até o Porto de Santos, e o caminhão especializado, pertencente ao terminal regulador e que fará apenas a perna final na movimentação da carga. O caminhão especializado é perito no trajeto Terminal Regulador – Terminais de Contêiner, tem conhecimento completo da região (endereços, rotas principais e alternativas de trajeto, etc.), artimanhas do percurso (buracos, obras, desvios, pequenos atalhos, etc.) e conta com apoio de diversos elementos tecnológicos relacionados ao fluxo de informação do sistema logístico como um todo. São esses aparatos tecnológicos que conferem a grande vantagem do caminhão especializado frente ao caminhão convencional, tais quais: pagamento automático de pedágio, monitoramento constante das condições de tráfego e filas nos



terminais, pré-agendamento para atendimento nos terminais, pré-liberação alfandegária dos contêineres, pré-liberação do acesso nos terminais, etc. A disponibilidade e integração completa desses elementos de informação permitem ao caminhão especializado realizar a carga/descarga de contêineres de forma muito mais eficiente do que o caminhão convencional.

Outro ponto que demanda consideração é o grande número de passagens durante a caracterização da operação do terminal em que houve a pré-definição de valores e quantidade de recursos pela operadora do terminal. Essas pré-definições de valores e quantidade de recursos determinam a constituição de uma configuração inicial do modelo. Dependente dos resultados obtidos e avaliações de desempenho do modelo, o programador tem a possibilidade de configurar os mais diversos cenários a serem estudados. Pode-se imaginar alternativas quase infinitas de cenários nos quais se altere a quantidade de um ou mais determinados recursos pré-definidos na configuração inicial do modelo.

Assim, alguns outros cenários, cuja configuração dependerá da avaliação dos resultados da configuração inicial do modelo, serão apresentados ao final do trabalho.

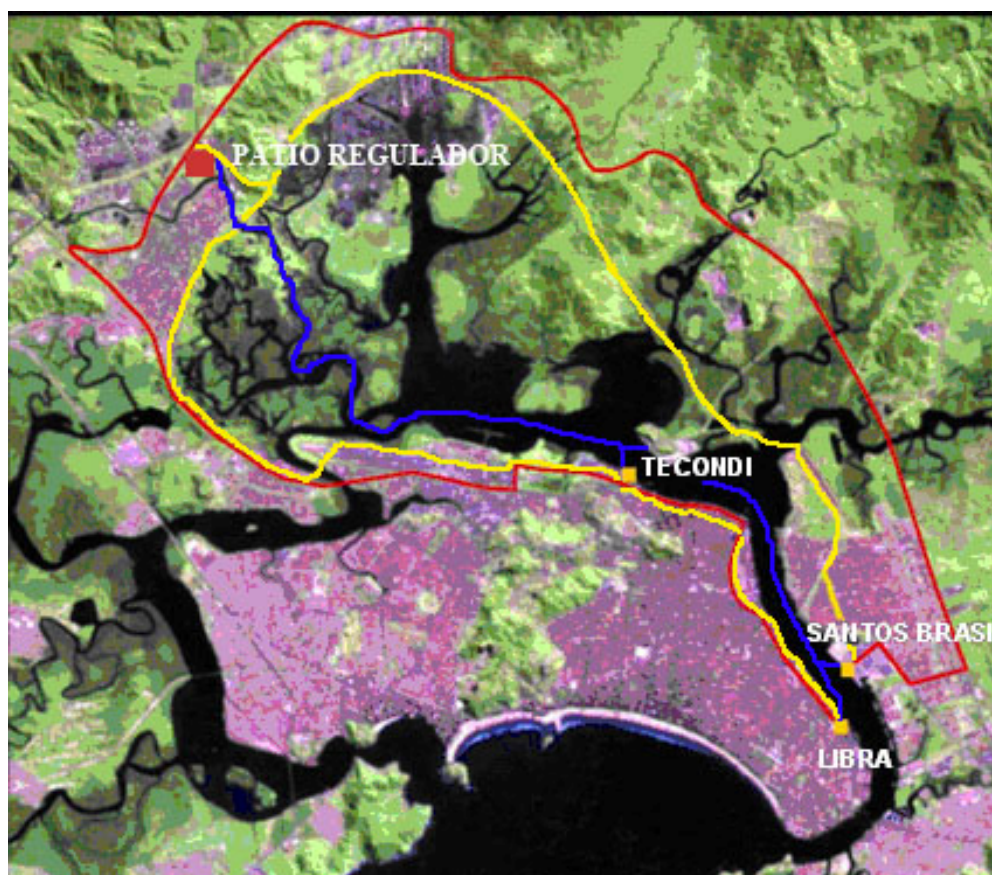
## **8.2 Localização do Terminal**

Houve, até agora, a definição da macro-localização do terminal regulador, na região de Cubatão, na Baixada Santista. Para prosseguimento da construção do modelo é necessário estabelecer a micro-localização do terminal, a fim de determinar condições de acesso, distâncias e avaliarmos a capacidade física da área a ser escolhida.

Considerando a necessidade de acessibilidade do terminal aos três modais que o servem, o estudo do mapa da região revelou a presença de alguns poucos pontos de interesse para implantação do terminal.

A escolha do ponto de localização do terminal seguiu os seguintes critérios: a área deve estar desocupada, ter dimensões consideráveis para a operação do terminal e, principalmente, propiciar a possibilidade da integração da operação dos três modais envolvidos no estudo.

Com base nesses critérios, foi feita a escolha da área apresentada abaixo. Um mapa mais detalhado da localização do terminal e das possíveis ligações rodoviárias, ferroviárias e aquaviárias com os terminais do Porto de Santos está em anexo ao trabalho.



**Figura 24 – Traçados das rotas rodoviárias, ferroviárias e aquaviária entre o terminal regulador e os terminais de contêiner**

O ponto apresentado, em especial, reúne condições especiais de proximidade aos três modais do estudo – beira a Rodovia Piaçaguera-Guarujá, tem acesso direto ao ramal da linha férrea da Ferrobán (conta inclusive com pátio ferroviário com capacidade para 250

vagões, hoje desativado) e acesso direto ao Rio Cubatão (que segue até o Lago do Carnéu, no fim do Estuário Santista), e candidata-se ao posto de sede do terminal regulador.

A partir da determinação da localização exata do terminal regulador e das rotas rodovias, ferroviárias e aquaviárias entre o terminal regulador e os terminais de contêiner, é possível estabelecer o seguinte quadro de distâncias:

Terminal	Distância (km)		
	Rodoviária	Ferroviária	Aquaviária
Santos Brasil	24,3	25,3	19,2
Tecondi	15,8	18,4	12,5
Libra	23,9	24,1	19,6

**Tabela 21- Distâncias entre o Terminal Regulador e os Terminais de Contêiner**

### **8.3 Capacidade do Terminal**

Com a determinação exata da localização do terminal, é possível aferir a dimensão do terreno em que ele será implantado. A área escolhida tem dimensão de 198.138,9 m<sup>2</sup>.

A partir da definição da dimensão do terreno, é possível o cálculo primário de sua capacidade estática de armazenamento de contêineres, variável importante a ser considerada no modelo, uma vez que se apresenta como fator limitante à movimentação do terminal.

A área total do pátio (198.138,9 m<sup>2</sup>), definida pelos limites físicos do pátio, é considerada a área operacional, e nele estão incluídos as construções de apoio, acessos, arruamentos internos e área de empilhamento de contêineres. A preocupação do modelo é porém, com a área efetiva de pátio, dedicada exclusivamente ao empilhamento de contêineres, sem outras considerações.

As necessidades de deslocamento dos equipamentos de movimentação (*reach stackers*, transtêineres, etc), segundo comparações feitas aos pátios dos terminais da Santos Brasil e da Libra, limitam a área efetiva a cerca de 40% da área operacional. Ou seja, no terreno considerado, a área efetiva seria de 79.255,56 m<sup>2</sup>.

Considerando ainda que o *slot* médio de contêiner no solo ocupa área de 16m<sup>2</sup>, e que o empilhamento médio dos contêineres, também quando comparado aos terminais de contêiner da Santos Brasil e da Libra, deve estabelecer-se entre 3 e 4, fica assim definido:

Área Operacional (m <sup>2</sup> )	198.138,90
Taxa Aproveitamento (%)	40%
Área Efetiva (m <sup>2</sup> )	79.255,56
Área do <i>Slot</i> de Contêiner (m <sup>2</sup> )	16,00
Quantidade de <i>Slots</i>	4.953
Empilhamento Médio (unid)	3,5
Quantidade Total de Contêineres (unid)	17.337

Tabela 22- Determinação da Capacidade Estática do Terminal Regulador (em unidades)

## 8.4 Operação do Modal Rodoviária

Não é a intenção do projeto do terminal absorver a demanda total dos caminhões de contêiner que descem a serra rumo ao Porto de Santos. O planejamento inicial do projeto prevê uma absorção entre 5% e 10%. Para darmos prosseguimento ao projeto, fixou-se, no modelo, segundo desejo da operadora do terminal regulador, a absorção conservadora de 7% do total do fluxo de caminhões de contêiner.

Os caminhões que chegam ao terminal podem realizar operação de carga e descarga, somente carga ou somente descarga. Não existem dados disponíveis sobre a distribuição de probabilidades sobre o tipo de operação efetuado pelos caminhões que se destinam ao porto. Foi feito, portanto, um estudo estatístico simples, baseado em observações insuficientes para determinação de uma distribuição estatística, associado à vivência empírica dos operadores portuários, que determinou uma distribuição determinística de possibilidades:

- 60% dos caminhões realizam operação de carga e descarga;
- 25% dos caminhões realizam apenas operação de carga;
- 15% dos caminhões realizam apenas operação de descarga.

Todos os caminhões, no momento que chegam ao terminal, devem esperar, em fila, por condições apropriadas para adentrá-lo. A primeira das condições é o não esgotamento da capacidade estática do terminal. A segunda diz respeito à capacidade do terminal em realizar operações de carga e descarga. Há no terminal, limitações restritivas a esse tipo de operação. Foi determinada junto à operadora do terminal, uma configuração básica composta por 10 posições para operações simultâneas de carga e 10 posições para operações simultâneas de descarga. A concretização das operações de carga é descarga, todavia, só o ocorre quando, além da disponibilidade da posição há também a disponibilidade de equipamento de carga/descarga (optou-se pela utilização de *reach-stackers*). Na configuração inicial do modelo, há 25 *reach-stackers* disponíveis, que serão divididos entre as operações dos modais rodoviário, ferroviário e aquaviário.

Uma vez executadas as operações determinadas, o caminhão então deixa o terminal, retornando ao seu ponto de origem.

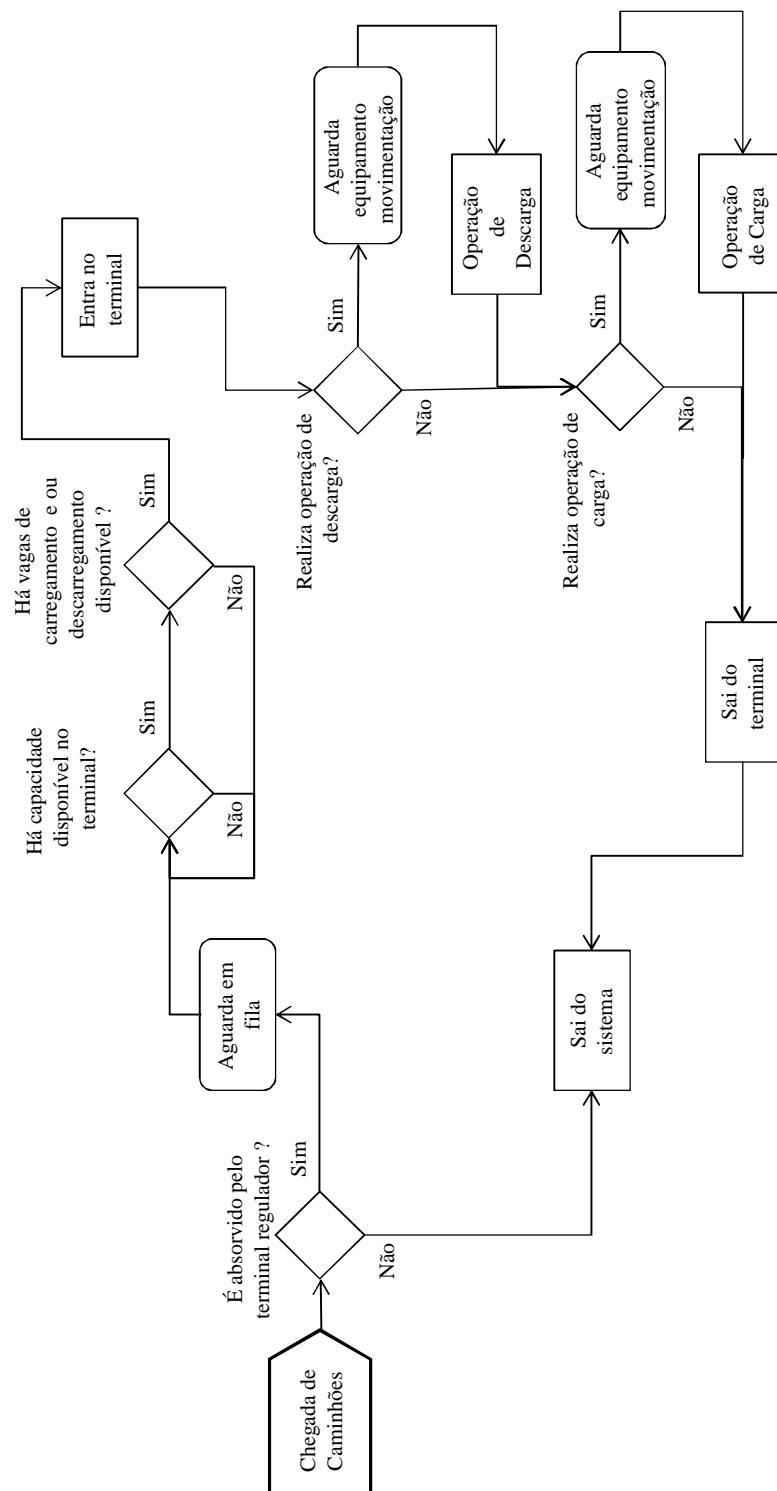
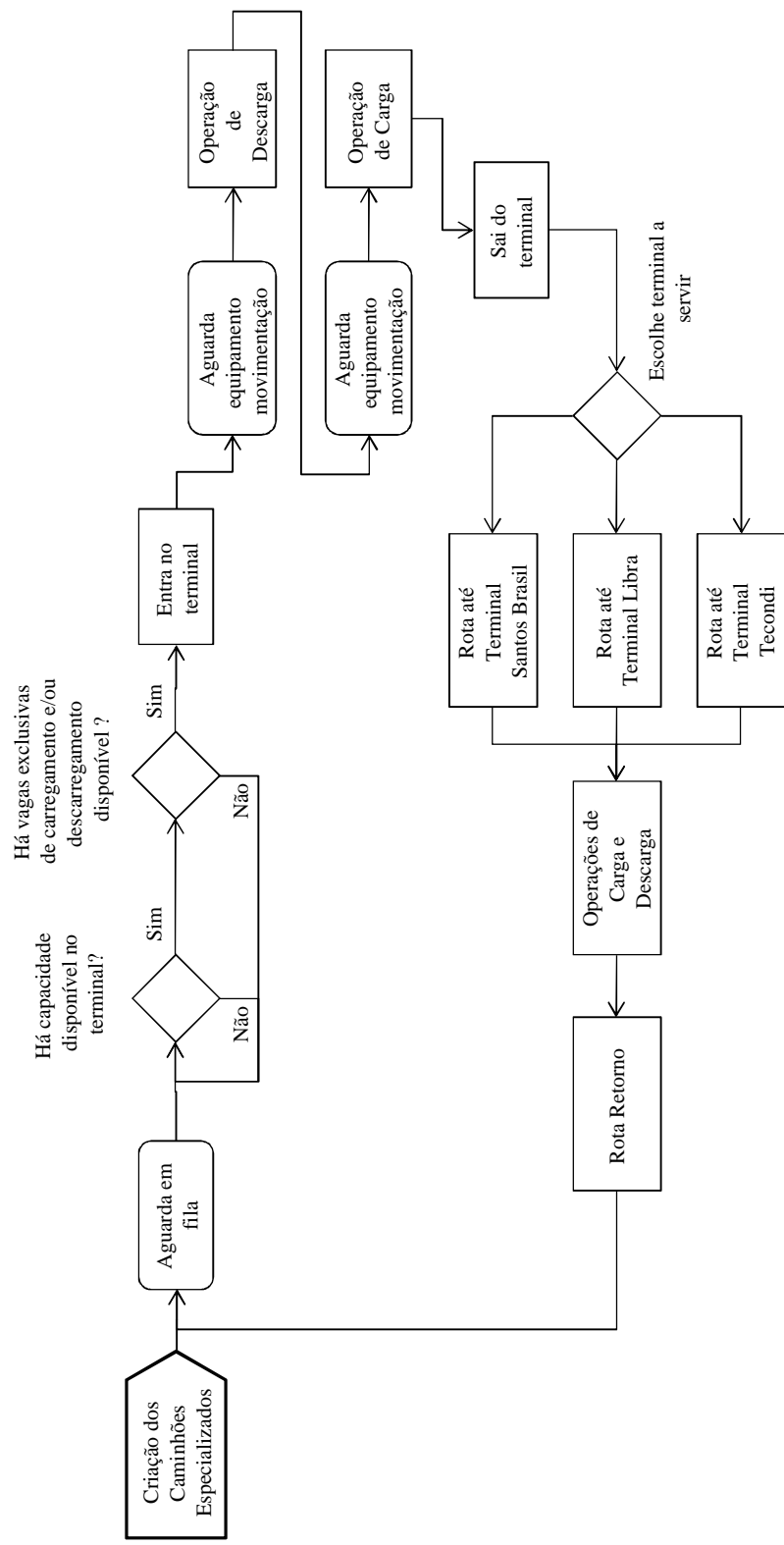


Figura 25 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário

A outra parte da operação rodoviária do terminal diz respeito à operação dos caminhões pertencentes ao próprio terminal. Sua operação segue basicamente o mesmo processo da operação do caminhão convencional, exceto pelas “regalias” a que tem direito. Os caminhões da própria operadora esperam em uma fila própria para adentrar o terminal regulador, diferente da fila dos caminhões convencionais, mas também têm sua entrada restringida pela avaliação da capacidade estática momentânea do terminal e por limitação de operações simultâneas de carga e descarga. As posições de carga e descarga que lhes são destinadas são, porém, exclusivas, e foram determinadas pela operadora: 5 posições de carga e 5 posições de descarga. A execução das operações de carga e descarga está, porém atrelada à disponibilidade de equipamentos movimentação, os *reach-stacker* definidos anteriormente, e que serão divididos entre a operação de todos os modais. Outra diferenciação entre as operações dos caminhões da operadora é que eles sempre realizam a carga e a descarga no terminal e nunca saem do sistema, realizando a ligação entre o terminal regulador e as margens esquerda e direita.

Inicialmente, a configuração do terminal regulador conta com o serviço de 20 caminhões próprios, operando ininterruptamente.



**Figura 26 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário Especializado**



## 8.5 Operação do Modal Aquaviário

A operação do modal aquaviário é gerenciada, basicamente, pela chegada de navios de contêiner ao porto. Isso porque os terminais, que contam com berços de atracação limitados, não estão dispostos a ceder tempo, durante o qual poderiam receber navios de grande porte, para a operação das barcaças. Assim, a realização da operação das barcaças fica restrita à disponibilidade de janelas nas operações dos navios de contêiner.

Dadas essas limitações de operação, a operadora optou pela aquisição e operação de apenas 1 barcaça para configuração inicial do modelo, a fim de efetuar posterior avaliação de desempenho e aquisição, ou não, de novas barcaças. A barcaça-tipo que será utilizada tem capacidade para 32 unidades de contêiner, além de sistema de autopropulsão, que elimina a necessidade de empurrador.



**Figura 27 – Barcaça-tipo, com capacidade para 32 contêineres**

A barcaça que é gerada no sistema, chega ao cais de atracação do terminal regulador. Uma vez atracada, a barcaça espera por disponibilidade de capacidade estática do terminal para descarregar. O descarregamento da barcaça é efetuado em um pátio auxiliar, onde os contêineres esperam pela chegada dos *reach-stackers* para transferência para o pátio principal. Simultaneamente, novos contêineres são transferidos do pátio principal para o pátio auxiliar das barcaças para seu posterior carregamento na barcaça e envio aos terminais de contêiner. A barcaça então, carregada, aguarda por uma janela de tempo

suficientemente grande para que realize a rota até o terminal, descarregue os contêineres enviados pelo terminal regulador e carregue novos contêineres. Uma vez realizadas tais operações, a barça libera o berço do terminal e retorna ao terminal regulador.

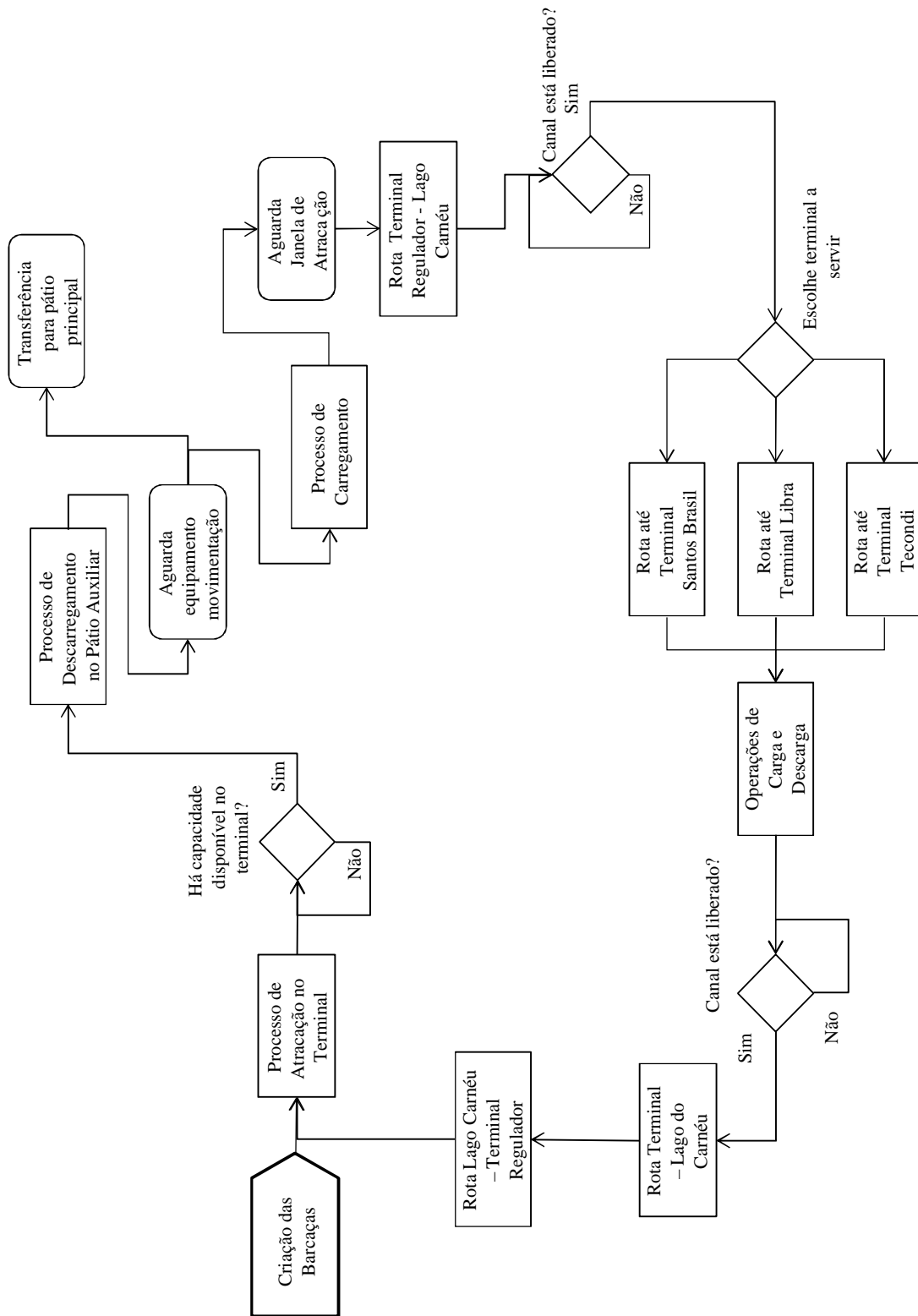


Figura 28 – Diagrama da Operação do Modal Rodoviário Especializado

Há diversas outras restrições ainda referentes à operação da barcaça. O porto de Santos opera com restrições operacionais de diversas categorias, principalmente referentes à situações de cruzamento, ultrapassagem e velocidade de navegação no canal. O canal só pode ser navegado por uma embarcação de cada vez. Regulamenta-se também que a velocidade máxima de navegação é de 8 nós (14,4 km/h). Já nas hidrovias no final do canal, a velocidade máxima é de 4 nós (7,2 km/h), devido ao efeito SQUAD (originado pelo deslocamento do navio em águas rasas e que causa variações de pressão na massa líquida, que podem derrubar o navio, além de afetar seriamente a capacidade de governo). Além disso, não é permitido o cruzamento de quaisquer navios nas hidrovias e no canal do porto, os cruzamentos também são limitados. Assim, a rota da barcaça é dividida em duas etapas, sendo:

- do cais de atracação no terminal regulador até Largo do Carnéu, através do Rio Cubatão: o Largo do Carnéu marca o ponto final do estuário santista, onde desemboca o Rio Cubatão. A operação nesse trecho com 7,4 quilômetros de extensão é concorrida apenas por outras barcaças, se existirem. O cruzamento é estritamente proibido. Devido a limitações operacionais, regula-se a velocidade máxima de navegação de 7,2 quilômetros por hora;
- do Largo do Carnéu até o terminal de contêiner: esse trecho do percurso é dividido com os navios de grande porte que chegam ao Porto. Portanto, antes de percorrê-lo é necessária a verificação de sua disponibilidade. No trecho, a velocidade média da barcaça atinge 14,4 quilômetros por hora.

## **8.6 Operação Ferroviária**

A operação ferroviária no terminal regulador é, certamente, a mais complicada. Primeiro pois envolve uma série de aspectos (muitos deles não serão incluídos no modelo) referentes ao compartilhamento da linha férrea e de material rolante. Certamente haveria a necessidade de contratação de um mutirão de advogados para elaboração dos contratos de compartilhamento da linha férrea, cooperação operacional, etc. entre o terminal e as operadoras da Baixada Santista.

Além disso, a utilização do modal ferroviário apresenta inúmeras restrições operacionais, envolvendo limitações como o comprimento máximo da composição, velocidade de tráfego, horário de tráfego e ocupação da linha férrea.

No problema em estudo, a configuração da operação do modal ferroviário será estabelecida em função da ocupação atual dos ramais ferroviários, ou seja, será feita a avaliação da ocupação atual da linha férrea e, a partir daí, serão configuradas janelas para a operação do modal ferroviário, submetida a todas as restrições propostas.

A explicação da operação do modal ferroviário será melhor compreendida com a visualização do esquema completo do sistema ferroviário da Baixada Santista, na figura que segue.

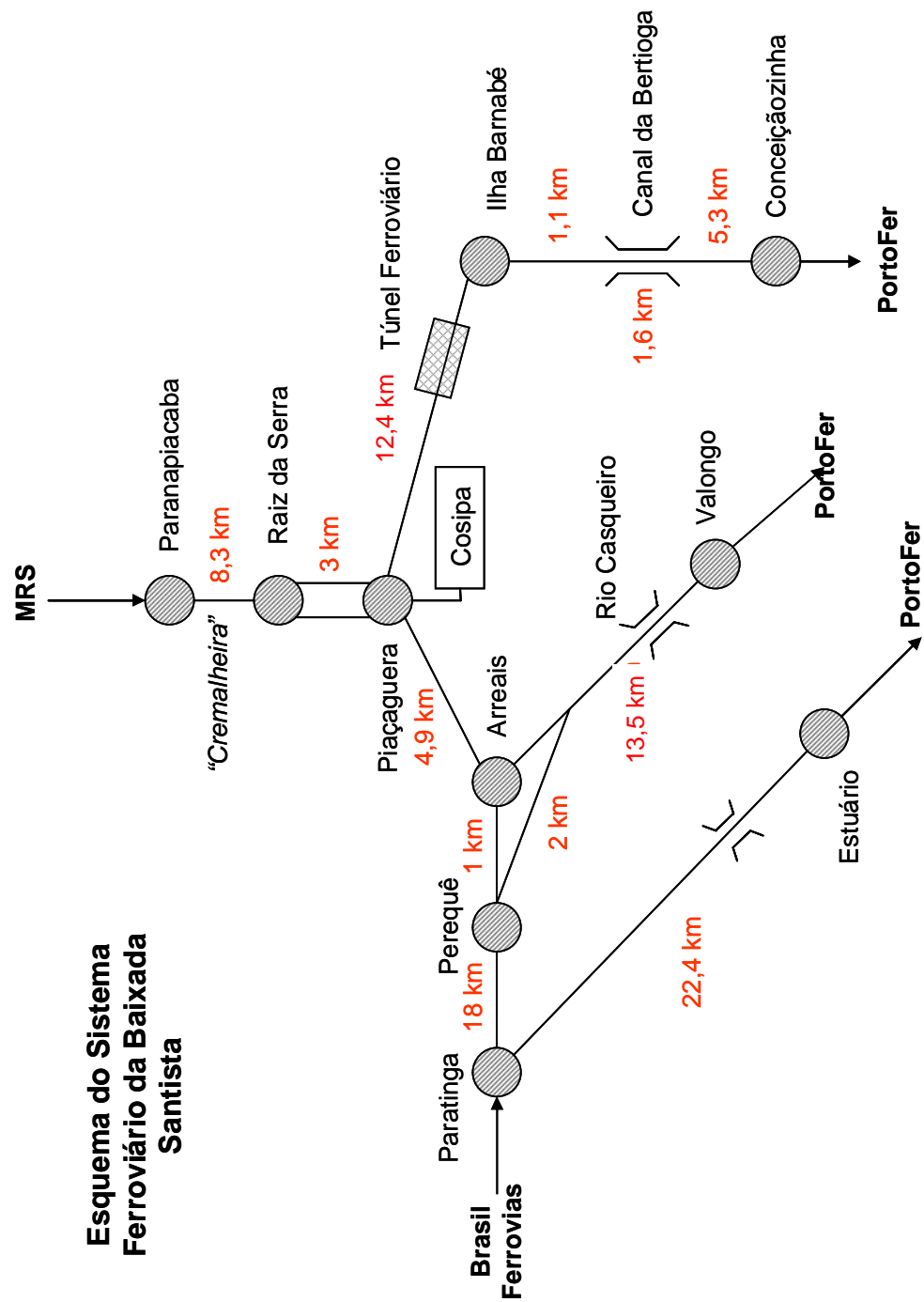


Figura 29 – Esquema do sistema ferroviário da Baixada Santista

O primeiro ponto a destacar na figura são as equivalências físicas entre os pátios ferroviários apresentados e o terminal regulador e os terminais de contêiner do Porto de Santos:

- Terminal Regulador: Pátio Arreais
- Santos Brasil: Pátio Conceiçãozinha
- Tecondi: Pátio Valongo

O terminal da Libra não compreende a nenhum pátio apresentado no esquema. Apesar de existir sim linha férrea que siga até o terminal da Libra (administrada pela PortoFer), optou-se por deixá-lo fora do alcance do serviço prestado pelo terminal regulador. Assim, só haverá ligação ferroviária entre o terminal regulador e os terminais da Santos Brasil e do Tecondi.

O esquema acima evidencia a predominância de linhas singelas no sistema ferroviário – apenas o trecho Piaçaguera-Raiz da Serra possui linha dupla. Assim, cada trecho só pode ser ocupado por uma composição, havendo possibilidade de cruzamento apenas nos pátios ferroviários, cujas capacidades já foram apresentadas no trabalho.

Outro ponto a destacar é que, por não utilizar o ramal Paratinga-Estuário, que cruza a cidade de Santos, a operação ferroviária do terminal regulador não sofre restrições quanto ao horário de operação.

Como apresentado, há, contíguo ao terminal regulador, o Pátio Ferroviário Arreais, com capacidade estática para 350 vagões (para contêiner ou qualquer outro tipo). É a partir desse pátio que ocorre a operação do modal ferroviário no terminal regulador. Ali, há a formação de composições que se destinam aos terminais de contêiner do Porto de Santos. Para tanto, há a delimitação de um pátio auxiliar, onde são armazenados os contêineres que se destinam à formação da composição. Os contêineres são movimentados do pátio principal de contêineres do terminal até o pátio auxiliar através dos equipamentos de movimentação disponíveis.

A parte final da operação ferroviária merece atenção especial por diferenciar-se das outras apresentadas até agora. Uma vez formadas as composições, há que se aguardar por uma janela de tempo disponível para seu despacho, quando elas seguem até o terminal de contêiner estabelecido.

Ao chegar ao terminal de destino, a composição enviada é desfeita. Os vagões, carregados de contêineres, lá permanecem, e são submetidos à operação de descarga. Enquanto isso, a locomotiva retorna imediatamente ao terminal regulador. Trata-se, portanto, de uma operação de mão única, que apenas envia contêineres aos terminais santistas. O estabelecimento do sentido de mão-única para o transporte de contêineres deve-se à extrema dificuldade dos terminais de contêiner santistas em configurar uma estrutura adequada para movimentação ferroviária. Se o recebimento dos vagões para contêiner já é tarefa complicada, sua expedição é quase inviável.

Os vagões de contêineres que ficam retidos retornam ao terminal regulador algumas horas mais tarde, acoplados a composições de granel, cuja formação é muito mais freqüente e exequível do que a composição de trens de contêineres.



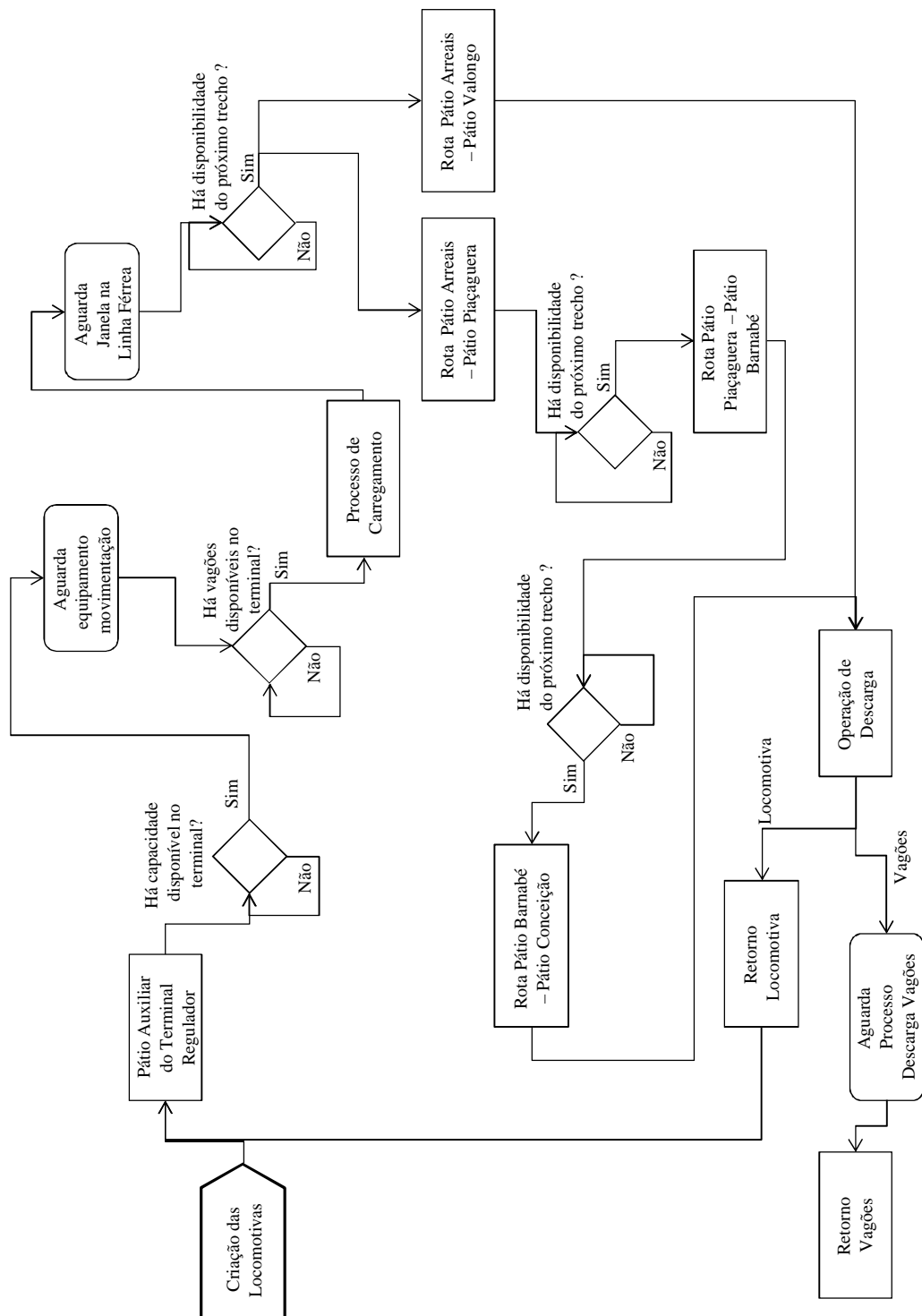


Figura 30 – Diagrama da Operação do Modal Ferroviário

## 9 Descrição do Modelo

Esse capítulo dedica-se à exposição e descrição do modelo de simulação construído em utilizando o software Arena. Uma apresentação da codificação do modelo pode ser encontrada no Anexo 12.2.

Devido a alta complexidade do problema, fica impossível representá-lo em um programa de simulação de forma a abordar todos os seus aspectos operacionais e comportamentais. Talvez não impossível, mas haveria necessidade de tempo descomunal e ajuda incalculável de outros programadores. A operação do terminal em estudo terá então sua representação simplificada em diversas oportunidades, de forma, porém, a manter o modelo válido, ou seja, condizente com o mundo real. Há também aspectos do problema que pouco ou nada interessam ao estudo, e sua incorporação ao modelo representaria apenas um incremento de complexidade sem nenhum ganho marginal satisfatório.

Segue a exposição dos diversos aspectos da operação do terminal representados no modelo.

### 9.1 Entidades do Modelo

Uma definição inicial e primordial a ser tomada para a construção do modelo é a escolha das **entidades** que o comporão. O que ocorre em diversos modelos de simulação portuária é a determinação do contêiner como **entidade** básica, considerando os outros elementos móveis do modelo como transportadores. No caso, como o modelo trata de um terminal multimodal, e a intenção é dimensionar a capacidade da intermodalidade, a escolha foi incluir no modelo, como **entidades**, as unidades básicas de cada modal representado.

- Caminhão: para a estruturação da representação do modal rodoviário no modelo foi considerada a existência de dois tipos de entidade caminhão.
  - § Convencional: trata do caminhão que originalmente seguiria até os terminais do Porto de Santos, mas tem sua demanda de movimentação absorvida no terminal regulador;

§ Especializado: representa a frota de caminhões pertencentes ao terminal regulador.

- Locomotiva: representa o modal ferroviário que liga o terminal regulador aos terminais de contêiner das margens esquerda e direita. O comboio completo foi considerado uma única entidade, e detalhamentos como número de vagões e composição da carga que compõe o comboio, são tratados como **atributos** da entidade.
- Barcaça: o tipo de barcaça considerada no modelo foi a barcaça de autopropulsão, que elimina a necessidade de rebocadores. As características específicas da barcaça, como capacidade de carga e velocidade, foram inseridas no modelo como **atributos**.

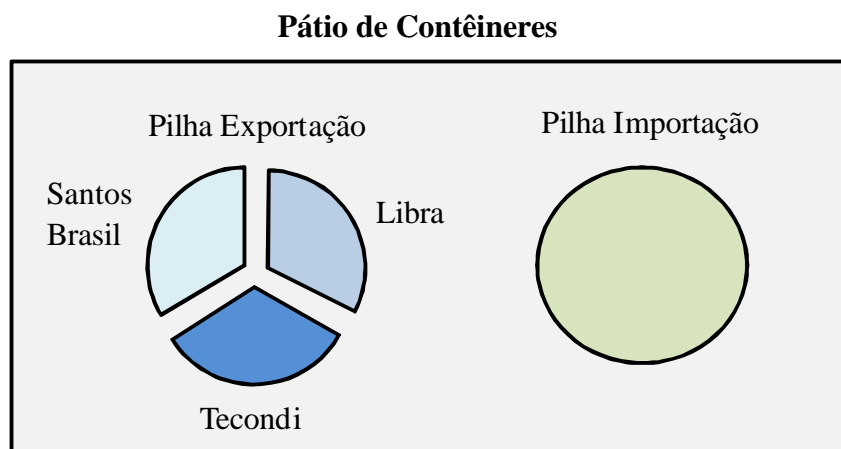
## 9.2 Layout do Terminal

A preocupação principal do modelo não é, exatamente, o dimensionamento estrutural do terminal, mas sim a determinação de sua capacidade de recebimento e expedição multimodal de carga. Assim, optou-se pela não inclusão de alguns aspectos estruturais, tais quais:

- layout das pilhas de contêineres (adensamento, configuração do pátio);
- layout interno dos modais: (layout das posições de estacionamento de caminhões, do ramal ferroviário, e da posição de atracação das barcaças);
- sistemas interno de controle de contêineres (pesagem, verificação sanitária, limpeza, reforma);

A configuração do pátio de contêiner foi simplificada pela determinação de quatro pilhas de contêineres, tratadas como **variáveis globais** no modelo, a citar: Pilha de Exportação Santos Brasil, Pilha de Exportação Libra, Pilha de Exportação Tecondi e Pilha de Importação, que são carregadas e descarregadas pelos modais que freqüentam o terminal regulador. As pilhas de exportação contêm contêineres que se destinam à exportação via Porto de Santos, divididas de acordo com o terminal de destino. A pilha de importação

contém contêineres oriundos da importação, também via Porto de Santos, que aguardam para ser retirados do terminal regulador.



**Figura 31 – Esquema da distribuição do pátio de contêineres do terminal regulador**

Associada às pilhas apresentadas, foi incluída no modelo outra **variável global** determinada de Capacidade Estática do Terminal, que indica a capacidade estática total do terminal e é fator limitante de sua operação. Consultas a terminais especializados de contêiner indicam que a ocupação ideal de um terminal do tipo deve ser, em média, de 75%.

### **9.2.1 Equipamentos Internos de Movimentação**

O outro aspecto do layout interno do terminal considerado no modelo foram os equipamentos de movimentação internos. Foi adotada, na concepção do terminal, a utilização apenas de equipamentos do tipo *reach stackers*. Esse tipo de equipamento oferece grande flexibilidade em comparação a outros métodos de movimentação, pois conta com elevada capacidade de deslocamento combinada a velocidade de operação de carga e descarga de contêineres. Como o equipamento a ser escolhido deve ser compartilhado entre todos os modais do pátio regulador, o *reach stacker* apresenta-se como melhor solução.



**Figura 32 – Exemplo de operação de descarga com um *reach stacker***

A proposta de configuração inicial do terminal regulador conta com a aquisição de 25 *reach stacker*, que foram inseridos no modelo como **transportadores**. O controle dos transportadores no modelo é efetuado a partir de um estacionamento inicial para todos os **transportadores**, modelado como uma **estação**. É a partir desse estacionamento inicial que os transportadores efetuam o deslocamento até o ponto do terminal onde há alguma demanda por movimentação de contêiner. Os possíveis pontos de geração de demanda são os pontos onde há transferência de contêiner entre o pátio do terminal regulador e os modais que a ele servem. Tais pontos foram configurados no modelo como **estações**, e houve a determinação de **caminhos** ligando-as, permitindo o fluxo dos **transportadores** (localização das estações – pontos onde há demanda por movimentação de contêineres: posições de carregamento e descarregamento dos caminhões convencionais e especiais, pátio auxiliar de carregamento/d Descarregamento das barcaças, pátio auxiliar de carregamento e descarregamento dos vagões, pilhas de exportação e importação).

## 9.3 Modal Rodoviário

### 9.3.1 Operação Interna no Terminal Regulador

Para representar e controlar a entrada e saída dos caminhões no terminal, foram inseridas no modelo **estações** correspondentes aos *gates* de entrada e de saída, sem preocupações de natureza estrutural.

Uma vez dentro do terminal, é desempenhado o controle de carga e/ou descarga dos caminhões. Há caminhões que realizam apenas o descarregamento do contêiner, outros apenas o carregamento e outros ainda as duas opções. Essas definições são estipuladas por **módulos assign** no momento da criação dos caminhões pelo modelo. Os caminhões especializados realizam a carga e a descarga sempre. Outra determinação dos **módulos assign** é o destino final dos caminhões, que permite a atualização correta das quantidades de contêineres presente nas pilhas de exportação (Santos Brasil, Libra e Tecondi) e de importação, tratadas no modelo como **variáveis**.

As operações de carga e descarga foram representadas por **processos**, que utilizam os **recursos posição específica** para carga ou descarga. A execução de tais **processos** é dependente da disponibilidade de **transportadores** no pátio do terminal regulador. Ou seja, no momento em que o **recurso posição** de carga ou descarga é ocupado, há a geração de um **pedido** pela disponibilização de um **transportador** para conclusão da operação. .

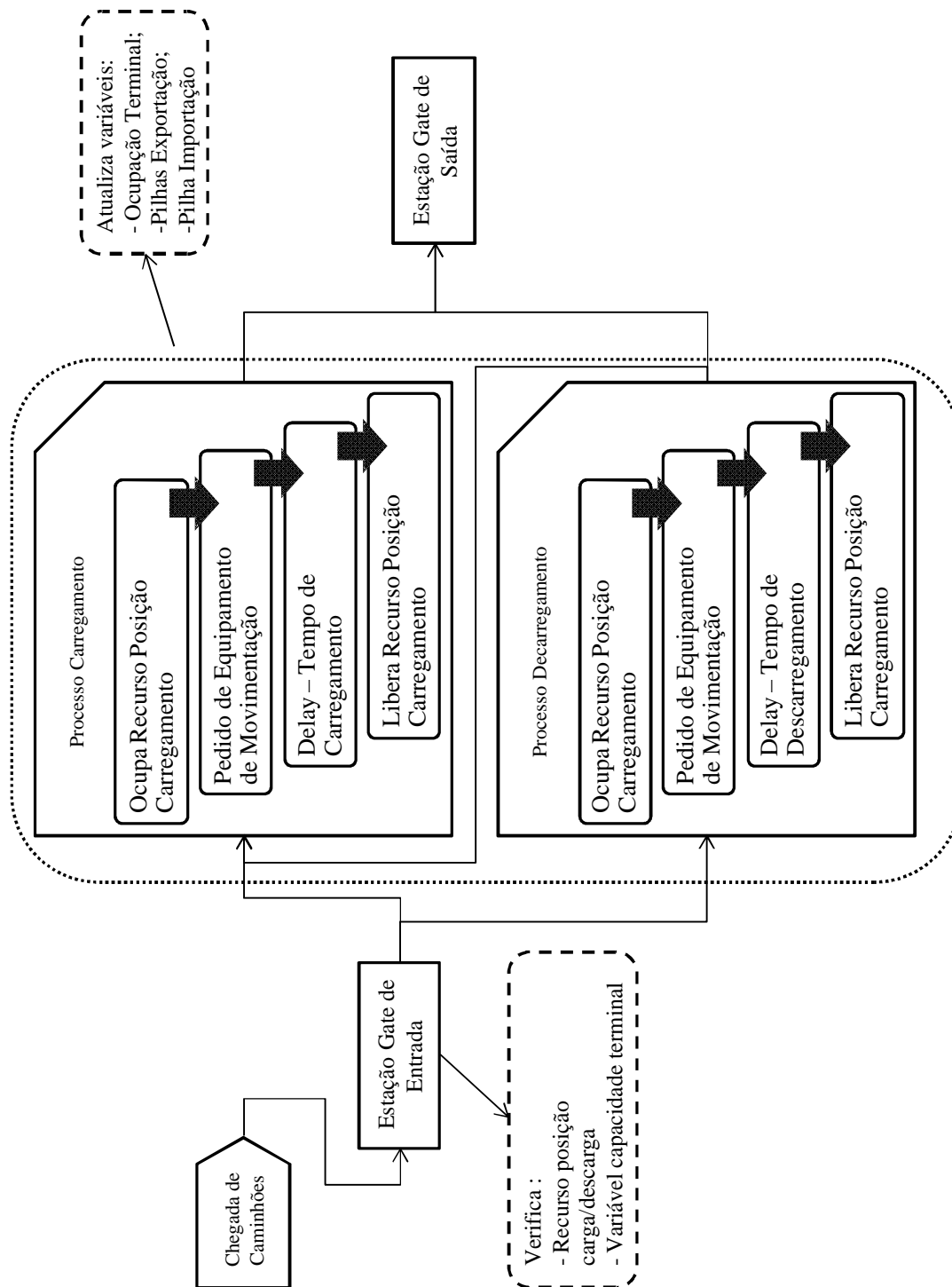
A avaliação dos tempos das operações de carregamento e descarregamento foi feita através de estudos comparativos a operação hoje realizada em terminais portuários especializados. Foram analisados dados referentes às duas operações em condições semelhantes às esperadas para operação do terminal regulador. Trata-se de uma operação bastante padrão, que conta com poucos elementos de aleatoriedade. Portanto, foram considerados os seguintes tempos (para os caminhões convencionais):

- tempo de carregamento: **5 minutos**
- tempo de descarregamento: **7 minutos**

Para os caminhões especializados, espera-se uma redução de até 30% do tempo nos processos de carregamento e descarregamento. Determinou-se, sob condições especiais, as seguintes distribuições relativas à operação dos caminhões especializados:

- tempo de carregamento: **3,5 minutos**
- tempo de descarregamento: **4,9 minutos**

Outro aspecto considerado no modelo foi o dimensionamento numérico do **recurso** posição de carregamento e descarregamento de caminhões. A operação dos caminhões convencionais e dos caminhões especiais, como já descrita, é feita de forma diferenciada e foram portanto modeladas posições exclusivas para cada tipo de caminhão. O dimensionamento de tais **recursos**, que atuam como gargalo operacional do terminal, fica a cargo do programador, que o faz através de **variáveis globais** do modelo. A operação dentro do terminal fica, então, assim estruturada:



**Figura 33 – Diagrama do Modelo em ARENA da Operação Interna do Modal Rodoviário**



### 9.3.2 Geração de Caminhões e Rotas Rodoviárias

Parte importante do modelo desenvolvido referente ao modal rodoviário corresponde à operação dos caminhões. Os dois tipos de caminhão do modelo (convencionais e especiais) são tratados no modelo como **entidades**.

Os caminhões especiais, que pertencem ao terminal regulador e fazem a ligação ininterrupta entre o terminal regulador e os terminais de contêiner do Porto de Santos, são gerados no modelo através do **módulo de criação de entidades**, em um processo de batelada única. A determinação da quantidade de caminhões especializados a ser gerada fica a cargo do programador.

Já os caminhões convencionais, que descem a serra e chegam ao terminal regulador, são também gerados através de **módulo de criação de entidades**. Sua geração é porém, um processo contínuo. Através dos dados apresentados em capítulos anteriores no relatório e outros dados mais fornecidos pelas administradoras rodoviárias, foi possível estabelecer uma distribuição de intervalo entre chegadas para os caminhões. Para a determinação do padrão de chegada dos caminhões foram levados em consideração índices de sazonalidade, que afetam diretamente o processo de chegada dos caminhões ao terminal regulador. São eles: Índice de Sazonalidade Mensal, Semanal e Diário. Tais índices foram tratados como fatores multiplicadores do intervalo de tempo de chegada padrão. Abaixo são apresentados os índices de sazonalidade a serem aplicados no modelo:

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
1,01	0,92	1,09	1	0,98	1,06
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1,12	1,18	1,14	1,02	0,94	0,96

Tabela 23 – Índice de Sazonalidade Mensal (ISM)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
1,09	1,07	1,05	1,05	1	0,95	0,79

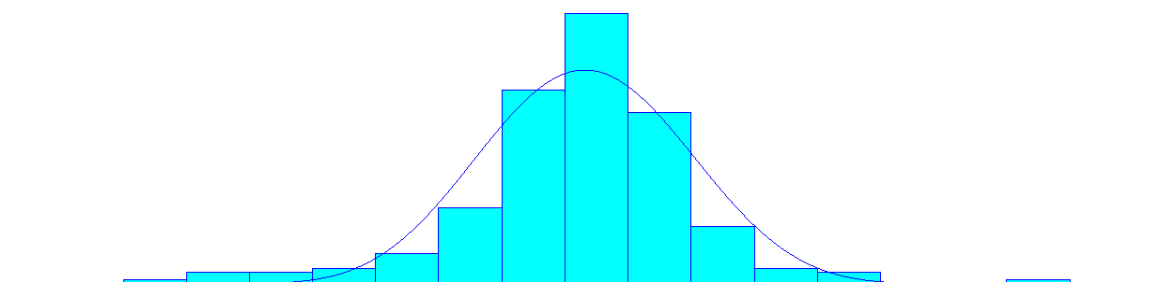
Tabela 24 – Índice de Sazonalidade Semanal (ISS)

1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	12 h
0,7	0,7	0,75	0,82	0,92	1	1,08	1,09	1,15	1,18	1,15	1,1
13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	24 h
1,12	1,12	1,19	1,2	1,18	1,15	1,12	1,08	1	0,92	0,85	0,8

**Tabela 25 – Índice de Sazonalidade Diário (ISD)**

Os dados obtidos foram devidamente tratados através da utilização do **Input Analyzer**, software que acompanha o **Arena**, e essa e todas as análises estatísticas realizadas para construção do modelo estão descritas detalhadamente no Anexo12.1.

A distribuição padrão obtida, que corresponde a uma sexta-feira do mês de Abril, às 6 horas, foi a distribuição **1+ 12,5\* Beta (10,3;10,8)**, representada pelo histograma abaixo.



**Figura 34 – Histograma da distribuição do intervalo entre chegadas de caminhão padrão**

Para entender a aplicação dos índices de sazonalidade, vamos avaliar o intervalo de chegadas de caminhões em um sábado de novembro às 20 horas. O intervalo padrão de chegadas é a distribuição **1+ 12,5 \* Beta (10,3; 10,8)**. No caso, porém, esse intervalo será dado pela função:

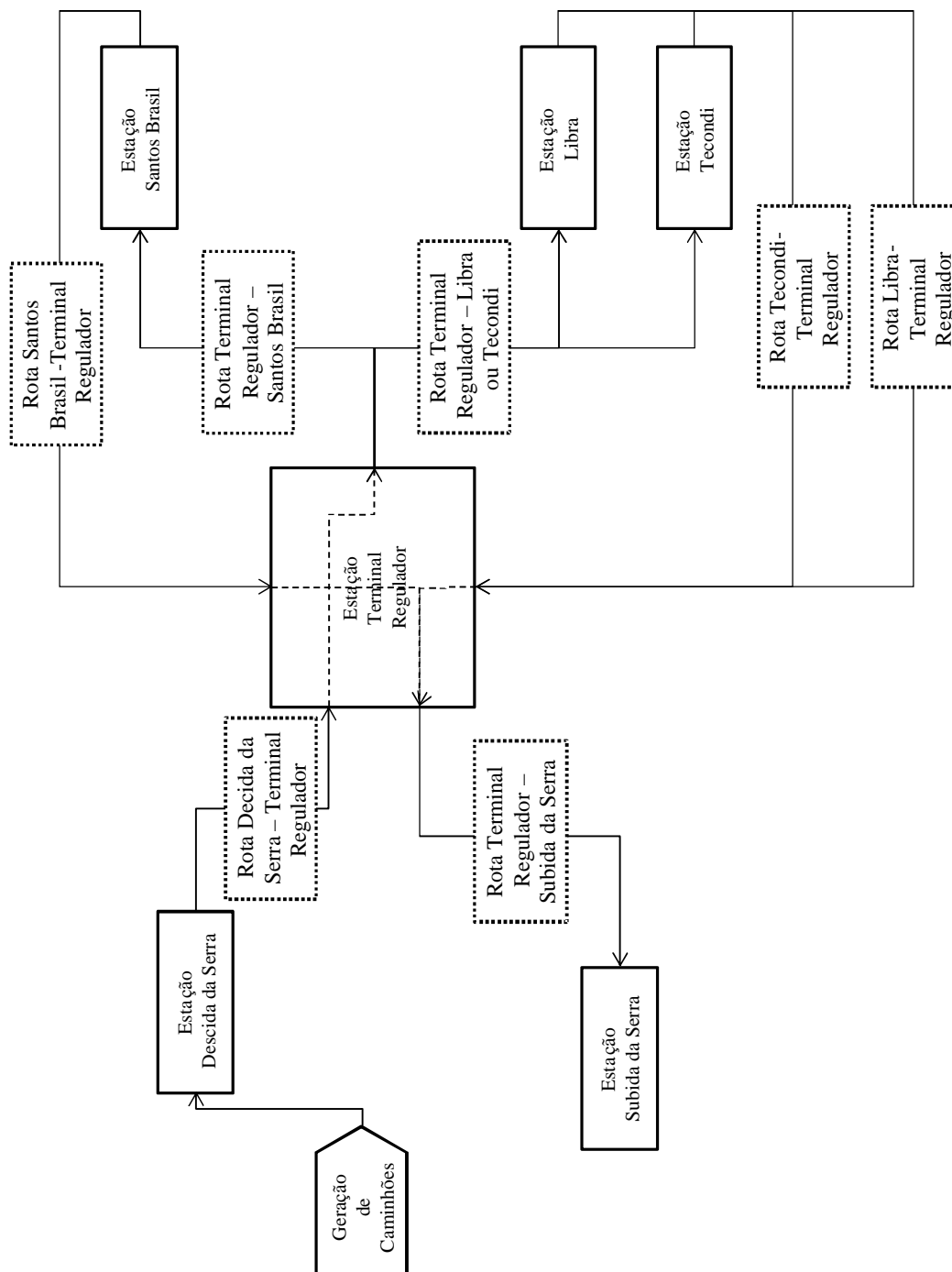
$$\frac{1 + 12,5 * Beta (10,3;10,8)}{ISM \times ISS \times ISD} = \frac{1 + 12,5 * Beta (10,3;10,8)}{0,94 \times 0,95 \times 1,08} = \frac{1 + 12,5 * Beta (10,3;10,8)}{0,964}$$

Para configuração física do modal rodoviário, foram estabelecidas, no modelo, diversas **estações** referenciais do sistema:

- Estação Decida da Serra: ponto onde são criados no sistema os caminhões convencionais que seguem até o terminal regulador;
- Estação Terminal Regulador: representa o complexo do terminal regulador;

- Estação Santos Brasil: representa o terminal da Santos Brasil, na margem esquerda do Porto de Santos;
- Estação Libra: representa o terminal da Libra, na margem direita do Porto de Santos;
- Estação Tecondi: representa o terminal do Tecondi, na margem direita do Porto de Santos;
- Estação Subida da Serra: fisicamente, coincide com a Estação Descida da Serra, mas representa o ponto onde os caminhões convencionais são eliminados do modelo, quando retornam do terminal regulador;

Essas estações são ligadas através de **rotas**, também configuradas no modelo em desenvolvimento. A configuração física das rotas pode ser descrita através da figura que segue:



**Figura 35 – Diagrama do Modelo em ARENA das Rotas e Estações Rodoviárias**

Através da avaliação da extensão das rotas e de avaliações das condições de tráfego e velocidade média, foi determinado o tempo de percurso das rotas apresentadas. Os tempos de rota foram tratados no problema como variáveis estocásticas. Isso porque compreendeu-se que não há elemento que insira aleatoriedade suficiente no percurso.

Terminais	Trecho Rodoviário		Trecho Urbano		Tempo de Percurso (h)
	(km)	(km/h)	(km)	(km/h)	
Santos Brasil	21,9	30	2,4	7	1,07
Tecondi	12,3		3,5		0,91
Libra	13,4		10,5		1,95

**Tabela 26 – Cálculo do tempo de percurso rodoviário entre o terminal regulador e os terminais de contêiner**

O terminal de destino dos caminhões é determinado através do **módulo assign** e essa determinação é realizada segundo a seguinte distribuição de probabilidade:

- 60% - Santos Brasil;
- 25% - Libra;
- 15% - Tecondi.

Essa distribuição foi baseada na movimentação total anual de contêineres por cada terminal. Assim, o terminal da Santos Brasil, que opera mais de 1 milhão de contêineres anos recebe prioridade frente aos terminais da Libra (cerca de 500 mil contêineres movimentados/ano) e do Tecondi (cerca de 200 mil contêineres movimentados/ano).

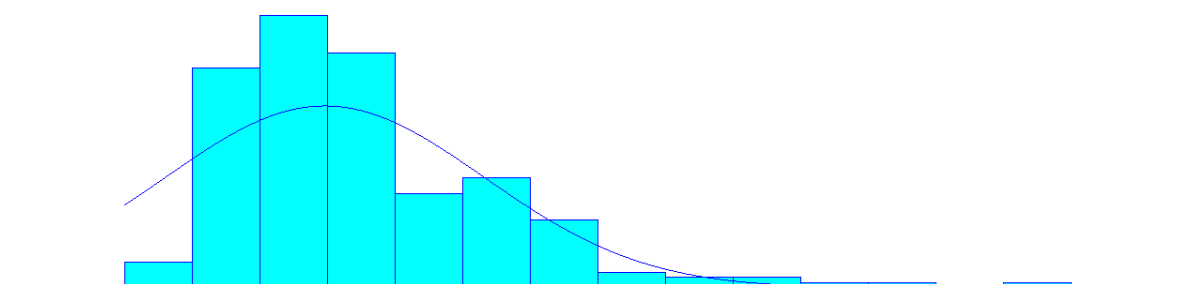
## 9.4 Modal Aquaviário

Como já citado, a operação do modal aquaviário é gerenciada pela chegada de navios conteineiros ao porto, uma vez que as barcas operam entre as suas janelas de atracação. Assim, a primeira etapa da modelagem do modal aquaviário envolve a modelagem desse padrão de chegada de navios, para posterior geração das janelas de atracação nos terminais de contêiner.

### 9.4.1 Geração de navios e janelas de atracação

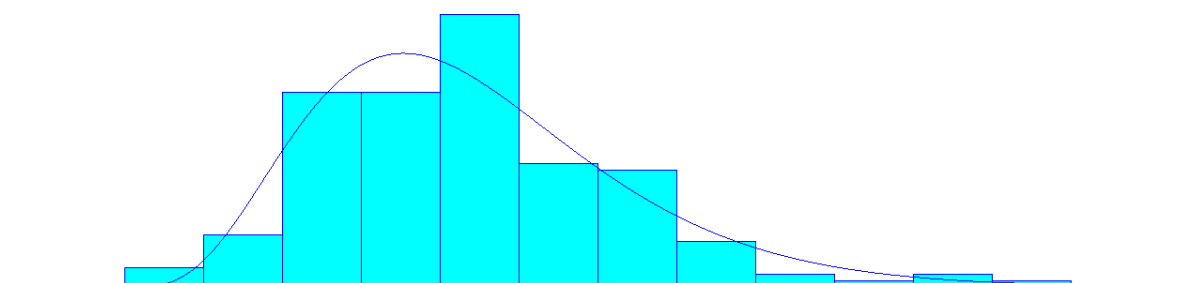
A geração de navios no modelo será baseada em dados obtidos junto à administração portuária de Santos para os três terminais de contêiner em estudo. Segundo a análise dos dados, os navios adentram no terminal segundo as distribuições abaixo:

**Terminal Santos Brasil: Normal (9.17, 2.53)**



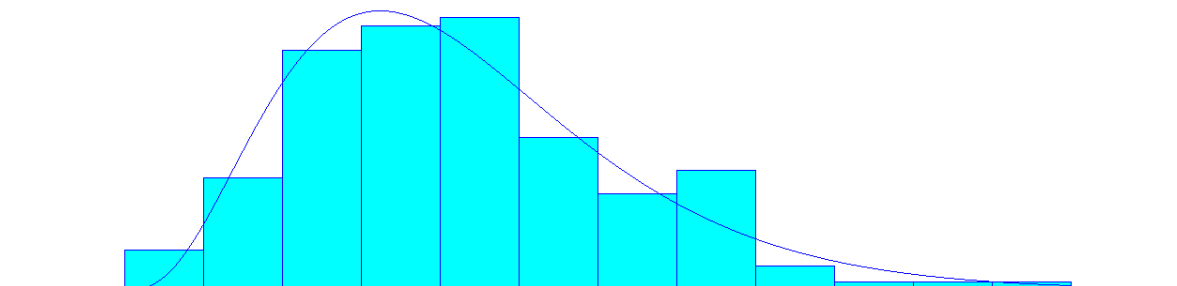
**Figura 36 – Histograma da chegada de navios ao terminal da Santos Brasil**

**Terminal Tecondi: 8 + Erlang (1.4, 5)**



**Figura 37 – Histograma da chegada de navios ao terminal do Tecondi**

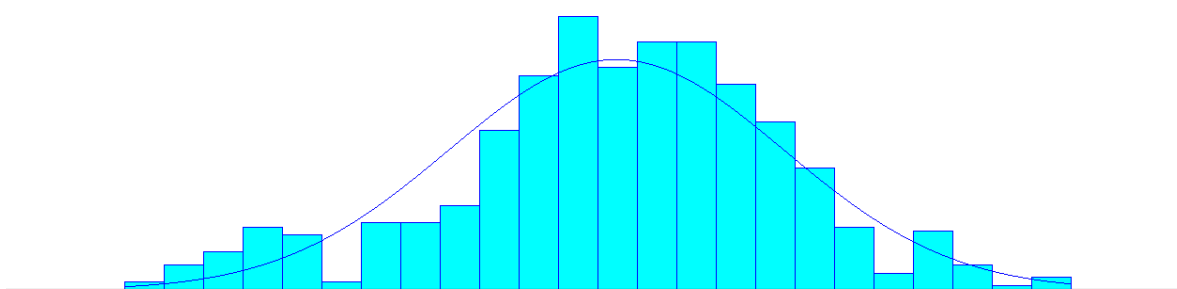
**Terminal Libra: 5 + Erlang (1.64, 4)**



**Figura 38 – Histograma da chegada de navios ao terminal da Libra**

O tempo médio de atracação dos navios nos terminais santista foi avaliado considerando-se dados disponibilizados pelos próprios terminais. Para determinação do tempo de atracação de cada navio ao respectivo terminal, foi considerado o tempo total de ocupação do berço, considerando que o navio ocupa o berço não no momento exato que atraca, mas já a partir do momento em que entra no canal. Chegou-se à seguinte distribuição de tempo:

**Normal (14,9; 3,37)**



**Figura 39 – Histograma do tempo médio de atracação dos navios**

Através então do **módulo de criação**, serão gerados os navios correspondentes a cada terminal de contêiner, segundo as distribuições estatísticas apresentadas. No momento em que são gerados, os navios dirigem-se à **estação entrada do porto**, onde formam três filas correspondentes ao seu terminal de atracação e aguardam pela liberação do recurso berço, associado a cada terminal (Santos Brasil e Libra – 2 berços cada; Tecondi – 1 berço). Após a liberação do berço, o navio adentra no porto, ocupando o recurso **canal** durante a **rota** até a **estação** a que se destina (**Estações Berço Santos Brasil, Berço Tecondi ou Berço Libra**). No mesmo instante em que adentra no canal, o navio já ocupa o **recurso berço** específico de cada estação, reservando-o para sua operação.

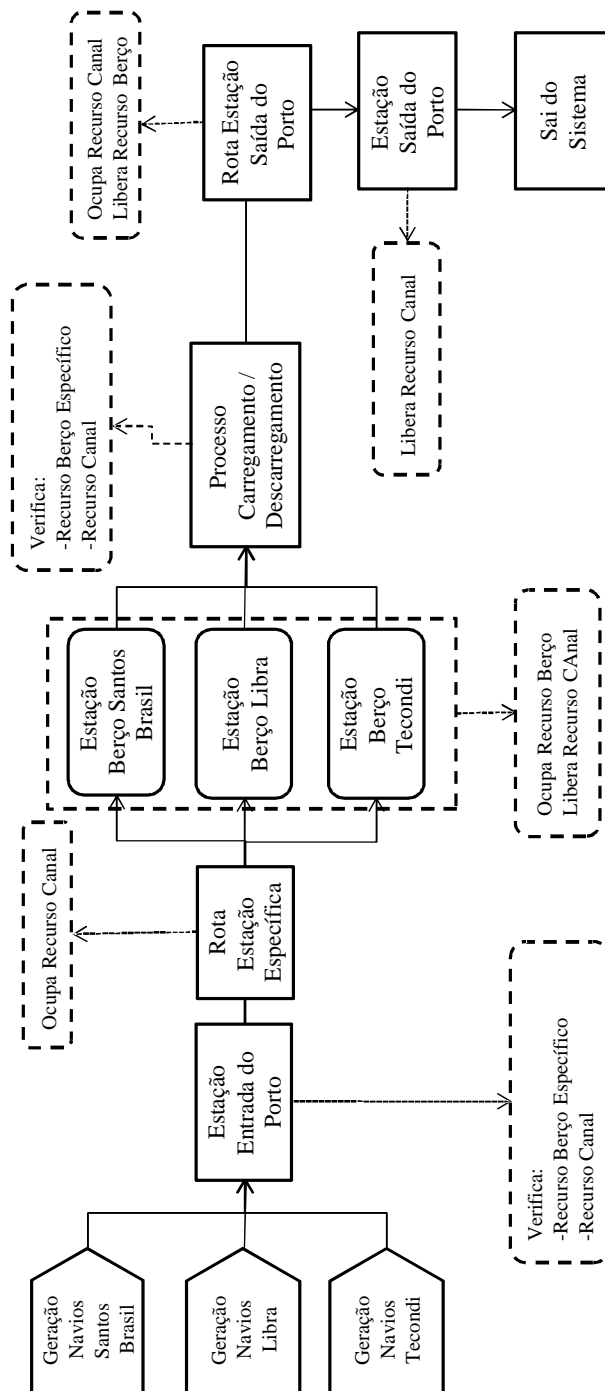
Ao atracar, o navio libera o **recurso canal**, permitindo a navegação de outras embarcações, e permanece atracado realizando as operações de carga e descarga. Ao final das operações, o navio aguarda pela liberação do **recurso canal** para deixar o porto. Quando o canal encontra-se livre, o navio então libera o **recurso berço** em que está atracado e segue em

**rota** rumo à **estação saída do porto** (que equivale fisicamente à **estação entrada do porto**).

Terminal	Rotas Entrada/Saída Porto - Terminais		
	Distância (km)	Velocidade de Navegação (km/h)	Tempo de Navegação (h)
Santos Brasil	10,4	14,4	0,72
Libra	8,4		0,58
Tecondi	16,4		1,14

**Tabela 27 – Dados rota aquaviária Entrada/Saída do Porto – Terminais de Contêiner**





**Figura 40 – Diagrama do Modelo em ARENA para controle das janelas de tempo de atracação das barcas**

#### 9.4.2 Rota das barcas

A criação das barcas ocorre através de um **módulo de criação**. Na configuração inicial do modelo, só há a geração de uma única barca. Uma vez gerada, a barca encaminhase para a **estação Cais do Terminal Regulador**, localizada fisicamente junto ao Terminal Regulador, em um braço do Rio Cubatão, onde ela ocupa o **recurso** cais do terminal regulador, que será mais tarde associado ao processo de carga e descarga no terminal.

Ao chegar ao cais, há a verificação da **variável global Capacidade do Terminal Regulador**. Se há capacidade disponível para o descarregamento completo da barca, há então a requisição de equipamento de movimentação (**transportadores** inseridos no modelo) para iniciar o **processo carregamento e descarregamento da barca**; caso contrário, a barca aguarda em **módulo de espera** até que haja capacidade estática disponível.

O carregamento e descarregamento das barcas são tratados no modelo como um **processo**. A duração do processo é representada no modelo por uma **variável determinística**, a saber:

**Tempo de Duração Carregamento e Descarregamento da Barca = 3,5 horas**

Ao finalizar o processo de carregamento e descarregamento, a barca libera o **recurso berço** associado ao cais de atracação do terminal regular e inicia sua rota a um terminal de contêiner específico. O terminal de destino é determinado através do **módulo assign** e essa determinação é realizada segundo a mesma distribuição de probabilidade adotada para a determinação do destino dos caminhões que saem do terminal regulador rumo ao Porto de Santos.

- 60% - Santos Brasil;
- 25% - Libra;
- 15% - Tecondi.

Assim, após a determinação do terminal de destino da barça, inicia-se sua navegação. Como descrito anteriormente, a navegação é dividida em duas etapas:

- do cais de atracação no terminal regulador até Largo do Carnéu, através do Rio Cubatão;
- do Largo no Carnéu até o terminal de contêiner;

Essas etapas são definidas através de **rotas**, que conectam as **estações: Cais do Terminal Regulador, Largo do Carnéu, Berços da Santos Brasil, Berços da Libra e Berços do Tecondi**.

Os tempos das rotas são considerados determinísticos no modelo, segundo dados apresentados previamente, podem ser assim resumidos:

Rota Cais Terminal Regulador - Largo Carnéu		
<b>Distância</b>	7,4	km
<b>Velocidade de Navegação</b>	7,2	km/h
<b>Tempo de Navegação</b>	1,03	h

**Tabela 28 – Dados rota aquaviária Cais Terminal Regulador – Largo Carnéu**

Rota Largo Carnéu - Terminal Santos Brasil		
<b>Distância</b>	11,8	km
<b>Velocidade de Navegação</b>	14,4	km/h
<b>Tempo de Navegação</b>	0,82	h

**Tabela 29 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Santos Brasil**

Rota Largo Carnéu - Terminal Libra		
<b>Distância</b>	12,2	km
<b>Velocidade de Navegação</b>	14,4	km/h
<b>Tempo de Navegação</b>	0,85	h

**Tabela 30 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Libra**

Rota Largo Carnéu - Terminal Tecondi		
<b>Distância</b>	5,1	km
<b>Velocidade de Navegação</b>	14,4	km/h
<b>Tempo de Navegação</b>	0,35	h

**Tabela 31 – Dados rota aquaviária Largo Carnéu – Terminal Tecondi**

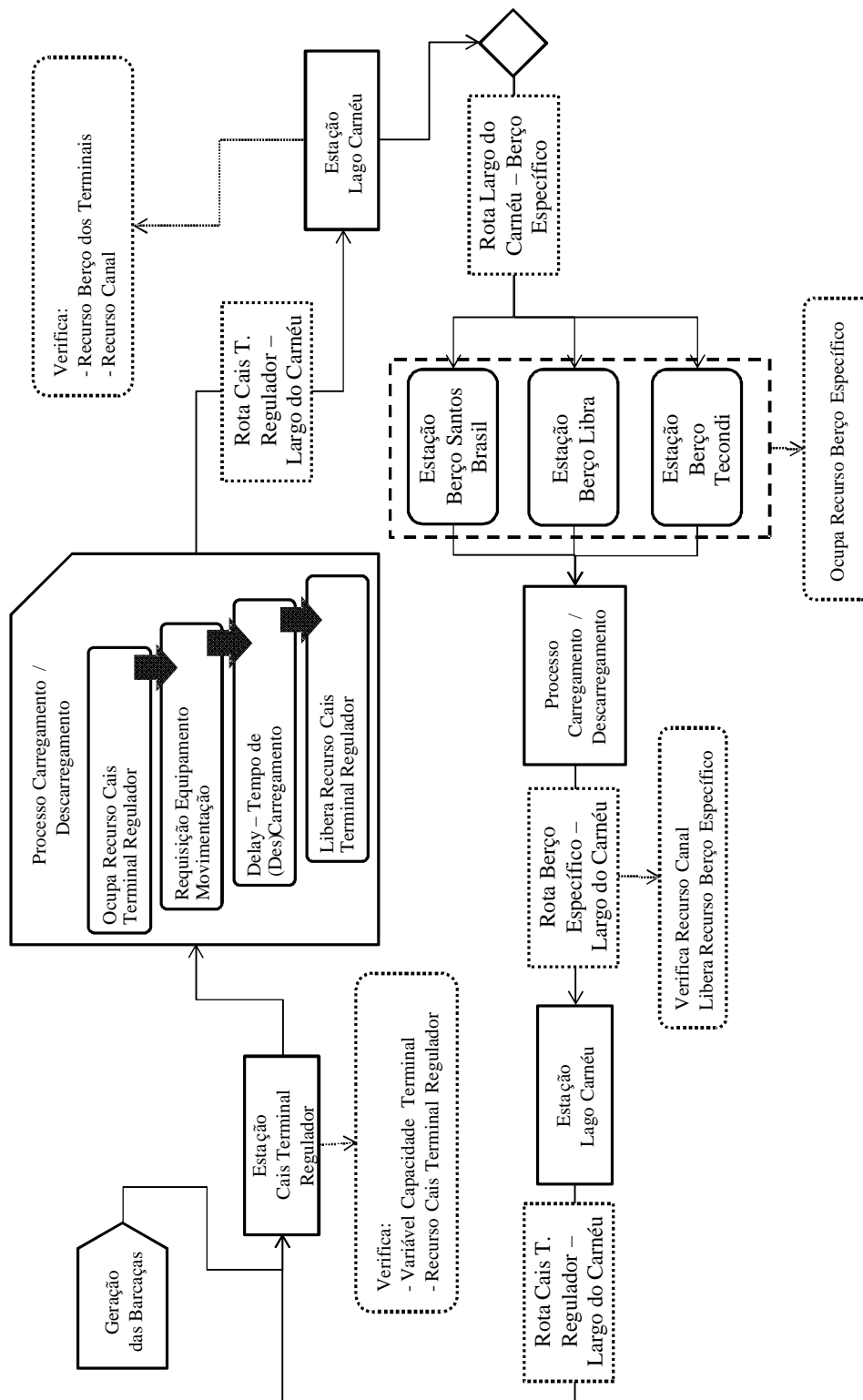
Antes de percorrer as **rotas** que ligam o Largo do Carnéu aos berços dos terminais de contêiner, é necessário que haja a verificação do **recurso canal** e do **recurso berço** associado ao terminal específico que se destina a barcaça, definidos anteriormente no processo de geração de navios que atracam no terminal. Uma vez que estejam livres o canal do porto e o berço a que se destina a barcaça, ela pode executar a segunda parte da rota.

Chegando ao terminal de destino, a barcaça **ocupa o recurso** disponível berço, e inicia o **processo** de carregamento e descarregamento da barcaça, que tem duração determinística idêntica ao **processo** equivalente realizado no terminal regulador.

#### **Tempo de Duração Carregamento e Descarregamento da Barcaça = 3,5 horas**

Finalizado o **processo**, a barcaça inicia os procedimentos de retorno ao terminal regulador. Para tal, verifica a utilização do **recurso canal**, aguardando, se necessário, sua liberação. Com o canal liberado, a barcaça libera o **recurso** berço e inicia a **rota** até o Largo do Carnéu e, na seqüência, até o Terminal Regulador, onde se inicia o processo novamente.

Observa-se, na construção da parte do modelo referente à operação do modal aquaviário, a utilização de algumas variáveis determinísticas. Tal proposição é justificável uma vez que esse tipo de operação aqui modelada simplesmente não existe. Ou seja, não há dados concretos reais para que seja possível a avaliação estatística dos processos envolvidos.



**Figura 41 – Diagrama do Modelo em ARENA para controle das rotas e carregamentos/descarregamento das barcas**

## 9.5 Modal Ferroviário

Como proposto anteriormente, a operação do modal ferroviário será gerenciada pela avaliação da ocupação da linha atualmente. A escolha por esse tipo de abordagem foi concretizada devido a pouca disponibilidade de dados referentes à chegada de trens na Baixada Santista. Por outro lado, se não é possível configurar um padrão de chegada de trens, é possível avaliar características operacionais como: tamanho médio da composição, número total de composições, tonelagem média das composições, tempo de viagens, etc. e, criar assim, ocupações “virtuais” médias para a linha férrea. É nas janelas de tais ocupações virtuais que será possível a movimentação ferroviária do terminal regulador.

Um levantamento junto às operadoras ferroviárias permitiu a construção do seguinte quadro:

Dados	Margem Direita		
	Granéis	Conteineres	Total
Movimentação Atual (t)	6.592.284	238.680	6.830.964
Peso Médio Vagões (t)	79	12,5	-
Quantidade Total de Vagões	83.447	19.094	102.541
Tamanho Médio Composições	47	56	-
Quantidade Total de Composições	1.775	341	2.116

**Tabela 32 – Movimentação anual de composições para a margem direita**

Dados	Margem Esquerda		
	Granéis	Conteineres	Total
Movimentação Atual (t)	4.270.307	410.616	4.680.923
Peso Médio Vagões (t)	79	12,5	-
Quantidade Total de Vagões	54.055	32.849	86.904
Tamanho Médio Composições	47	56	-
Quantidade Total de Composições	1.150	587	1.737

**Tabela 33 – Movimentação anual de composições para a margem esquerda**

Serão, portanto, gerados no modelo, ao longo do ano, aproximadamente 2100 composições ferroviárias com destino à margem direita e 1700 composições ferroviárias com destino à margem esquerda do Porto de Santos. Essas composições serão inseridas no modelo como

**entidades**, e serão responsáveis por ocupar a via ferroviária, limitando a realização da rota entre o terminal regulador e os terminais santistas.

As locomotivas pertencentes ao terminal regulador e responsáveis por puxar os vagões de contêiner também serão inseridas no modelo como **entidades**, através de um **módulo de criação de entidades**. A configuração inicial propõe que seja inserida no modelo apenas 1 locomotiva. Já com relação aos vagões puxados pelas locomotivas, que efetivamente carregam os contêineres, esses serão inseridos no modelo como **variáveis**. A configuração inicial proposta indica a inclusão de 200 vagões para contêineres.

A operação de montagem das composições no terminal regulador ocorre em um pátio auxiliar, definido como uma **estação** no modelo. Lá, a composição a ser formada tem seu destino e características definidas por **módulos assign**. Segundo dados apresentados pelas administradoras portuárias, o tamanho médio das composições de contêineres é de **56 vagões**.

Surge então a necessidade de transporte de contêineres entre o pátio principal do terminal regulador e o pátio auxiliar para formação da composição. Cria-se uma demanda pela utilização dos **transportadores** inseridos no modelo e disponíveis no pátio do terminal regulador, responsáveis pelo fluxo interno dos contêineres.

Assim que a composição é formada, ela aguarda por uma janela de desocupação da linha férrea para iniciar seu trajeto até o terminal de destino.

### 9.5.1 Rotas Ferroviárias

Para determinação das rotas ferroviárias entre o terminal regulador e os terminais de contêiner de Santos foi necessária a inserção dos pátios ferroviários no modelo, com a determinação das seguintes **estações**: (baseado no esquema ferroviário da Baixada Santista apresentado anteriormente - Figura 29).

- Estação Pátio Arreais;
- Estação Pátio Valongo;

- Estação Pátio Piaçaguera;
- Estação Pátio Barnabé;
- Estação Pátio Conceiçãozinha.

As **estações** propostas foram conectadas através de **rotas**, e o cálculo da extensão de tais **rotas**, associado à informação da administradora ferroviária sobre a velocidade média dos trens nos trilhos da Baixada Santista, permitiu o cálculo básico do tempo de viagem das composições entre os pátios de interesse ao modelo.

Margem Esquerda			
Trecho	Distância (km)	Velocidade (km/h)	Tempo (h)
Arreais - Piaçaguera	4,9	15	0,33
Piaçaguera- Ilha Barnabé	12,4		0,83
Ilha Barnabé - Conceiçãozinha	8		0,53
Total	25,3		1,69

**Tabela 34 – Tempos das rotas ferroviária até o Terminal da Santos Brasil**

Margem Direita			
Trecho	Distância (km)	Velocidade (km/h)	Tempo (h)
Arreais - Valongo	13,5	20	0,68
Total	13,5		0,68

**Tabela 35 – Tempos das rotas ferroviária até o Terminal Tecondi**

Vale ressaltar que o Pátio Arreais corresponde fisicamente ao Terminal Regulador em estudo, o Pátio Valongo corresponde ao Terminal da Tecondi e o Pátio Conceiçãozinha ao Terminal da Santos Brasil.

Como já apresentado, todas as rotas de interesse ao modelo são compostas por vias singelas, não permitindo o cruzamento de composições. A realização das viagens ferroviárias entre o terminal regulador e os terminais de contêiner de Santos depende então da desocupação das **rotas** estabelecidas entre eles. Para que essa avaliação pudesse ser feita no modelo, as rotas foram definidas como **recursos** do sistema. Assim, enquanto alguma



composição ocupa determinada **rota**, nenhuma outra pode utilizá-la, devendo aguardar em fila pela sua vez.

Por exemplo, uma composição formada no Terminal Regulador (Pátio Arreais) que deseja seguir até o Terminal da Santos Brasil (Pátio Conceiçãozinha), deve verificar a disponibilidade dos **recursos** rotas Arreais-Piaçaguera, Piaçaguera-Ilha Barnabé e Ilha Barnabé-Conceiçãozinha. Os três recursos não necessariamente precisam estar disponíveis ao mesmo tempo, uma vez que é possível realizar o cruzamento de composições nos pátios durante o percurso. É importante lembrar que as capacidades dos pátios ferroviários intermediários também foram lembradas no modelo, e foram representadas por **variáveis**. Assim, é possível verificar se determinada composição pode ou não utilizar o próximo pátio da rota para cruzamento com composição que vem em sentido oposto através da comparação do número de vagões que a compõe com a disponibilidade para armazenamento de vagões no pátio. A verificação da disponibilidade dos trechos da **rota** é feita, portanto, passo a passo, juntamente com a verificação de disponibilidade de espaço nos pátios.

Se determinada composição, na **estação** pátio A quer seguir viagem até a próxima **estação** pátio B, ela verifica a disponibilidade do **recurso** trecho A-B e a **variável** disponibilidade para vagões no pátio B. Se o trecho está livre e há disponibilidade no pátio B, executa-se a rota. Se o trecho está livre, mas não há disponibilidade no pátio B, verifica-se a disponibilidade do próximo trecho da **rota**, entre as **estações** B e C. Se o trecho está B-C está ocupado, a composição permanece esperando em A. Caso esteja livre, é verificada a capacidade do pátio C, e assim sucessivamente.

Chegando ao terminal de destino, a composição é desfeita. A **entidade** locomotiva inicia imediatamente o trajeto de volta ao terminal regulador, segundo o mesmo esquema apresentado acima. As **variáveis** vagões, “abandonadas” nos terminais de contêiner para efetuação do procedimento de descarregamento dos contêineres, retornam ao terminal regulador acopladas a outras composições. Considerando-se o tempo necessário para sua descarga e posterior procedimento de acoplamento e envio, a expectativa é que os vagões retornem ao terminal regulador em média **34 horas** depois que são “abandonados”.

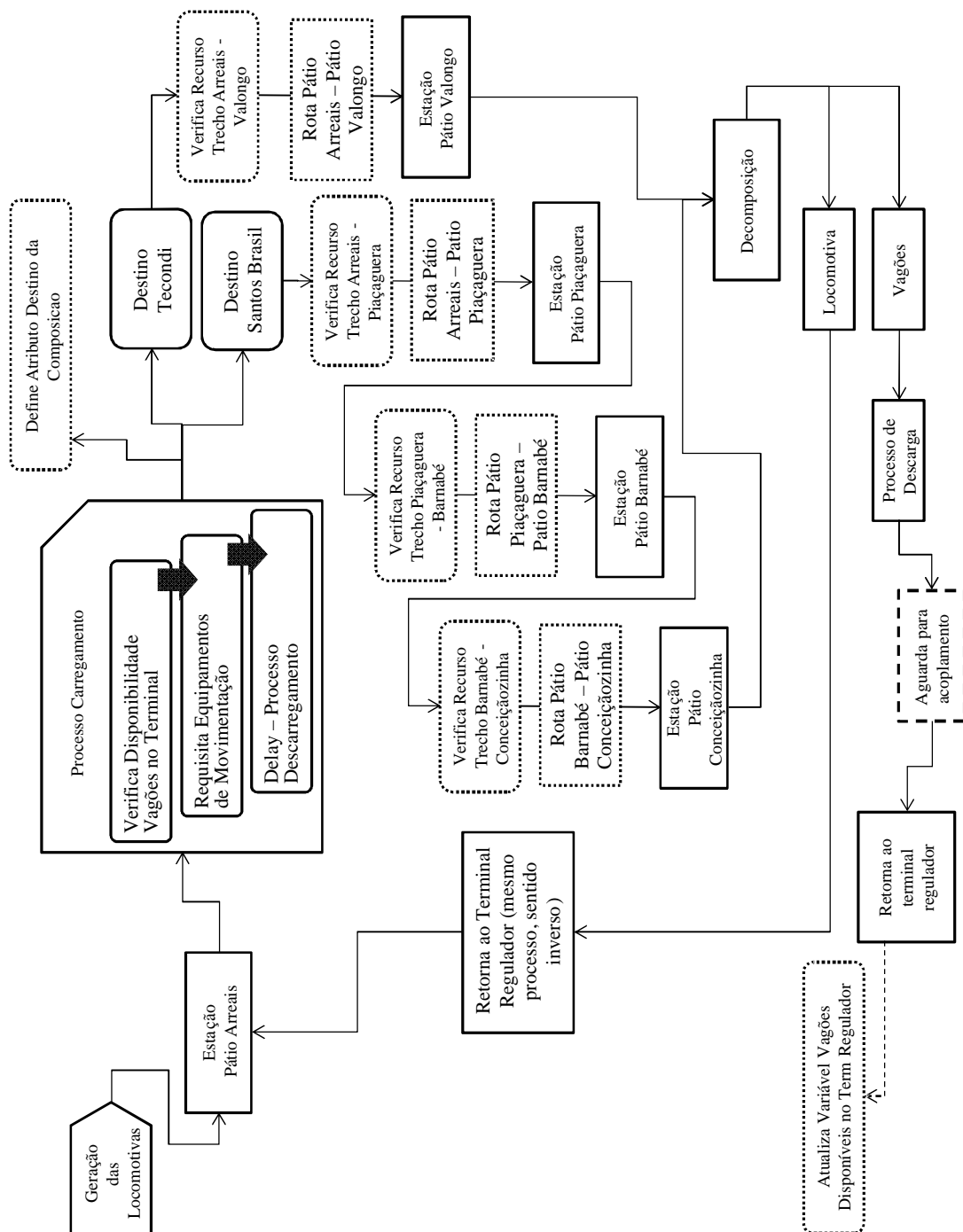


Figura 42 – Diagrama da modelagem do modal ferroviário

## 10 Aplicação do Modelo

### 10.1 Verificação e Validação do Modelo

A verificação e validação do estudo de simulação é passo fundamental para o sucesso do modelo.

A etapa de verificação do modelo, que está ligada ao desenvolvimento de um modelo computacional que esteja livre de *bugs* e falhas de lógica, foi feita, segundo recomendação de Chwif e Medina (2006), por implementação modular. Ou seja, o modelo foi implementado em blocos, executando-se a verificação em cada bloco. Além disso, o próprio ARENA conta com *debugger* próprio, que ajuda na eliminação de falhas de lógica na programação.

A etapa mais complicada é, porém, o processo de validação do modelo, ligado à avaliação do modelo conceitual desenvolvido. O fato de tratar-se de um modelo de um sistema que não existe é um dos principais complicadores, uma vez que elimina possibilidade de comparação do modelo ou dos resultados do modelo com dados reais. A técnica de duplicação do modelo, que consiste na confecção de dois modelos paralelos por programadores diferentes, também foi descartada por motivos óbvios. A solução restante foi realizar a validação “face a face”, com o auxílio de especialistas no processo simulado.

Foi feita a apresentação do modelo e dos resultados obtidos aos interessados no projeto e a técnicos operadores de terminais de contêiner do Porto de Santos, que consideraram o modelo adequado, apesar de algumas ressalvas sobre a dificuldade de implantá-lo completamente no mundo real. Os resultados apresentados também foram considerados correspondentes às expectativas. O modelo foi considerado, portanto, verificado e validado.

### 10.2 Resultados

Para a avaliação dos resultados práticos obtidos pelo modelo construído, foram consideradas diversas configurações diferentes dos elementos apresentados do terminal regulador. A começar pela configuração inicial, proposta pela operadora do terminal, os

resultados obtidos foram analisados e ajustes foram sendo feitos, etapa por etapa, até que fosse obtidas boas configurações para a operação do terminal. Também foram testadas configurações sem a utilização do modal aquaviário e sem o modal ferroviário.

Entre todos os cenários que serão apresentados a seguir, apenas os **cenários 4,5,7 e 8** (com ressalvas) apresentaram resultados satisfatórios. Mesmo a proposta inicial da operadora também teve que ser descartada, por não apresentar estabilidade na operação.

Algumas definições adotadas na apresentação dos cenários:

- Caminhão Convencional - Tipo 1: só realiza a operação de carga de contêiner no Terminal Regulador;
- Caminhão Convencional - Tipo 2: só realiza a operação de descarga de contêiner no Terminal Regulador;
- Caminhão Convencional - Tipo 3: realiza a operação de carga e descarga de contêiner no Terminal Regulador;
- Tempo de Ciclo – Caminhão Convencional: representa o tempo que ele completa um ciclo no modelo, ou seja, entra no terminal, realiza as operações especificadas e deixa o terminal.
- Tempo de Ciclo – Caminhão Especial: representa o tempo que ele completa seu ciclo no modelo, ou seja, entra no terminal regulador, é descarregado, carregado em seguida, segue até o terminal de contêiner de destino e retorna ao terminal regulador.

### 10.2.1 Cenário Inicial – Proposta da Operadora

#### I) Configuração

##### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	5
Descarregamento	10	5

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
--------------------------------------	----

**Tabela 36 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador**

## ii) Modal Rodoviário

### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%
Tipo 1	15%
Tipo 2	25%
Tipo 3	60%

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

**Tabela 37 – Configuração inicial dos caminhões convencionais**

### b) Caminhões Especiais

Quantidade	20
------------	----

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

**Tabela 38 – Configuração inicial dos caminhões especializados**

## iii) Modal Aquaviário – Barcaças

Quantidade	1
------------	---

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

**Tabela 39 – Configuração inicial das barcaças**

## iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

Quantidade	1
------------	---

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

**Tabela 40 – Configuração inicial das locomotivas**

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: **30/04/2010**

A simulação não foi concluída uma vez que o modelo entrou em colapso. O principal problema apresentado, e que se tornou o grande desafio a solucionar, foi a questão da manutenção do equilíbrio entre as pilhas de contêiner do Terminal Regulador. No cenário inicial, as pilhas de contêiner de importação e de exportação Tecondi foram reduzidas a quase zero durante a simulação. Isso prejudicou a operação dos caminhões convencionais de todos os tipos, provocando grandes filas na entrada no Terminal Regulador e resultando em um tempo de ciclo muito longo para os caminhões convencionais. A operação da barcaça servindo ao terminal da Tecondi também foi prejudicada, apresentando grande tempo de espera por condições de carregamento de contêineres.

O prejuízo na operação também fez despencar o utilização dos equipamentos internos de movimentação. Assim, a movimentação anual de contêineres ficou bem abaixo da expectativa da operadora.

A utilização dos recursos relativos aos modais aquaviário e ferroviário permaneceu em nível bastante baixo, revelando uma “folga” nessa operação, o que não significa todavia que o terminal necessariamente pode operar com mais barcaças ou locomotivas. Uma das grandes preocupações na operação das barcaças, o compartilhamento dos berços dos terminais de contêiner do Porto de Santos parece que, na realidade, não é uma ameaça tão

grande. Mesmo com a operação da barcaça, o nível de utilização dos berços permaneceu em um patamar bom. Já com relação à operação do modal ferroviário, o compartilhamento da via férrea, que também parecia um grande enrosco para operação do terminal regulador, está aparentemente em situação estável, e os tempos de espera obtidos para desocupação dos ramais ferroviários foi razoável.

Movimentação de Contêineres	Exportação	Importação	Total/Ano
Recebimento	92.249	37.305	97.701
Expedição	64.967	53.936	89.669
<b>Total/Ano</b>	<b>118.562</b>	<b>68.808</b>	<b>187.369</b>

Pilhas de Contêineres	Exportação Santos Brasil	Exportação Libra	Exportação Tecondi	Importação	Total
Mínimo	1.223	2.999	9	13	12.602
Médio	3.225	8.242	764	2.575	14.807
Máximo	5.579	11.963	3.000	4.179	17.356

Tabela 41 - Movimentação de contêineres no terminal regulador

Equipamentos Movimentação Interna	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	14,1
Utilização Média	56,4%

Tabela 42 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação

#### i) Modal Rodoviário

Posições	Quantidade	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Carregamento	10	4,17	41,7%
Descarregamento	10	4,87	48,7%
Carregamento Especial	5	2,39	47,8%
Descarregamento Especial	5	1,29	25,8%

Tabela 43 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>
Tipo 1	0,59	<b>139,15</b>
Tipo 2	<b>425,57</b>	<b>1805,58</b>
Tipo 3	<b>305,47</b>	<b>1617,89</b>

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>	<b>Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)</b>
Santos Brasil	5,88	1,26	0,83
Libra	3,43	0,30	0,70
Tecondi	4,92	0,38	0,23

**Tabela 44 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>	<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	0,72	Santos Brasil	7,78
Tipo 2	<b>117,84</b>	Libra	9,03
Tipo 3	<b>80,40</b>	Tecondi	8,67

**Tabela 45 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Aquaviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização Média</b>
Cais do Terminal Regulador	0,30
Hidrovia	0,08
Canal do Porto	0,25

**Tabela 46 – Utilização dos recursos modal aquaviário**

<b>Tempos de Espera Atracação (h)</b>	
Cais do Terminal Regulador	0
Berço Santos Brasil	1,73
Berço Libra	0,79
Berço Tecondi	5,73

**Tabela 47 – Tempos de espera para atracação das barcas**



Tempos de Espera Ocupação (h)			
Destino Barcaça	Santos Brasil	Libra	Tecondi
Hidrovia Ida	0		
Hidrovia Volta	0		
Canal Porto	0,12		
Condições Carregamento	0	0	21,75
Condições Descarregamento	0		

**Tabela 48 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação**

Duração Processos (h)	
Carregamento	4,25
Descarregamento	3,43

Destino Barcaça	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	17,39
Libra	17,12
Tecondi	20,52

**Tabela 49 – Tempos de duração processos carregamento/d Descarregamento e dos ciclos completos**

Navios	Quantidade Recebida/Ano	Tempo Espera Atracação (h)
Santos Brasil	666	0,37
Libra	435	0,17
Tecondi	202	0,15

**Tabela 50 – Chegada de navios aos terminais contêineres e tempos de espera para atracação por terminal**

Berços	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Santos Brasil	1,04	52,0%
Libra	0,65	32,5%
Tecondi	0,31	31,0%

**Tabela 51 – Utilização dos berços dos terminais contêineres**

### iii) Modal Ferroviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização Média</b>
Posição da Locomotiva	0,56
Trecho Arreais-Valongo	0,29
Trecho Arreais - Piaçaguera	0,31
Trecho Piaçaguera - Barnabé	0,27
Trecho Barnabé - Conceiçãozinha	0,26

**Tabela 52 – Utilização dos recursos modal ferroviário**

<b>Tempo Espera Trechos Ferroviários (h)</b>	
Arreais - Valongo	0,3
Arreais - Piaçaguera	0,03
Piaçaguera - Barnabé	0,21
Barnabé - Conceiçãozinha	0,38
Arreais-Piaçaguera	0,03
Piaçaguera - Conceiçãozinha	1,78
Arreais - Barnabé	0,51
Barnabé - Conceiçãozinha	0,38
Arreais - Conceiçãozinha	1,77
Conceicaozinha - Barnabé	0,24
Barnabé - Piaçaguera	0,32
Piaçauera - Arreais	0,46
Valongo - Arreais	0,29

**Tabela 53 – Tempo de espera para utilização dos trechos do ramal ferroviário**

<b>Tempo Espera Condições de Carregamento (h)</b>	
Santos Brasil	6,46
Tecondi	6,81

**Tabela 54 – Tempo de espera por condições de carregamento por destino da locomotiva**

<b>Destino Locomotiva</b>	<b>Tempo Montagem Composição (h)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Santos Brasil	4,83	14,17
Tencondi		11,74

**Tabela 55 – Tempo de montagem da composição e tempo de ciclo total por destino da locomotiva**

## 10.2.2 Cenário 2

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	5
Descarregamento	10	5

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
-----------------------------------	----

Tabela 56 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 57 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	20
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 58 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 59 – Configuração inicial das barcaças**

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 60 – Configuração inicial das locomotivas**

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

Como verificado no primeiro cenário simulado, um problema enfrentado pelo modelo é a manutenção do equilíbrio das pilhas de exportação e importação. Assim, foi proposto um modelo auto-regulável para determinação dos destinos dos caminhões especializados, das barcaças e das locomotivas. No modelo, a auto-regulação baseia-se na avaliação constante do tamanho das três pilhas de exportação, e na expedição proporcional a essa comparação.

O que se verificou foi que, com o sistema de auto-regulação proposto, a simulação, mesmo com dificuldades, foi concluída. A pilha de importação ainda permaneceu em um nível muito baixo, prejudicando a operação dos caminhões convencionais tipo 3, principalmente.

Nota-se, porém, um equilíbrio maior dentro do terminal, o que permitiu que os equipamentos de movimentação internos fossem mais bem aproveitados, assim como os recursos destinados à operação dos caminhões e da barcaça. O tamanho das filas na operação do caminhão convencional tipo 3 porém torna o cenário inviável.

A operação dos modais ferroviário e aquaviário permaneceu em níveis parecidos ao cenário anterior.

Movimentação de Contêineres	Exportação	Importação	Total/Ano
Recebimento	219.130	117.129	112.189
Expedição	211.459	123.288	111.684
Total/Ano	143.661	80.212	<b>223.873</b>

Pilhas de Contêineres	Exportação Santos Brasil	Exportação Libra	Exportação Tecondi	Importação	Total
Mínimo	2.999	2.999	767	<b>31</b>	12.282
Médio	5.328	5.221	1.354	1.462	13.365
Máximo	6.741	6.973	3.000	4.160	14.939

**Tabela 61 - Movimentação de contêineres no terminal regulador**

Equipamentos Movimentação Interna	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	19,1
Utilização Média	76,4%

**Tabela 62 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação**

#### **i) Modal Rodoviário**

Posições	Quantidade	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Carregamento	10	5,61	56,1%
Descarregamento	10	6,51	65,1%
Carregamento Especial	5	3,13	62,6%
Descarregamento Especial	5	1,74	34,8%

**Tabela 63 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>
Tipo 1	1,37	0,47
Tipo 2	0,58	0,61
Tipo 3	<b>177,43</b>	<b>368,01</b>

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>	<b>Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)</b>
Santos Brasil	0,58	0,07	0,43
Libra	0,59	0,07	0,43
Tecondi	0,49	0,02	0,33

**Tabela 64 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	1,25
Tipo 2	1,05
Tipo 3	<b>92,15</b>

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Santos Brasil	6,75
Libra	8,49
Tecondi	7,42

**Tabela 65 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Aquaviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização</b>
Cais do Terminal Regulador	0,44
Hidrovia	0,12
Canal do Porto	0,28

**Tabela 66 – Utilização dos recursos modal aquaviário**

<b>Tempos de Espera Atracação (h)</b>	
Cais do Terminal Regulador	0
Berço Santos Brasil	1,59
Berço Libra	1,24
Berço Tecondi	7,8

**Tabela 67 – Tempos de espera para atracação das barcas**

Tempos de Espera Ocupação (h)			
Destino Barcaça	Santos Brasil	Libra	Tecondi
Hidrovia Ida	0		
Hidrovia Volta	0		
Canal Porto	0,12		
Condições Carregamento	0	0	0
Condições Descarregamento	0		

**Tabela 68 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação**

Duração Processos (h)	
Carregamento	4,28
Descarregamento	3,41

Destino Barcaça	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	17,41
Libra	17,28
Tecondi	19,00

**Tabela 69 – Tempos de duração processos carregamento/d Descarregamento e dos ciclos completos**

Navios	Quantidade Recebida/Ano	Tempo Espera Atracação (h)
Santos Brasil	1536	0,37
Libra	937	0,21
Tecondi	456	0,22

**Tabela 70 – Chegada de navios aos terminais contêineres e tempos de espera para atracação por terminal**

Berços	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Santos Brasil	1,09	52,0%
Libra	0,71	32,5%
Tecondi	0,32	32,0%

**Tabela 71 – Utilização dos berços dos terminais contêineres**

### iii) Modal Ferroviário

Recurso	Utilização
Posição da Locomotiva	0,57
Trecho Arreais-Valongo	0,29
Trecho Arreais - Piaçaguera	0,3
Trecho Piaçaguera - Barnabé	0,27
Trecho Barnabé - Conceiçãozinha	0,27

**Tabela 72 – Utilização dos recursos modal ferroviário**

Tempo Espera Trechos Ferroviários (h)	
Arreais - Valongo	0,26
Arreais - Piaçaguera	0,21
Piaçaguera- Barnabé	0,00
Barnabé - Conceiçãozinha	0,30
Arreais-Piaçaguera	0,21
Piaçaguera - Conceiçãozinha	1,83
Arreais - Barnabé	0,45
Barnabé - Conceiçãozinha	0,30
Arreais - Conceiçãozinha	0,64
Conceicaozinha - Barnabé	0,24
Barnabé - Piaçaguera	0,30
Piaçaguera - Arreais	0,41
Valongo - Arreais	0,30

**Tabela 73 – Tempo de espera para utilização dos trechos do ramal ferroviário**

Tempo Espera Condições de Carregamento (h)	
Santos Brasil	5,53
Tecondi	6,48

**Tabela 74 – Tempo de espera por condições de carregamento por destino da locomotiva**

Destino Locomotiva	Tempo Montagem Composição (h)	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	5,56	14,28
Tencondi		12,53

**Tabela 75 – Tempo de montagem da composição e tempo de ciclo total por destino da locomotiva**



### 10.2.3 Cenário 3

#### I) Configuração

##### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	5
Descarregamento	10	5

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
--------------------------------------	----

Tabela 76 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

##### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 77 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	30
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 78 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 79 – Configuração inicial das barcaças**

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 80 – Configuração inicial das locomotivas**

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

Na tentativa de tentar equilibrar a pilha de importação, foram inseridos no modelo mais 10 caminhões especiais, responsáveis pelo fluxo de contêiner entre o Terminal Regulador e os terminais santista, totalizando 30.

O resultado obtido, porém, não foi satisfatório. A pilha de importação foi alimentada com muita ferocidade pelos caminhões especiais, e a pilha de exportação Tecondi atingiu níveis muito baixos, prejudicando, principalmente, as operações dos caminhões convencionais tipos 2 e 3.

A operação das barcas que servem ao terminal da Tecondi também sofreu, com tempos bastante altos de espera por condição de carregamento.

Pilhas de Contêineres	Exportação Santos Brasil	Exportação Libra	Exportação Tecondi	Importação	Total
Mínimo	233	251	11	3.957	12.799
Médio	1.378	1.313	417	12.655	15.662
Máximo	3.707	3.087	3.000	16.255	17.285

Tabela 81 - Movimentação de contêineres no terminal regulador

i) Modal Rodoviário

Caminhão Convencional	Tempo Médio em Fila (h)	Tamanho Médio da Fila
Tipo 1	0,26	0,03
Tipo 2	339,1	876,98
Tipo 3	16,85	35,88

Tabela 82 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)

Caminhão Convencional	Tempo de Ciclo (h)	Caminhão Especializado (por destino)	Tempo de Ciclo (h)
Tipo 1	0,76	Santos Brasil	8,19
Tipo 2	181,02	Libra	9,72
Tipo 3	10,82	Tecondi	10,18

Tabela 83 – Tempos de ciclo dos caminhões

ii) Modal Aquaviário

Tempos de Espera Ocupação (h)			
Destino Barcaça	Santos Brasil	Libra	Tecondi
Hidrovia Ida	0		
Hidrovia Volta	0		
Canal Porto	0,13		
Condições Carregamento	0	0	29,48
Condições Descarregamento	0		

Tabela 84 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação

## 10.2.4 Cenário 4

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	5
Descarregamento	10	5

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
--------------------------------------	----

Tabela 85 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 86 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	22
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 87 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 88 – Configuração inicial das barcaças**

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 89 – Configuração inicial das locomotivas**

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

Após diversas tentativas, chegou-se a uma configuração composta por 22 caminhões especiais, capaz de fornecer ao modelo estabilidade na manutenção das pilhas contêiner. Trata-se, portanto, de uma configuração sob a qual o terminal regulador é capaz de funcionar em regime permanente.

Pode-se determinar para o terminal em estudo uma capacidade anual básica de movimentação da ordem de 228 mil contêineres/ano. As filas de caminhões, em tempo e em número, são baixas nessa primeira configuração proposta, assim como o tempo de ciclo dos caminhões tipo 1,2 e 3, o que condiz com a idéia de funcionamento do terminal regulador.

Observa-se ainda alguns pontos a serem melhorados no modelo, como a baixa utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário.

A operação dos modais aquaviário e ferroviário atingiram bons níveis de filas e tempos de espera, superando as dificuldades projetadas inicialmente para suas operações.

<b>Movimentação de Contêineres</b>	<b>Exportação</b>	<b>Importação</b>	<b>Total/Ano</b>
Recebimento	219.529	124.262	114.702
Expedição	217.865	122.932	113.703
Total/Ano	145.931	82.473	<b>228.405</b>

<b>Pilhas de Contêineres</b>	<b>Exportação Santos Brasil</b>	<b>Exportação Libra</b>	<b>Exportação Tecondi</b>	<b>Importação</b>	<b>Total</b>
Mínimo	2.982	2.994	693	3.940	12.522
Médio	4.433	4.031	1.111	4.601	14.177
Máximo	5.713	4.960	3.000	5.694	16.553

**Tabela 90 - Movimentação de contêineres no terminal regulador**

<b>Equipamentos Movimentação Interna</b>	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	19,6
Utilização Média	78,4%

**Tabela 91 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação**

#### **i) Modal Rodoviário**

<b>Posições</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Quantidade Utilizada Média</b>	<b>Utilização Média</b>
Carregamento	10	5,63	56,3%
Descarregamento	10	6,55	65,5%
Carregamento Especial	5	3,42	68,4%
Descarregamento Especial	5	1,89	37,8%

**Tabela 92 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>
Tipo 1	0,25	0,01
Tipo 2	0,55	0,45
Tipo 3	0,5	0,51

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>
Tipo 1	0,25	0,01
Tipo 2	0,55	0,45
Tipo 3	0,5	0,51

**Tabela 93 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>	<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	0,71	Santos Brasil	6,83
Tipo 2	1,02	Libra	8,54
Tipo 3	1,50	Tecondi	7,48

**Tabela 94 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Aquaviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização Média</b>
Cais do Terminal Regulador	0,44
Hidrovia	0,12
Canal do Porto	0,28

**Tabela 95 – Utilização dos recursos modal aquaviário**

<b>Tempos de Espera Atracação (h)</b>	
Cais do Terminal Regulador	0
Berço Santos Brasil	1,79
Berço Libra	1,09
Berço Tecondi	5,51

**Tabela 96 – Tempos de espera para atracação das barcas**

Tempos de Espera Ocupação (h)			
Destino Barcaça	Santos Brasil	Libra	Tecondi
Hidrovia Ida	0		
Hidrovia Volta	0		
Canal Porto	0,12		
Condições Carregamento	0	0	0
Condições Descarregamento	0		

**Tabela 97 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação**

Duração Processos (h)	
Carregamento	4,25
Descarregamento	3,43

Destino Barcaça	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	17,4
Libra	17,23
Tecondi	17,58

**Tabela 98 – Tempos de duração processos carregamento/d Descarregamento e dos ciclos completos**

Navios	Quantidade Recebida/Ano	Tempo Espera Atracação (h)
Santos Brasil	1529	0,37
Libra	983	0,19
Tecondi	457	0,24

**Tabela 99 – Chegada de navios aos terminais conteineiros e tempos de espera para atracação por terminal**

Berços	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Santos Brasil	1,08	52,0%
Libra	0,75	32,5%
Tecondi	0,31	31,0%

**Tabela 100 – Utilização dos berços dos terminais conteineiros**

### iii) Modal Ferroviário



Recurso	Utilização Média
Posição da Locomotiva	0,59
Trecho Arreais-Valongo	0,29
Trecho Arreais - Piaçaguera	0,31
Trecho Piaçaguera - Barnabé	0,28
Trecho Barnabé - Conceiçãozinha	0,25

**Tabela 101 – Utilização dos recursos modal ferroviário**

Tempo Espera Trechos Ferroviários (h)	
Arreais - Valongo	0,26
Arreais - Piaçaguera	0,20
Piaçaguera- Barnabé	0,19
Barnabé - Conceiçãozinha	0,23
Arreais-Piaçaguera	0,20
Piaçaguera - Conceiçãozinha	1,53
Arreais - Barnabé	0,54
Barnabé - Conceiçãozinha	0,23
Arreais - Conceiçãozinha	1,41
Conceicaozinha - Barnabé	0,23
Barnabé - Piaçaguera	0,28
Piaçauera - Arreais	0,43
Valongo - Arreais	0,22

**Tabela 102 – Tempo de espera para utilização dos trechos do ramal ferroviário**

Tempo Espera Condições de Carregamento (h)	
Santos Brasil	6,3
Tencondi	6,66

**Tabela 103 – Tempo de espera por condições de carregamento por destino da locomotiva**

Destino Locomotiva	Tempo Montagem Composição (h)	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	5,78	14,57
Tencondi		12,27

**Tabela 104 – Tempo de montagem da composição e tempo de ciclo total por destino da locomotiva**

## 10.2.5 Cenário 5

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	8	4
Descarregamento	8	4

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
--------------------------------------	----

Tabela 105 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%
Tipo 1	15%
Tipo 2	25%
Tipo 3	60%

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

Tabela 106 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	22
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 107 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 108 – Configuração inicial das barcaças**

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 109 – Configuração inicial das locomotivas**

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

Tentou-se melhorar a utilização dos recursos ligados ao modal rodoviário, com a redução do número de posições para carregamento e descarregamento, convencional e especial

O modelo atinge também resultados satisfatórios, com uma capacidade de movimentação anual da ordem de 226 mil contêineres/ano. As filas em todos os modais permanecem baixas.

Nota-se que a utilização dos recursos relacionados ao modal rodoviário sobe consideravelmente, mas ainda encontra-se em uma faixa boa para operação do terminal.

Os resultados da operação dos modais aquaviário e ferroviário permaneceram bastante próximos ao do cenário anterior.

<b>Movimentação de Contêineres</b>	<b>Exportação</b>	<b>Importação</b>	<b>Total/Ano</b>
Recebimento	219.156	121.929	113.799
Expedição	216.231	122.929	113.157
<b>Total/Ano</b>	<b>145.262</b>	<b>81.694</b>	<b>226.956</b>

<b>Pilhas de Contêineres</b>	<b>Exportação Santos Brasil</b>	<b>Exportação Libra</b>	<b>Exportação Tecondi</b>	<b>Importação</b>	<b>Total</b>
Mínimo	2.975	2.936	828	2.512	12.646
Médio	4.691	4.390	1.253	3.625	13.960
Máximo	6.292	5.384	3.000	4.409	15.517

**Tabela 110 - Movimentação de contêineres no terminal regulador**

<b>Equipamentos Movimentação Interna</b>	
<b>Quantidade</b>	25
<b>Quantidade Utilizada Média</b>	19,5
<b>Utilização Média</b>	78,0%

**Tabela 111 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação**

#### **i) Modal Rodoviário**

<b>Posições</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Quantidade Utilizada Média</b>	<b>Utilização Média</b>
<b>Carregamento</b>	8	5,48	68,5%
<b>Descarregamento</b>	8	6,37	79,6%
<b>Carregamento Especial</b>	4	3,33	83,3%
<b>Descarregamento Especial</b>	4	1,73	43,3%

**Tabela 112 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário**

Outros cenários, com quantidades de posições de carregamento e descarregamento menores do que o proposto no cenário 5, também foram testados mas não obtiveram sucesso. A utilização dos recursos atingiu níveis tão altos que prejudicou a operação de todos os tipos de caminhões, causando filas excessivas na entrada do terminal.

## 10.2.6 Cenário 6

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	5
Descarregamento	10	5

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	20
--------------------------------------	----

Tabela 113 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%
Tipo 1	15%
Tipo 2	25%
Tipo 3	60%

Por Destino	%
Santos Brasil	60%
Libra	25%
Tecondi	15%

Tabela 114 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	22
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 115 – Configuração inicial dos caminhões especializados

#### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

Quantidade	1
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 116 – Configuração inicial das barcaças**

#### **iv) Modal Ferroviário – Locomotivas**

Quantidade	1
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

**Tabela 117 – Configuração inicial das locomotivas**

## **II) Resultados**

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: **24/03/2011**

O objetivo da simulação do cenário 6 foi testar a possibilidade de redução na quantidade de equipamentos internos de movimentação (*reach-stackers*).

Com a redução do número de equipamentos internos de movimentação de 25 para 20 unidades, o modelo entrou em colapso. Sua utilização média saltou para quase 100% e os *reach-stackers* não foram capazes de atender a demanda de chegada de caminhões convencionais, gerando grandes e demoradas filas no sistema. O modal ferroviário também foi bastante prejudicado, com acentuada elevação no tempo de montagem da composição no terminal regulador.

Equipamentos Movimentação Interna	
Quantidade	20
Quantidade Utilizada Média	18,9
Utilização Média	<b>94,5%</b>

Tabela 118 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação

i) Modal Rodoviário

Caminhão Convencional	Tempo Médio em Fila (h)	Tamanho Médio da Fila
Tipo 1	0,37	0,09
Tipo 2	<b>1.661,67</b>	<b>6.590,13</b>
Tipo 3	<b>821,72</b>	<b>2.781,36</b>

Caminhão Especializado (por destino)	Tempo Médio em Fila (h)	Tamanho Médio da Fila	Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)
Santos Brasil	3,18	1,85	0,46
Libra	2,99	1,44	0,43
Tecondi	2,37	0,44	0,35

Tabela 119 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)

Caminhão Convencional	Tempo de Ciclo (h)	Caminhão Especializado (por destino)	Tempo de Ciclo (h)
Tipo 1	0,90	Santos Brasil	9,01
Tipo 2	<b>1365,56</b>	Libra	10,51
Tipo 3	<b>689,58</b>	Tecondi	9,00

Tabela 120 – Tempos de ciclo dos caminhões

ii) Modal Ferroviário

Destino Locomotiva	Tempo Montagem Composição (h)	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	<b>13</b>	<b>19,93</b>
Tencondi		<b>17,28</b>

Tabela 121 – Tempo de montagem da composição e tempo de ciclo total por destino da locomotiva

## 10.2.7 Cenário 7

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	8	6
Descarregamento	8	6

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
-----------------------------------	----

Tabela 122 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 123 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	37
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 124 – Configuração inicial dos caminhões especializados



### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

Quantidade	0
------------	---

Tabela 125 – Configuração inicial das barcaças

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

Quantidade	1
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 126 – Configuração inicial das locomotivas

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

A tentativa foi simular o sistema sem a utilização do modal aquaviário, com a redução do número de barcaças a zero. Para que o sistema mantivesse sua viabilidade, foram inseridos novos caminhões especiais. Depois de várias rodadas, onde foram testadas quantidades de caminhões especiais entre 30 e 50, chegou-se ao número ideal de 37.

O modelo então atingiu resultado considerado muito bom, com pouquíssimas filas em todos os pontos, equilíbrio nas pilhas de exportação e importação e movimentação anual da ordem de 230 mil contêineres.

Com relação ao modal ferroviário, a operação também foi considerada bastante boa, com baixa formação de filas e tempos de espera dentro do terminal e no compartilhamento da linha férrea da Baixada.

<b>Movimentação de Contêineres</b>	<b>Exportação</b>	<b>Importação</b>	<b>Total/Ano</b>
Recebimento	219.290	127.928	115.845
Expedição	220.740	123.067	114.707
Total/Ano	146.811	83.741	<b>230.552</b>

<b>Pilhas de Contêineres</b>	<b>Exportação Santos Brasil</b>	<b>Exportação Libra</b>	<b>Exportação Tecondi</b>	<b>Importação</b>	<b>Total</b>
Mínimo	2.631	2.951	588	3.887	12.551
Médio	3.648	3.458	974	6.517	14.598
Máximo	4.807	4.059	3.000	8.859	16.725

**Tabela 127 - Movimentação de contêineres no terminal regulador**

<b>Equipamentos Movimentação Interna</b>	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	20,6
Utilização Média	82,4%

**Tabela 128 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação**

**i) Modal Rodoviário**

<b>Posições</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Quantidade Utilizada Média</b>	<b>Utilização Média</b>
Carregamento	8	5,1	63,8%
Descarregamento	8	5,79	72,4%
Carregamento Especial	6	5,75	95,8%
Descarregamento Especial	6	2,49	41,5%

**Tabela 129 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>
Tipo 1	0,29	0,03
Tipo 2	0,2	0,13
Tipo 3	0,2	0,26

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>	<b>Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)</b>
Santos Brasil	0,11	0,01	0,44
Libra	0,12	0,01	0,42
Tecondi	0,1	0,00	0,25

**Tabela 130 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>	<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	0,67	Santos Brasil	6,81
Tipo 2	0,86	Libra	8,48
Tipo 3	1,31	Tecondi	7,42

**Tabela 131 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Ferroviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização Média</b>
Posição da Locomotiva	0,57
Trecho Arreais-Valongo	0,29
Trecho Arreais - Piaçaguera	0,29
Trecho Piaçaguera - Barnabé	0,27
Trecho Barnabé - Conceiçãozinha	0,26

**Tabela 132 – Utilização dos recursos modal ferroviário**

Tempo Espera Trechos Ferroviários (h)	
Arreais - Valongo	0,29
Arreais - Piaçaguera	0,26
Piaçaguera- Barnabé	0,18
Barnabé - Conceiçãozinha	0,46
Arreais-Piaçaguera	0,10
Piaçaguera - Conceiçãozinha	0,96
Arreais - Barnabé	0,32
Barnabé - Conceiçãozinha	0,46
Arreais - Conceiçãozinha	1,48
Conceicaozinha - Barnabé	0,14
Barnabé - Piaçaguera	0,31
Piaçauera - Arreais	0,47
Valongo - Arreais	0,25

**Tabela 133 – Tempo de espera para utilização dos trechos do ramal ferroviário**

Tempo Espera Condições de Carregamento (h)	
Santos Brasil	5,55
Tecondi	6,2

**Tabela 134 – Tempo de espera por condições de carregamento por destino da locomotiva**

Destino Locomotiva	Tempo Montagem Composição (h)	Tempo de Ciclo (h)
Santos Brasil	5,96	14,79
Tencondi		12,06

**Tabela 135 – Tempo de montagem da composição e tempo de ciclo total por destino da locomotiva**

## 10.2.8 Cenário 8

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	8	3
Descarregamento	8	3

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
--------------------------------------	----

Tabela 136 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 137 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	10
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 138 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

<b>Quantidade</b>	2
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 139 – Configuração inicial das barcaças

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

<b>Quantidade</b>	1
<b>Por Destino</b>	<b>%</b>
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 140 – Configuração inicial das locomotivas

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: 31/12/2011

No cenário 8, o objetivo é testar a possibilidade da operação de 2 barcaças simultaneamente. Adaptando-se o modelo, o número de caminhões especializados foi reduzido sistematicamente até a determinação de um número satisfatório de 10. Com essa configuração, o modelo responde consideravelmente bem, mas apresenta a formação de filas relevantes na operação dos caminhões convencionais.

A operação do modal aquaviário, apesar da inclusão da nova barcaça, manteve-se bastante estável, com a criação de pequenas filas no compartilhamento da hidrovia e do cais do terminal regulador. A operação nos berços dos terminais de contêineres santistas também

não sofreu impactos significativos, afastando de vez a desconfiança do conflito da operação das barcas nos terminais santistas.

Movimentação de Contêineres	Exportação	Importação	Total/Ano
Recebimento	219.302	126.150	115.256
Expedição	220.960	122.881	114.718
Total/Ano	146.888	83.086	<b>229.974</b>

Pilhas de Contêineres	Exportação Santos Brasil	Exportação Libra	Exportação Tecondi	Importação	Total
Mínimo	2.766	2.668	462	3.961	12.472
Médio	3.561	3.417	981	5.747	13.706
Máximo	4.514	4.232	3.000	7.401	15.320

**Tabela 141 - Movimentação de contêineres no terminal regulador**

Equipamentos Movimentação Interna	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	19,1
Utilização Média	76,4%

**Tabela 142 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação**

**i) Modal Rodoviário**

Posições	Quantidade	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Carregamento	8	5,9	73,8%
Descarregamento	8	6,92	86,5%
Carregamento Especial	3	1,54	51,3%
Descarregamento Especial	3	0,97	32,3%

**Tabela 143 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário**

Caminhão Convencional	Tempo Médio em Fila (h)	Tamanho Médio da Fila
Tipo 1	0,3	0,07
Tipo 2	<b>2,81</b>	<b>7,61</b>
Tipo 3	<b>1,36</b>	<b>4,13</b>

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>	<b>Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)</b>
Santos Brasil	0,61	0,05	0,51
Libra	0,58	0,05	0,51
Tecondi	0,56	0,01	0,43

**Tabela 144 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>	<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	0,83	Santos Brasil	6,87
Tipo 2	2,67	Libra	8,63
Tipo 3	2,51	Tecondi	7,53

**Tabela 145 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Aquaviário

<b>Recurso</b>	<b>Utilização Média</b>
Cais do Terminal Regulador	0,85
Hidrovia	0,23
Canal do Porto	0,36

**Tabela 146 – Utilização dos recursos modal aquaviário**

<b>Tempos de Espera Atracação (h)</b>	
Cais do Terminal Regulador	0,73
Berço Santos Brasil	1,95
Berço Libra	0,91
Berço Tecondi	6,09

**Tabela 147 – Tempos de espera para atracação das barcas**

<b>Tempos de Espera Ocupação (h)</b>			
<b>Destino Barcaça</b>	<b>Santos Brasil</b>	<b>Libra</b>	<b>Tecondi</b>
Hidrovia Ida	0,37		
Hidrovia Volta	0,47		
Canal Porto	0,14		
Condições Carregamento	0	0	0
Condições Descarregamento	0		



**Tabela 148 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação**

Duração Processos (h)		Destino Barcaça	Tempo de Ciclo (h)
Carregamento	4,29	Santos Brasil	18,36
Descarregamento	3,39	Libra	17,89
		Tecondi	19,17

**Tabela 149 – Tempos de duração processos carregamento/descarregamento e dos ciclos completos**

Navios	Quantidade Recebida/Ano	Tempo Espera Atracação (h)
Santos Brasil	1532	0,59
Libra	955	0,34
Tecondi	461	0,46

**Tabela 150 – Chegada de navios aos terminais contêineres e tempos de espera para atracação por terminal**

Berços	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Santos Brasil	1,23	52,0%
Libra	0,87	32,5%
Tecondi	0,37	37,0%

**Tabela 151 – Utilização dos berços dos terminais contêineres**

## 10.2.9 Cenário 9

### I) Configuração

#### i) Layout Terminal

Posições para Caminhões	Convencional	Especial
Carregamento	10	8
Descarregamento	10	8

Pilhas de Contêineres Inicial	
Santos Brasil	3000
Libra	3000
Tecondi	3000
Importação	4000

Equipamentos Movimentação Interna	25
-----------------------------------	----

Tabela 152 – Configuração inicial do layout interno do Terminal Regulador

#### ii) Modal Rodoviário

##### a) Caminhões Convencionais

Intervalo de Chegada:  $(1 + 12,5 * \text{Beta}(10,3;10,8)) * \text{Sazonalidade}$

Por Tipo de Operação	%	Por Destino	%
Tipo 1	15%	Santos Brasil	60%
Tipo 2	25%	Libra	25%
Tipo 3	60%	Tecondi	15%

Tabela 153 – Configuração inicial dos caminhões convencionais

##### b) Caminhões Especiais

Quantidade	37
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 154 – Configuração inicial dos caminhões especializados

### iii) Modal Aquaviário – Barcaças

Quantidade	1
Por Destino	%
Santos Brasil	auto
Libra	
Tecondi	

Tabela 155 – Configuração inicial das barcaças

### iv) Modal Ferroviário – Locomotivas

Quantidade	0
------------	---

Tabela 156 – Configuração inicial das locomotivas

## II) Resultados

Data de Início da Operação do Terminal: 01/01/2009

Período proposto de simulação: 3 anos

Data de Término da Simulação: **22/06/2009**

A tentativa proposta no cenário 9 é viabilizar a operação do terminal regulador sem a utilização do modal ferroviário e com a manutenção do modal aquaviário. Infelizmente todas as configurações testadas não apresentaram resultados suficientemente estáveis para possibilitar essa operação. Houve problemas sérios na relação de equilíbrio entre as pilhas de exportação e a pilha de importação, o que resultou em filas enormes nas operações dos caminhões convencionais e especiais. Com a operação rodoviária prejudicada, a utilização dos recursos também entrou em descompasso, caindo bastante. A operação do modal aquaviário também foi afetada, com elevação do tempo de espera por condições para carregamento das barcaças.

Movimentação de Contêineres	Exportação	Importação	Total/Ano
Recebimento	40.049	24.085	136.098
Expedição	24.085	22.154	98.123
Total/Ano	136.098	98.123	<b>234.222</b>

Pilhas de Contêineres	Exportação Santos Brasil	Exportação Libra	Exportação Tecondi	Importação	Total
Mínimo	<b>152</b>	<b>117</b>	<b>27</b>	3.977	12.965
Médio	2.417	1.539	1.199	11.585	16.740
Máximo	4.429	3.052	3.001	<b>16.940</b>	17.288

Tabela 157 - Movimentação de contêineres no terminal regulador

Equipamentos Movimentação Interna	
Quantidade	25
Quantidade Utilizada Média	<b>11,5</b>
Utilização Média	<b>46,0%</b>

Tabela 158 – Utilização dos equipamentos internos de movimentação

i) Modal Rodoviário

Posições	Quantidade	Quantidade Utilizada Média	Utilização Média
Carregamento	10	3,13	31,3%
Descarregamento	10	3,33	33,3%
Carregamento Especial	8	2,27	28,4%
Descarregamento Especial	8	2,2	27,5%

Tabela 159 – Utilização dos recursos destinados ao modal rodoviário

Caminhão Convencional	Tempo Médio em Fila (h)	Tamanho Médio da Fila
Tipo 1	0,39	0,02
Tipo 2	<b>898,11</b>	<b>5.126,09</b>
Tipo 3	<b>902,80</b>	<b>4.066,25</b>

<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo Médio em Fila (h)</b>	<b>Tamanho Médio da Fila</b>	<b>Tempo Espera Médio Condição Carregamento (h)</b>
Santos Brasil	19,4	10,71	0,45
Libra	11,74	4,23	0,42
Tecondi	9,71	2,44	22,66

**Tabela 160 – Espera para entrar no Terminal Regulador (tempos e tamanho das filas)**

<b>Caminhão Convencional</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>	<b>Caminhão Especializado (por destino)</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Tipo 1	0,75	Santos Brasil	19,63
Tipo 2	552,57	Libra	16,21
Tipo 3	585,21	Tecondi	24,16

**Tabela 161 – Tempos de ciclo dos caminhões**

## ii) Modal Aquaviário

<b>Tempos de Espera Ocupação (h)</b>			
<b>Destino Barcaça</b>	<b>Santos Brasil</b>	<b>Libra</b>	<b>Tecondi</b>
Hidrovia Ida	0		
Hidrovia Volta	0		
Canal Porto	0,11		
Condições Carregamento	0	0	109,79
Condições Descarregamento	0		

**Tabela 162 – Tempos de espera para ocupação de recursos/operação**

<b>Duração Processos (h)</b>		<b>Destino Barcaça</b>	<b>Tempo de Ciclo (h)</b>
Carregamento	4,29	Santos Brasil	18,72
Descarregamento	3,39	Libra	17,78
		Tecondi	19,12

**Tabela 163 – Tempos de duração processos carregamento/d Descarregamento e dos ciclos completos**

## 10.3 Conclusão

Conclui-se então que, o terminal regulador precisa, para ter sua operação viabilizada, atentar principalmente para a questão do equilíbrio entre as pilhas de exportação e a pilha de importação. Só assim, a operação dos três tipos de modal manter-se-á balanceada.

A capacidade de movimentação do terminal é da ordem de 230 mil unidades de contêineres por ano, o que é equivalente com as expectativas da operadora.

Outros pontos importantes superados com a apresentação dos cenários acima foram a viabilidade da operação das barcaças e o compartilhamento da linha férrea da Baixada. Com relação ao modal aquaviário, a principal desconfiança era que as barcaças atravancariam as operações dos navios contêineres nos terminais santistas. O impacto de sua operação não é, todavia, nocivo aos terminais, mesmo em situação onde houve a operação simultânea de 2 barcaças. Com relação ao modal ferroviário, havia o temor que as diversas restrições de operação da linha férrea da Baixada Santista provocassem uma operação demasiadamente lenta. Os cenários propostos não acusaram uma demora excessiva causado pelo compartilhamento da linha férrea, revelando uma operação com resultados bastante satisfatórios.

Como já afirmado, os cenários **4,5,7 e 8** (com ressalvas) foram considerados boas propostas de configuração inicial para operação do terminal regulador. Resta agora a operadora, baseada em critérios de decisão próprios, decidir qual apresenta resultados que sirvam melhor aos seus objetivos.

## 11 Bibliografia

BANKS, J. – “Discret Event Simulation”. Prendice-Hall. 1984

\_\_\_\_\_. – “Interpreting Simulation Software Checklists”. OR/MS Today, 22, 3, p. 74-78, 1996.

BANKS, J. e GIBSON, R.R. – “Selecting Simulation Software”. IIE Solutions, p. 30-32, 1997.

CEL/COPPEAD. “Panorama Logístico – Intermodalidade de Contêineres no Brasil”. Relatório de Pesquisa, 2006.

\_\_\_\_\_. “Índice de Transporte Aquaviário – Partes 1,2 e 3”. Relatório de Pesquisa, 2005.

\_\_\_\_\_. “Avaliação do Setor Portuário Nacional”. Relatório de Pesquisa, 2006.

CHOWDHURY, K.H. – “Simulation in marine transportation system”. Marine Technology, Vol. 26, No1, 1989, 74-85.

CHWIF, L. – “Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção”. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

CHWIF, L., MEDINA, A.C. – “Modelagem e simulação de eventos discretos”. Autores, São Paulo, 2006.

GUALDA, N.D.F. – “Terminais de transporte: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional”. Tese de livre docência apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1995.

FERNANDES, M.G. – “Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêiner e veículos”. Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005.

FREITAS, P.J.F. – “Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas”. Visual Books Ltda, 2001.

HARREL, C.R. & PRICE, R.N. – “Simulation Modeling and Optimization using Promodel”. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J. A. Joines, R. R. Barton, eds.

HIJJAR, M.F. – “Avaliação do acesso aos terminais portuários e ferroviários de Contêiner no Brasil”.

KELTON, D.W., SADOWSKI, R.P., Sadowski, D. – “Simulation with Arena”. McGraw-Hill, Boston, 1998.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. – “Metodologia Científica”. Ed. Atlas, São Paulo, 1973.

LAW, A.M., KELTON W.D. – “Simulation modeling and analysis”. McGraw-Hill, New York, c1991.

LIMA JÚNIOR, A. – “Dimensionamento de terminais rodo-ferro-fluviais na hidrovía Tiête-Paraná”. Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1988.

MARTINELLI, J.C.N. – “Avaliação de metodologias de cálculo do número de posições de estacionamento de aeronaves nos pátios”. Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1980

MELLO, S.F. de, CRUZ W. E., BRINATI, M.A., BOTTER, R.C. – “Análise Técnico-Operacional do Terminal de Contêineres do Porto de Santos. SOBENA, 1986.

MERKURYEV, Y., TOLUJEW, J., BLUMEL, E. – “A Modeling and Simulation Methodology for Managing the Riga Harbour Container Terminal”. Simulation, Vol. 70, No. 2, August 1998, 84-96.



NEVINS, M., MACAL, C., LOVE, R. – “Simulation, Animation and Visualization of Seaport Operations”. Simulation, Vol. 71, No. 2, August 1998, 96-106.

PIDD, M. – “Tools for thinking: modelling in management science” John Wiley & Sons, 4<sup>a</sup> ed., Chichester, 2000.

PEDGEN, C.D, SHANON, R.E., SADOWSKY, R. – “Introduction to Simulation Using SIMAN. McGraw-Hill, 1990.

RIBEIRO, F. R. – “Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos”. Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

SALIBY, E. – “SIMUL 3.1. Software e manual”. COPPEAD/UFRJ, 1996.

TONDO, C. M. – “Simulação e análise operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos”. Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1984.

## **11.1 Bibliografia Virtual**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TERMINAIS DE CONTÊINER (ABRATEC). <[www.abratec-terminais.org.br/](http://www.abratec-terminais.org.br/)>. Acesso em Agosto de 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIO (ANTAQ). <[www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br)>. Acesso em Agosto de 2008.

CONTAINERSHIP-INFO. <[www.containership-info.net.tc](http://www.containership-info.net.tc)> Acesso em Agosto 2008.

INLAND WATERWAY INTERNATIONAL (IWI). <[www.worldcanals.com](http://www.worldcanals.com)> Acesso em Julho 2008.

LIBRA TERMINAIS. <[www.libraterminais.com.br](http://www.libraterminais.com.br)>. Acesso em Setembro de 2008.

PARAGON CONSULTING SOLUTIONS. <[www.paragon.com.br](http://www.paragon.com.br)>. Acesso em Agosto de 2008.

SANTOS BRASIL. <[www.santosbrasil.com.br](http://www.santosbrasil.com.br)>. Acesso em Setembro de 2008.

TECONDI. <[www.tecondi.com.br](http://www.tecondi.com.br)>. Acesso em Setembro de 2008.

RODRIMAR. <[www.rodrimar.com.br](http://www.rodrimar.com.br)>. Acesso em Setembro de 2008.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES DO ESTADO DE SÃO PAULO: Plano Diretor de Desenvolvimento dos Transportes. <[www.transportes.sp.gov.br/v20/pddt.asp](http://www.transportes.sp.gov.br/v20/pddt.asp)>. Acesso em Julho 2008.

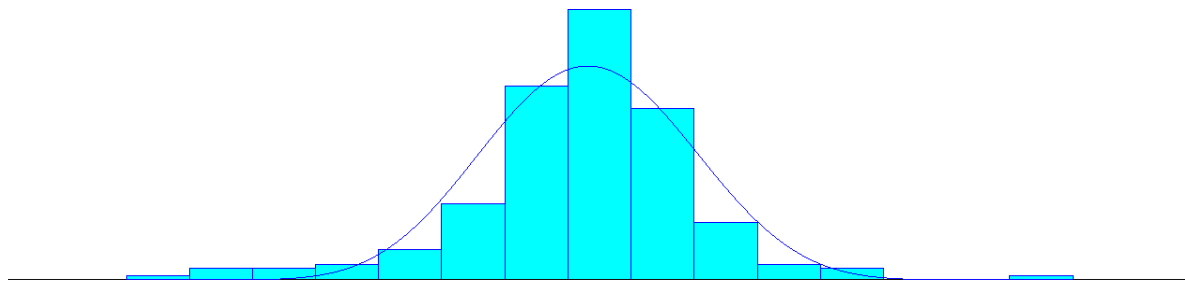
WSC (WINTER SIMULATION CONFERENCE). Artigos disponíveis em <[www.informs-cs.org](http://www.informs-cs.org)>. Acesso em Agosto de 2008.

## **12 Anexos**

## 12.1 Análise de Dados de Entrada

As análise que seguem foram efetuadas através do Arena Input Analyzer.

### 12.1.1 Intervalo entre Chegadas de Caminhões Convencionais ao Terminal



#### Distribution Summary

Distribution: Beta  
Expression:  $1 + 12,5 * \text{BETA}(10.3, 10.8)$   
Square Error: 0.010438

#### Histogram Summary

Histogram Range = 1 to 16  
Number of Intervals = 15

#### Distribution Square Error Comparison

#### Chi Square Test

Number of intervals = 7  
Degrees of freedom = 4  
Test Statistic = 14.8  
Corresponding p-value = 0.00508

#### Kolmogorov-Smirnov Test

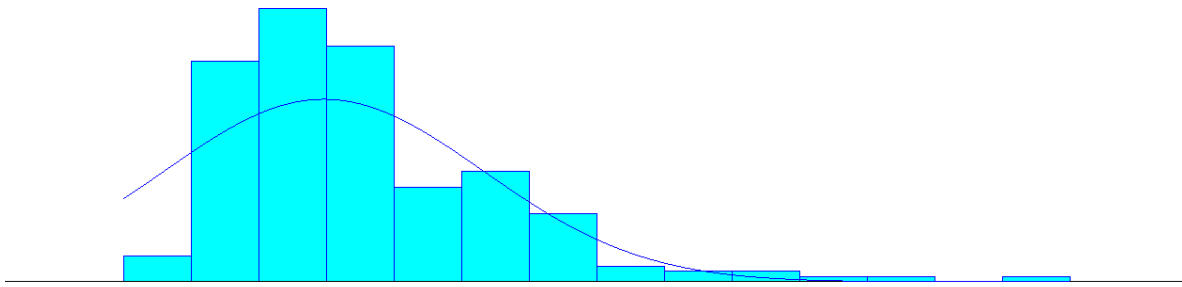
Test Statistic = 0.104  
Corresponding p-value = 0.0147

#### Data Summary

Number of Data Points = 229  
Min Data Value = 1.9  
Max Data Value = 15.1  
Sample Mean = 8.25  
Sample Std Dev = 1.72

Function	Sq Error
Beta	0.0104
Normal	0.013
Weibull	0.0158
Erlang	0.0296
Gamma	0.0304
Lognormal	0.0449
Triangular	0.0684
Uniform	0.132
Exponential	0.161

## 12.1.2 Intervalo entre Chegadas de Navios ao Terminal da Santos Brasil



### Distribution Summary

Distribution: Normal  
Expression: NORM(9.17, 2.53)  
Square Error: 0.002463

### Histogram Summary

Histogram Range = 6 to 21  
Number of Intervals = 14

### Chi Square Test

Number of intervals = 7  
Degrees of freedom = 4  
Test Statistic = 2.52  
Corresponding p-value = 0.645

### Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0544  
Corresponding p-value > 0.15

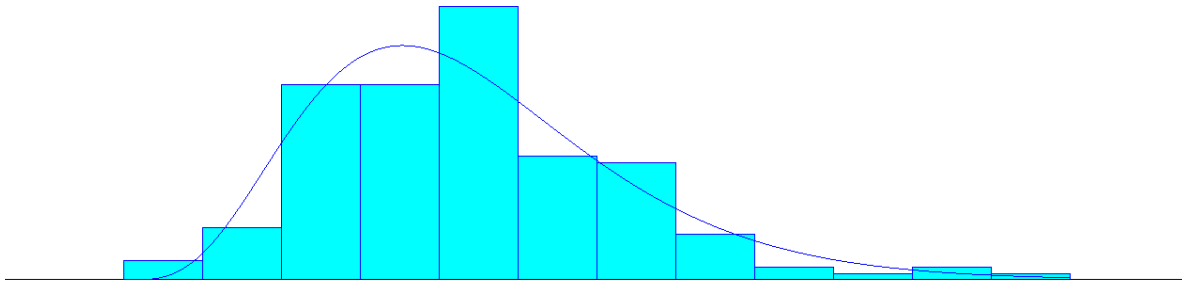
### Data Summary

Number of Data Points = 206  
Min Data Value = 6.4  
Max Data Value = 20.4  
Sample Mean = 9.77  
Sample Std Dev = 2.19

### Distribution Square Error Comparison

Function	Sq Error
Normal	0.00246
Weibull	0.00294
Beta	0.00346
Erlang	0.00827
Gamma	0.00859
Triangular	0.00951
Lognormal	0.0181
Uniform	0.0564
Exponential	0.0879

### 12.1.3 Intervalo entre Chegadas de Navios ao Terminal da Tecondi



#### Distribution Summary

Distribution: Erlang  
Expression:  $6 + \text{ERLA}(1.4, 5)$   
Square Error: 0.007506

#### Histogram Summary

Histogram Range = 6 to 25  
Number of Intervals = 12

#### Chi Square Test

Number of intervals = 7  
Degrees of freedom = 4  
Test Statistic = 8.06  
Corresponding p-value = 0.0919

#### Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0859  
Corresponding p-value > 0.15

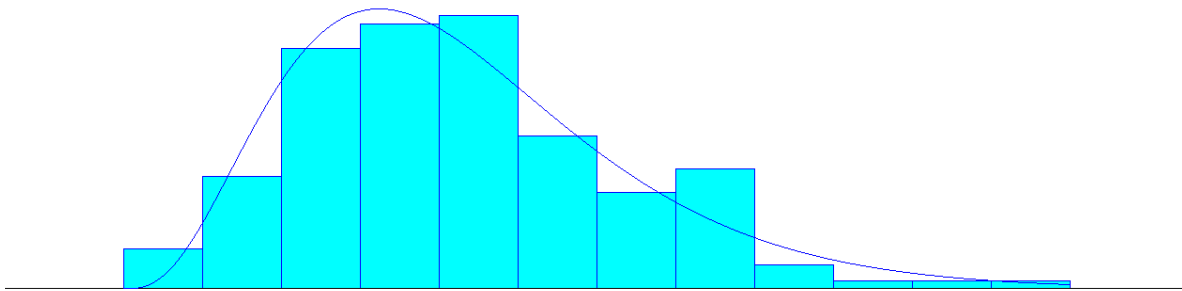
#### Data Summary

Number of Data Point = 163  
Min Data Value = 4.7  
Max Data Value = 24.5  
Sample Mean = 13  
Sample Std Dev = 3.01

#### Distribution Square Error Comparison

Function	Sq Error
Erlang	0.00751
Gamma	0.00753
Weibull	0.00882
Beta	0.00951
Normal	0.0103
Lognormal	0.0109
Triangular	0.0324
Uniform	0.0816
Exponential	0.0942

### 12.1.4 Intervalo entre Chegadas de Navios ao Terminal da Libra



#### Distribution Summary

Distribution: Erlang  
Expression:  $5 + \text{ERLA}(1.64, 4)$   
Square Error: 0.003632

#### Histogram Summary

Histogram Range = 6 to 22  
Number of Intervals = 12

#### Chi Square Test

Number of intervals = 7  
Degrees of freedom = 4  
Test Statistic = 3.53  
Corresponding p-value = 0.479

#### Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0729  
Corresponding p-value > 0.15

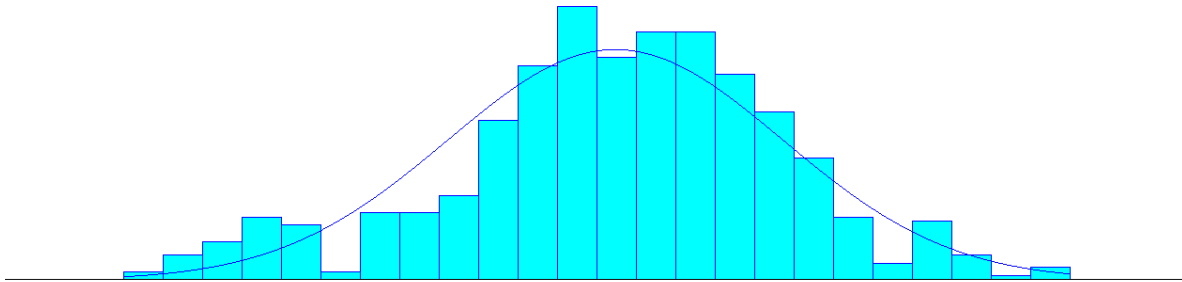
#### Data Summary

Number of Data Points = 168  
Min Data Value = 6.24  
Max Data Value = 21.2  
Sample Mean = 11.8  
Sample Std Dev = 2.76

#### Distribution Square Error Comparison

Function	Sq Error
Erlang	0.00363
Weibull	0.00415
Beta	0.00441
Gamma	0.00441
Normal	0.00786
Lognormal	0.0105
Triangular	0.0251
Uniform	0.0622
Exponential	0.0694

### 12.1.5 Tempo de atracação dos navios aos terminais



#### Distribution Summary

Distribution: Normal  
Expression:  $\text{NORM}(14.9, 3.37)$   
Square Error: 0.003577

#### Histogram Summary

Histogram Range = 5 to 24  
Number of Intervals = 24

#### Chi Square Test

Number of intervals = 17  
Degrees of freedom = 14  
Test Statistic = 64.3  
Corresponding p-value < 0.005

#### Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.059  
Corresponding p-value = 0.0345

#### Data Summary

Number of Data Points = 585  
Min Data Value = 5.2  
Max Data Value = 24  
Sample Mean = 14.9  
Sample Std Dev = 3.37

#### Distribution Square Error Comparison

Function	Sq Error
Normal	0.00358
Weibull	0.00467
Beta	0.00546
Triangular	0.0069
Erlang	0.0115
Gamma	0.0121
Lognormal	0.0194
Uniform	0.0308
Exponential	0.049



## **12.2 Codificação do Modelo no Arena**

É apresentada a seguir a codificação do modelo no Arena. Trata-se da apresentação dos blocos que formam a lógica do modelo.

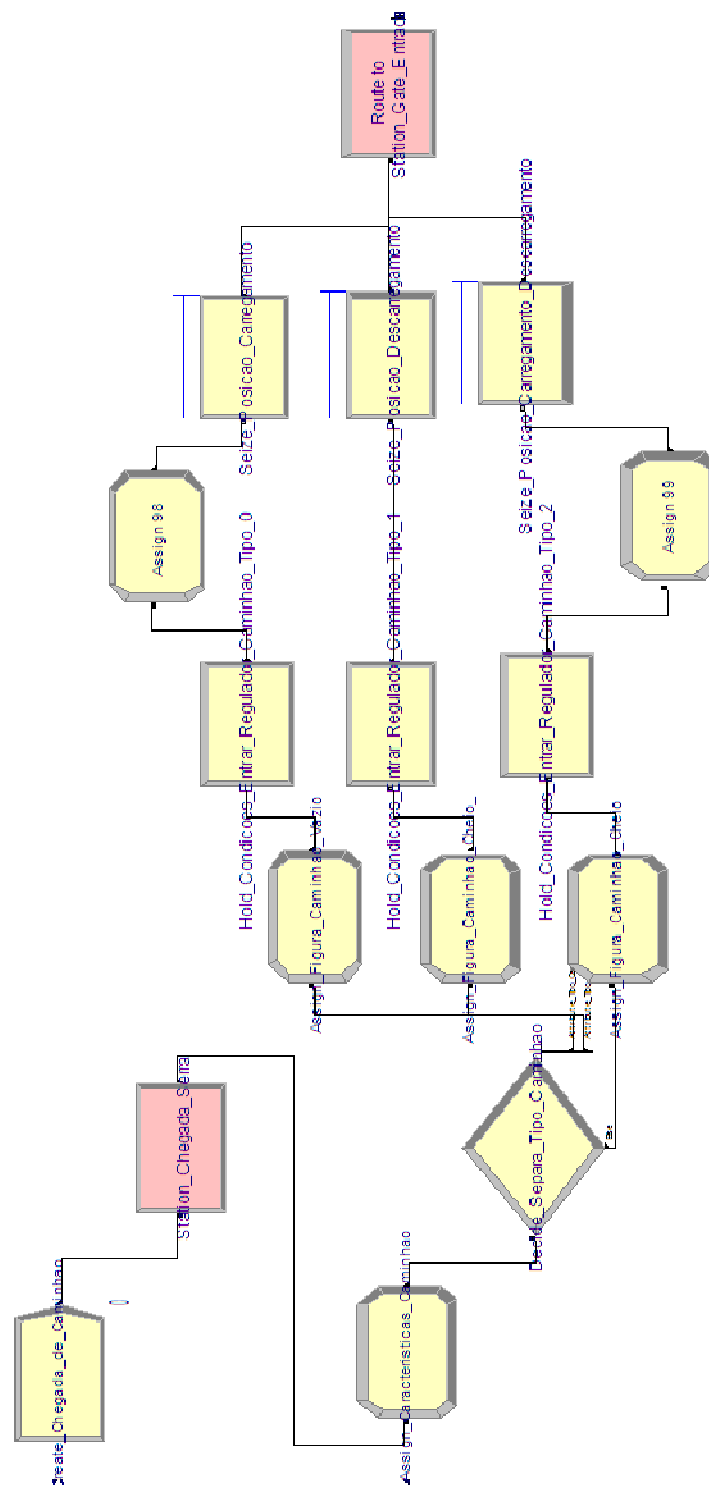
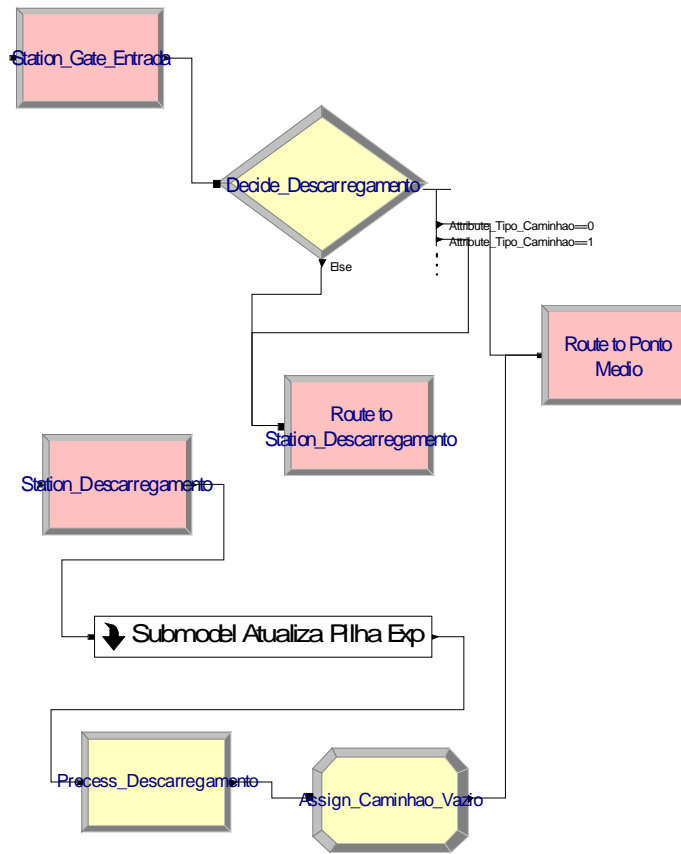


Figura 43 – Chegada de caminhões convencionais e controle de entrada no Terminal Regulador



**Figura 44 – Separação dos Processos de Carga e Descarga e Processo de Descarregamento**

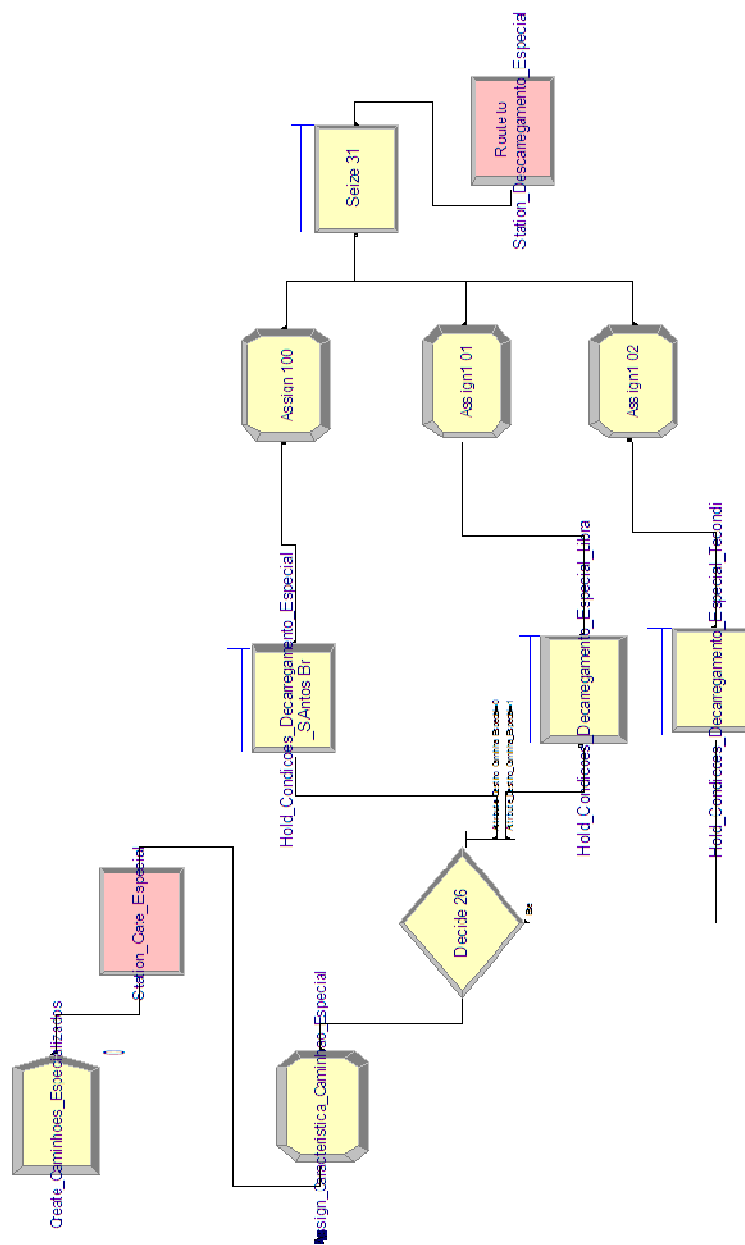


Figura 45 – Criação dos caminhões especializados e controle de entrada no Terminal Regulador

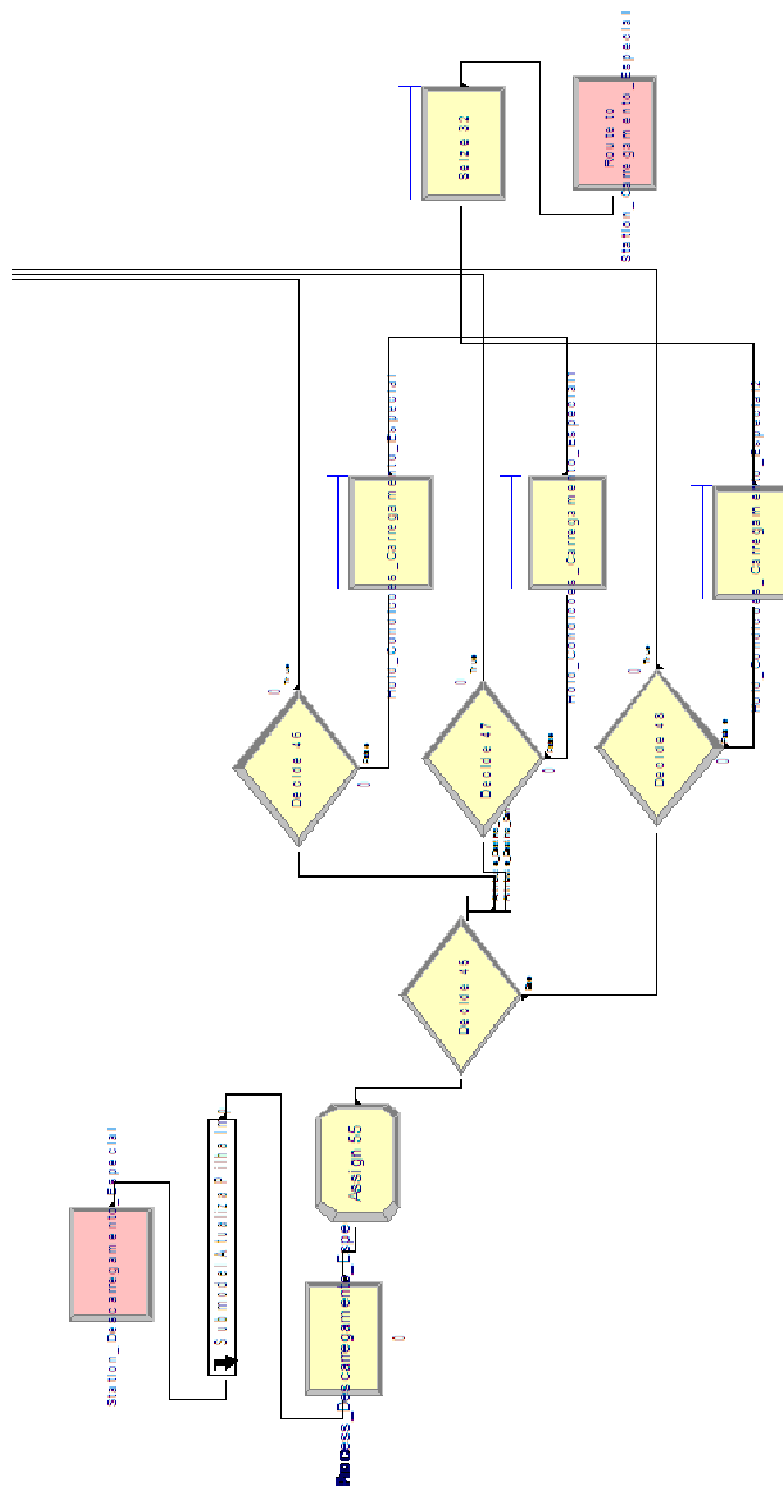


Figura 46 – Processo de descarregamento especial e controle do carregamento especial



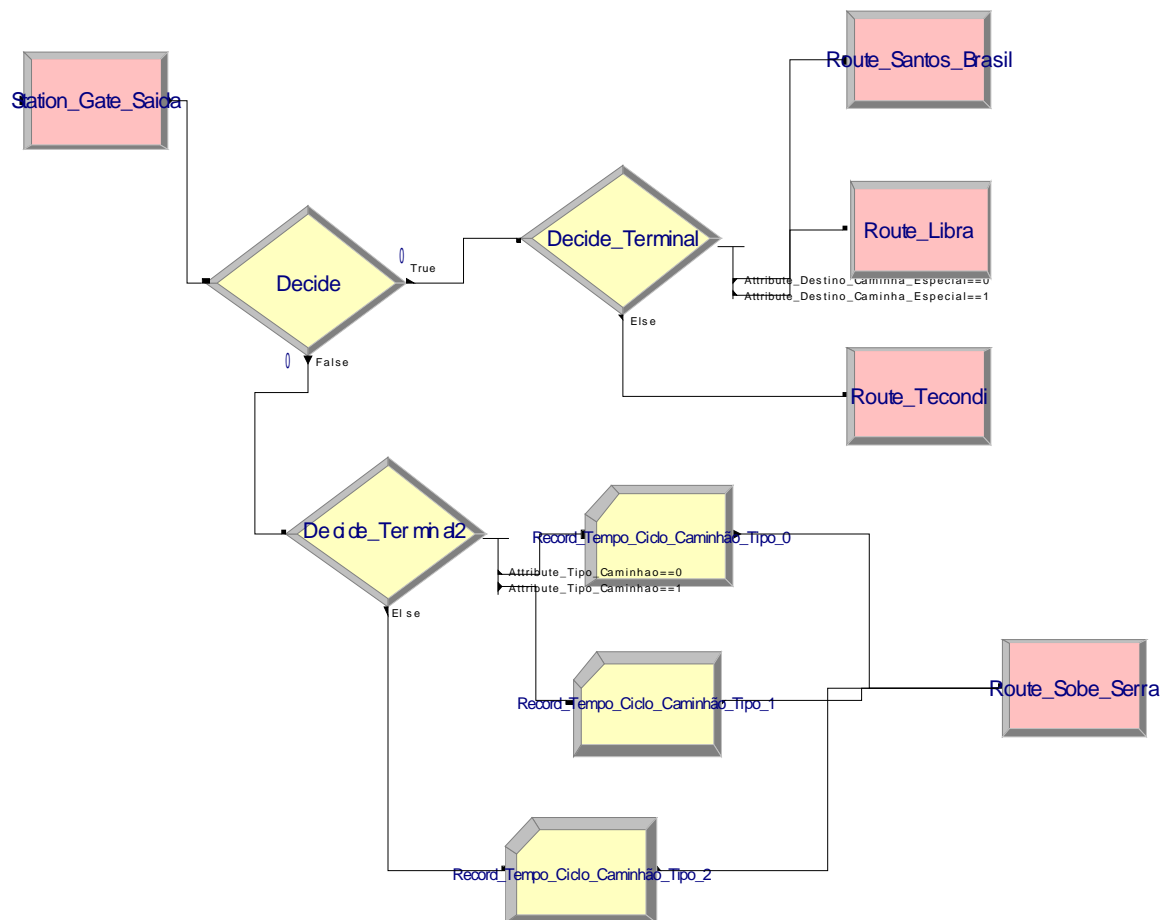
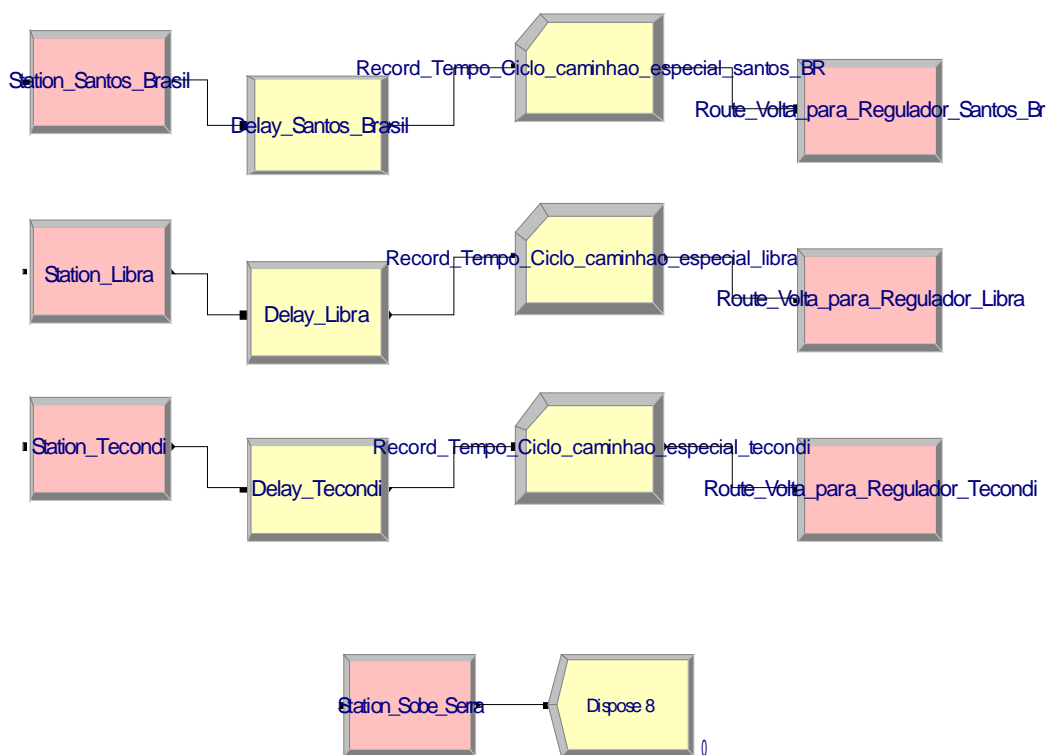


Figura 48 – Saída do Terminal Regulador - rotas para os terminais de contêiner e subida da serra



**Figura 49 – Rotas de retorno ao Terminal Regulador e Subida da Serra**







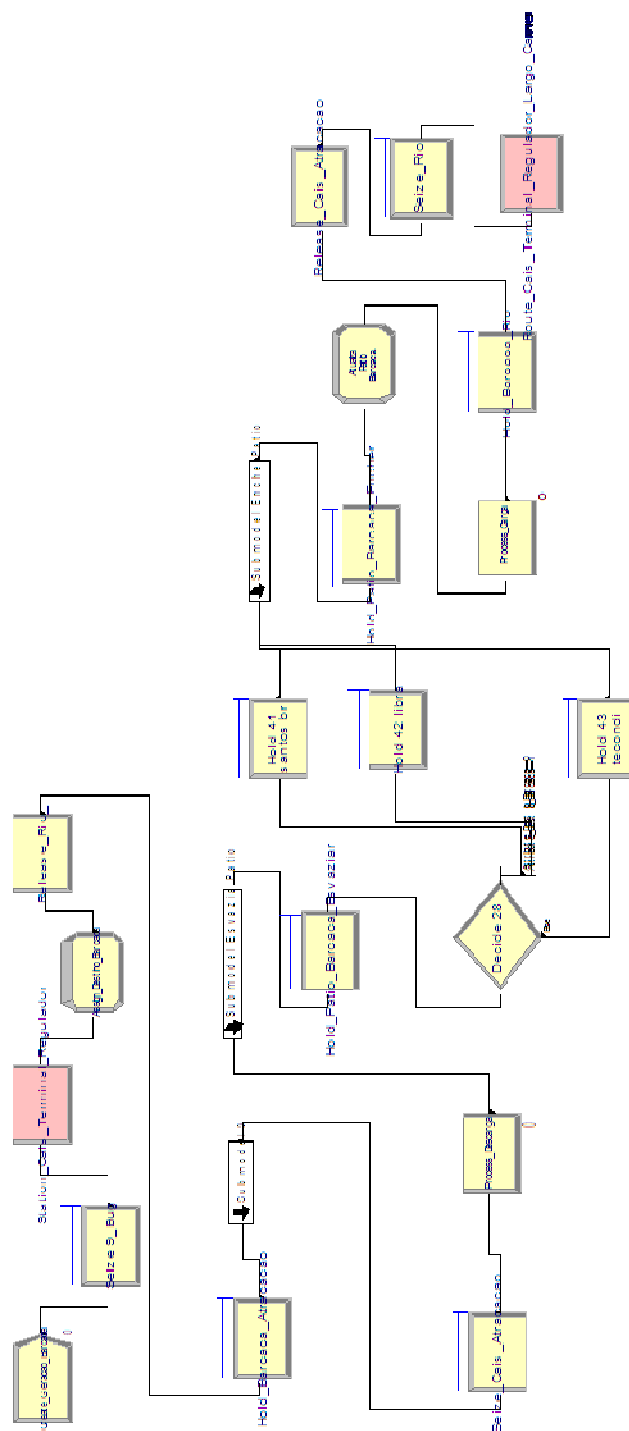


Figura 52 – Criação das barcas, processo de carregamento e descarregamento no Terminal Regulator, compartilhamento da hidrovia e rota até o Largo do Carnéu

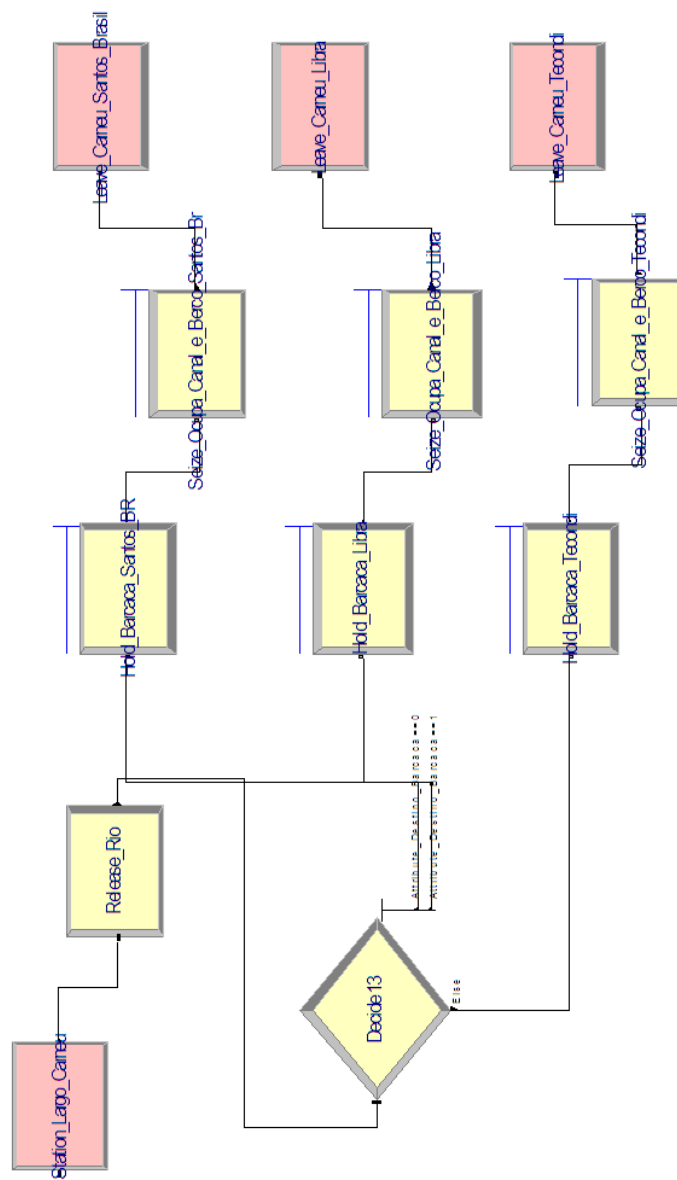
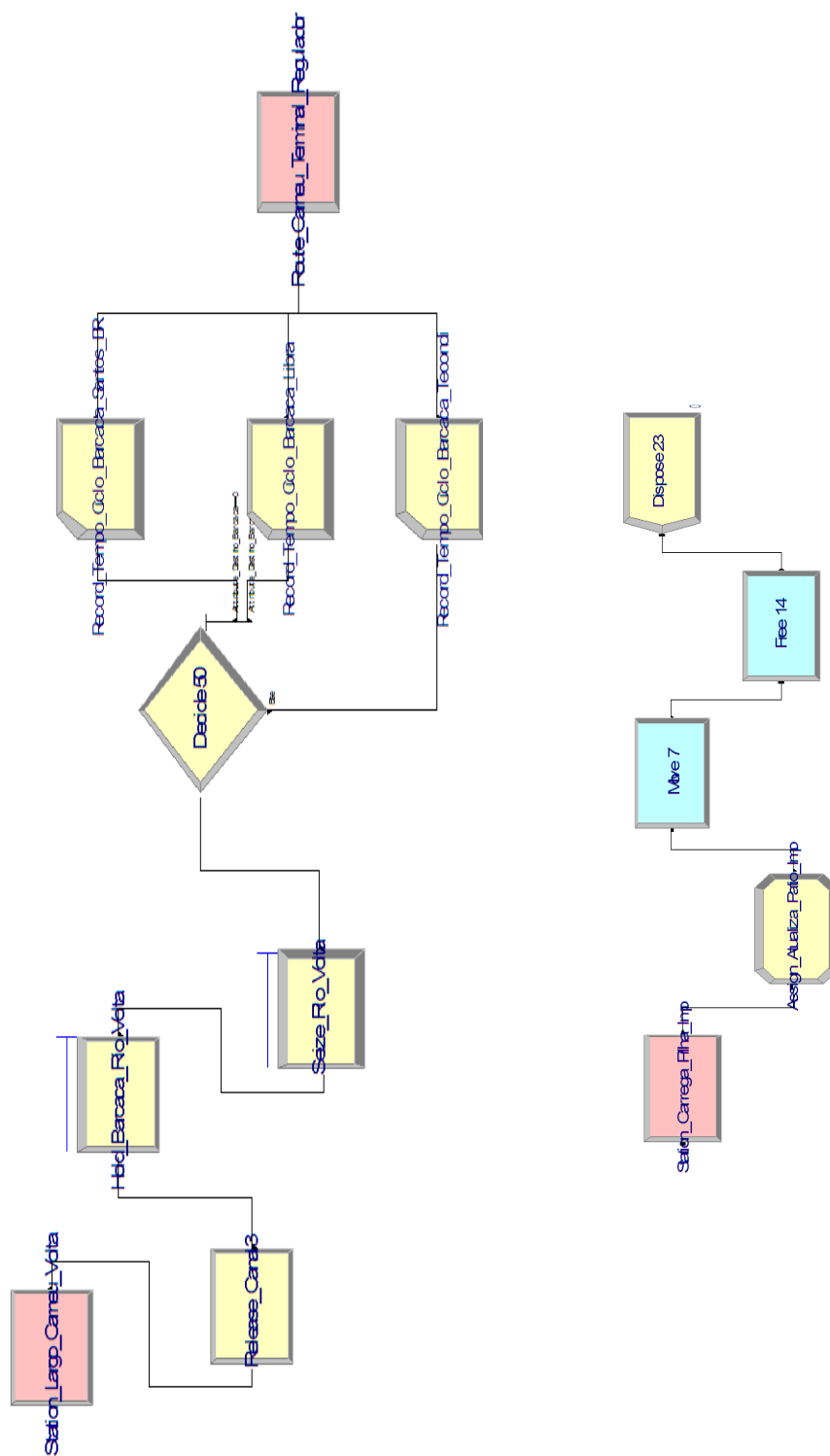


Figura 53 – Controle compartilhamento do canal do porto e rota das barçaas até os terminais santistas



**Figura 54 – Rota de retorno das barcas / Processo de carregamento das barcas no Terminal Regulador**

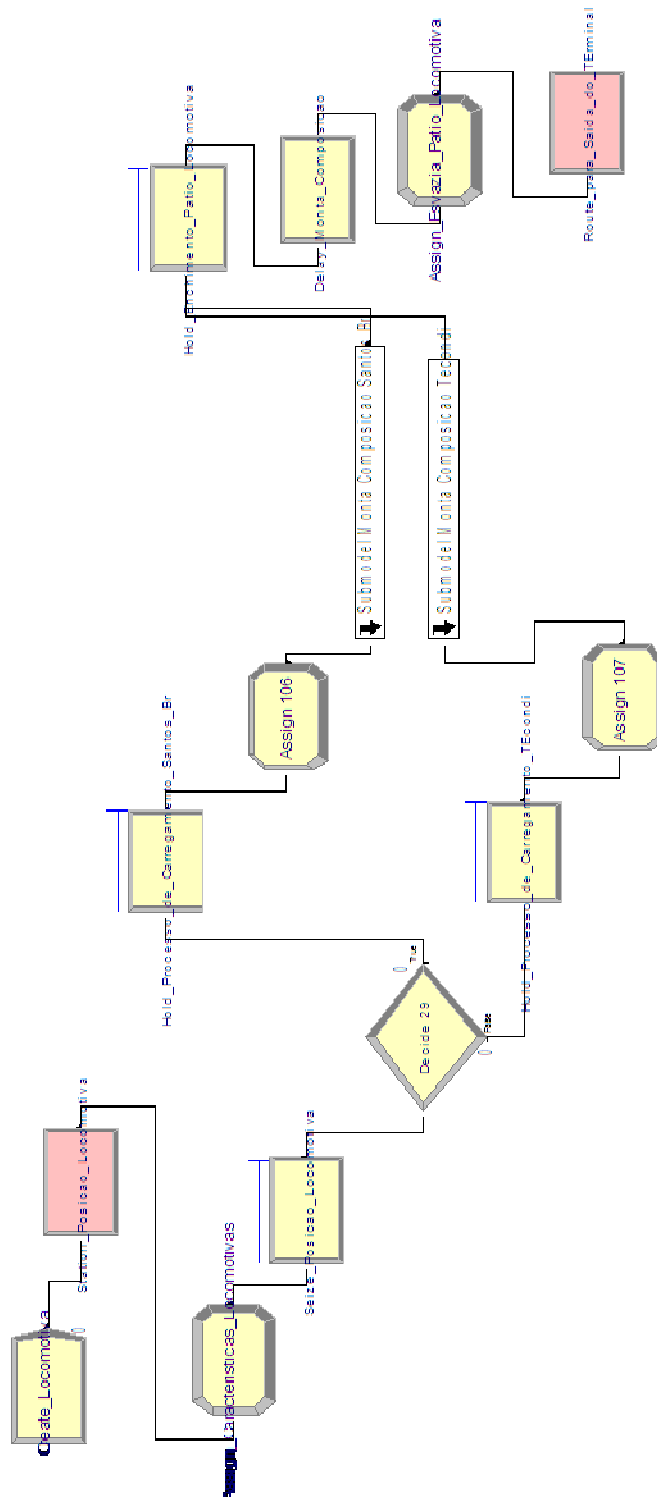
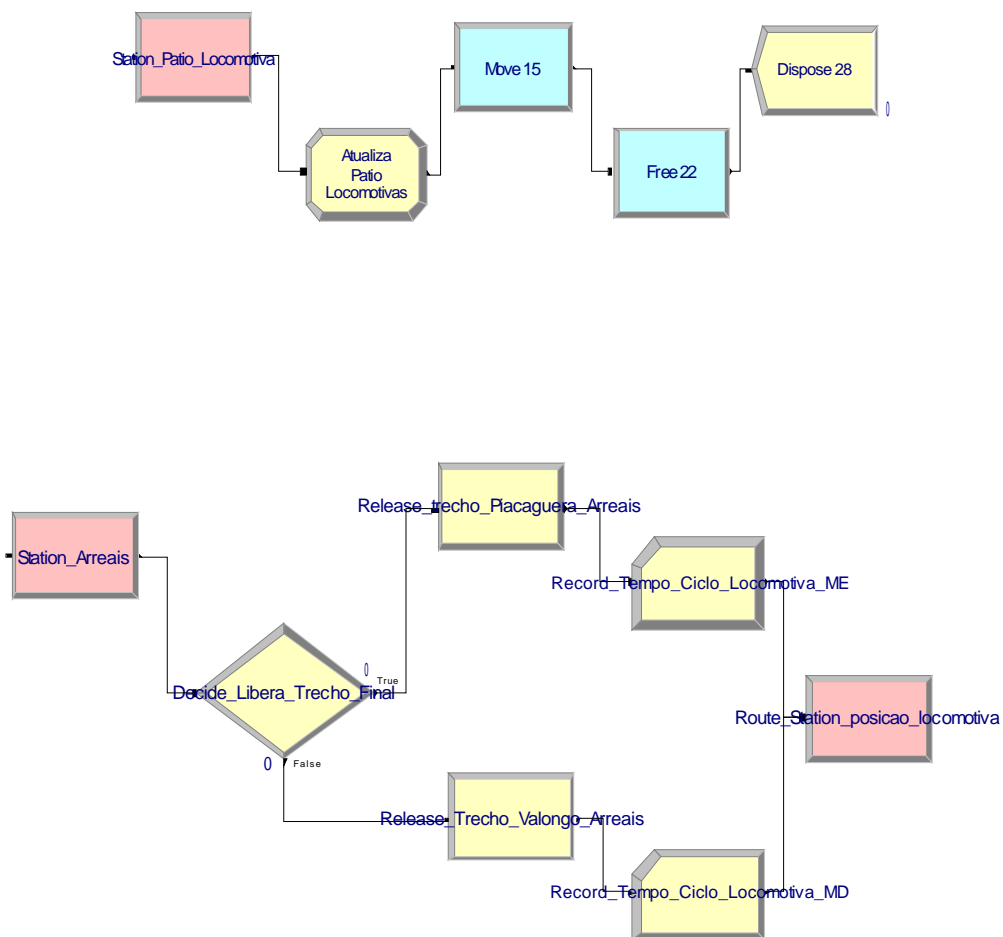


Figura 55 – Geração das locomotivas, processo de carregamento e expedição



**Figura 56 – Controle do carregamento das locomotivas / Controle do trecho Piacaguera/Valongo - Arreais**

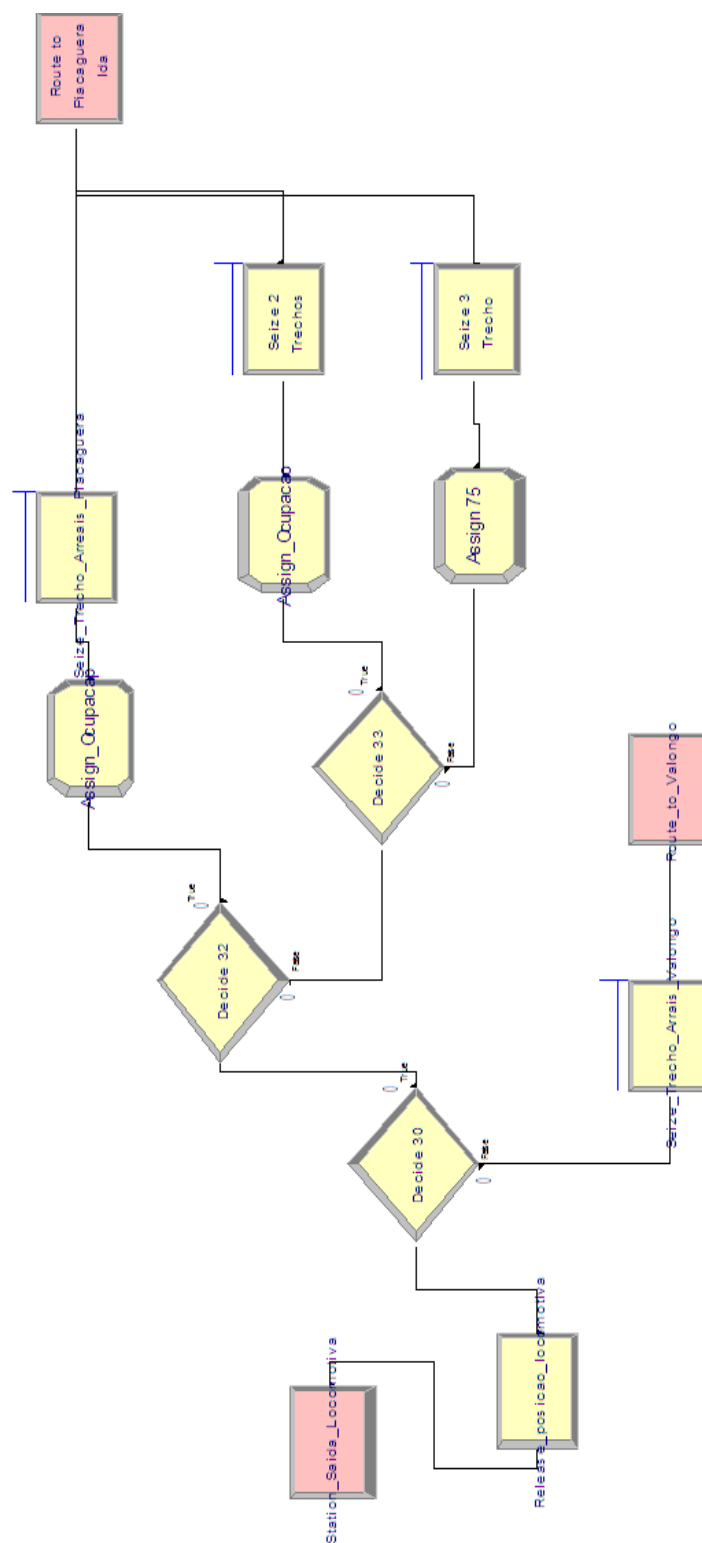
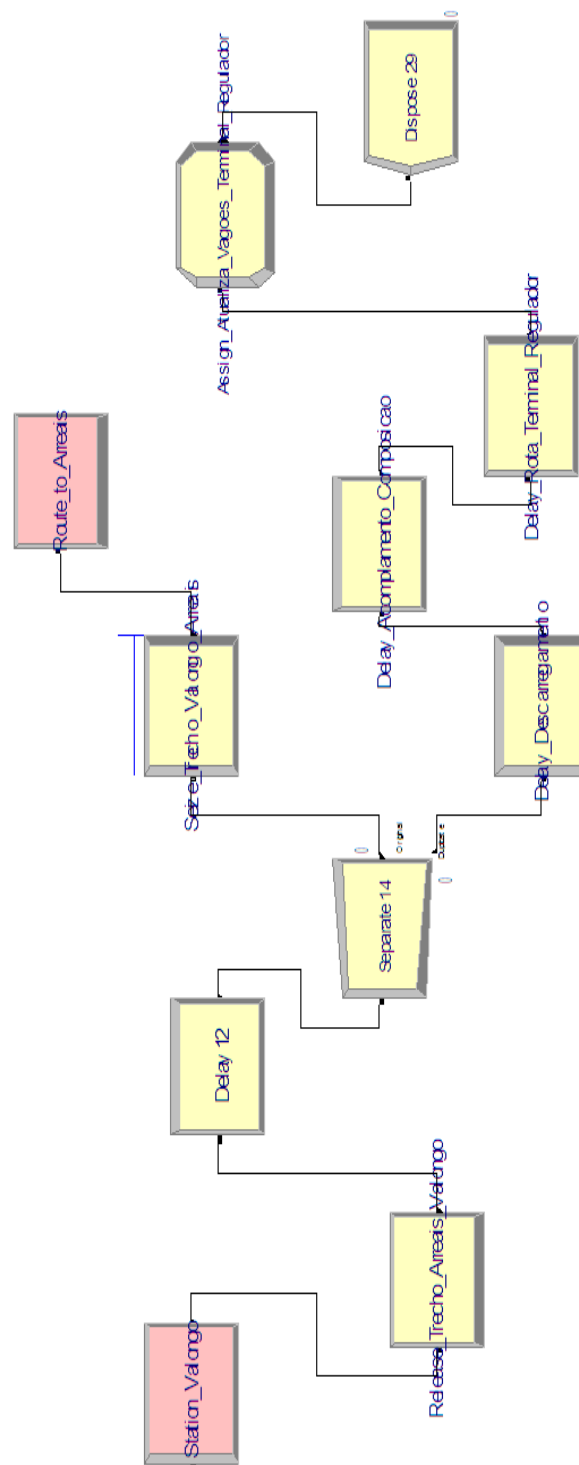
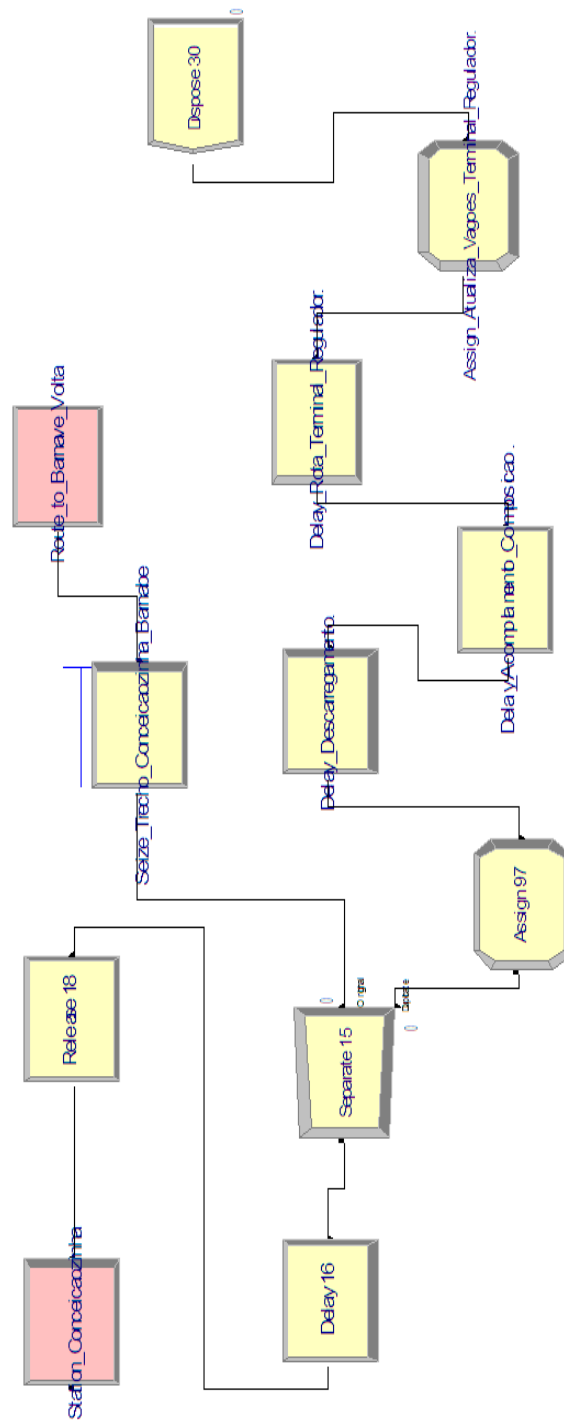


Figura 57 – Controle do destino da locomotiva e dos trechos Arreais – Piaçaguera/Valongo





**Figura 58 – Controle do descarregamento nos terminais da margem direita e retorno ao Terminal Regulador**



**Figura 59 – Controle do descarregamento nos terminais da margem esquerda e retorno ao Terminal Regulador**

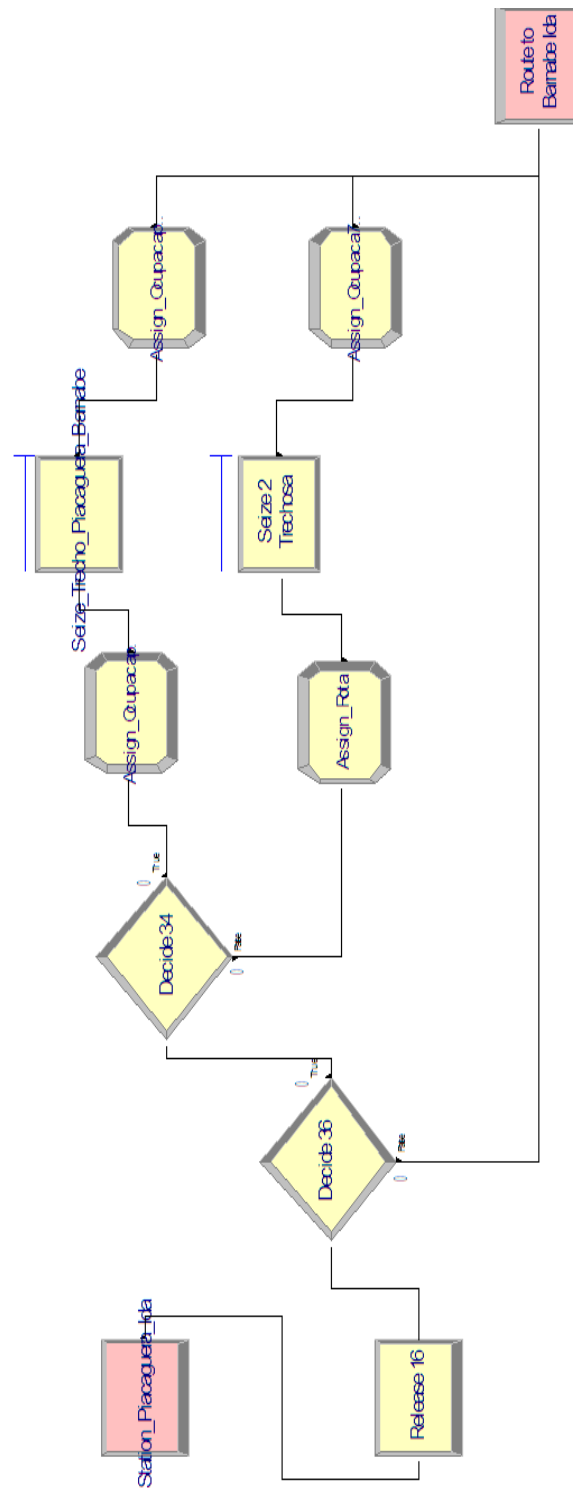


Figura 60 – Controle do trecho Piaçaguera-Barnabé

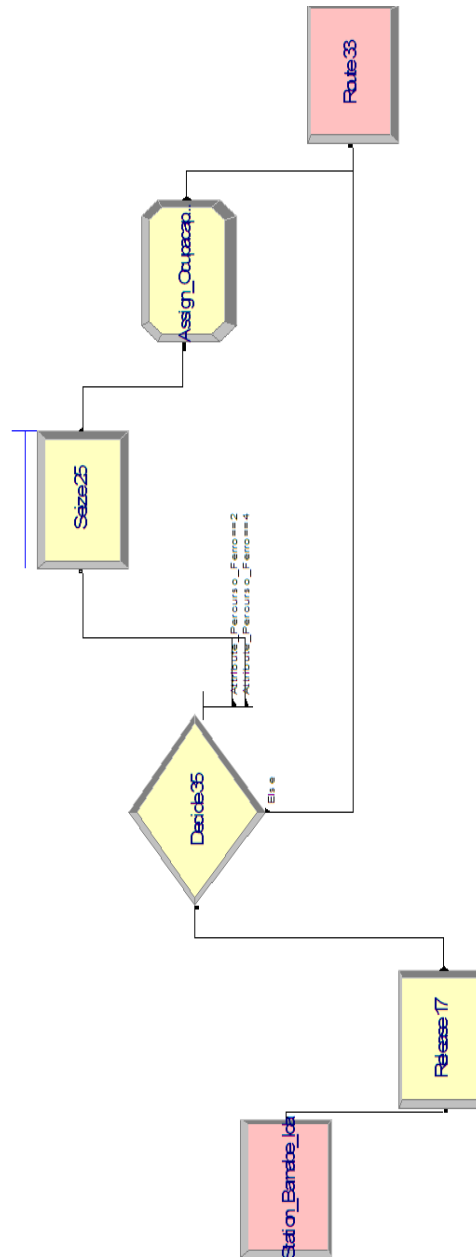
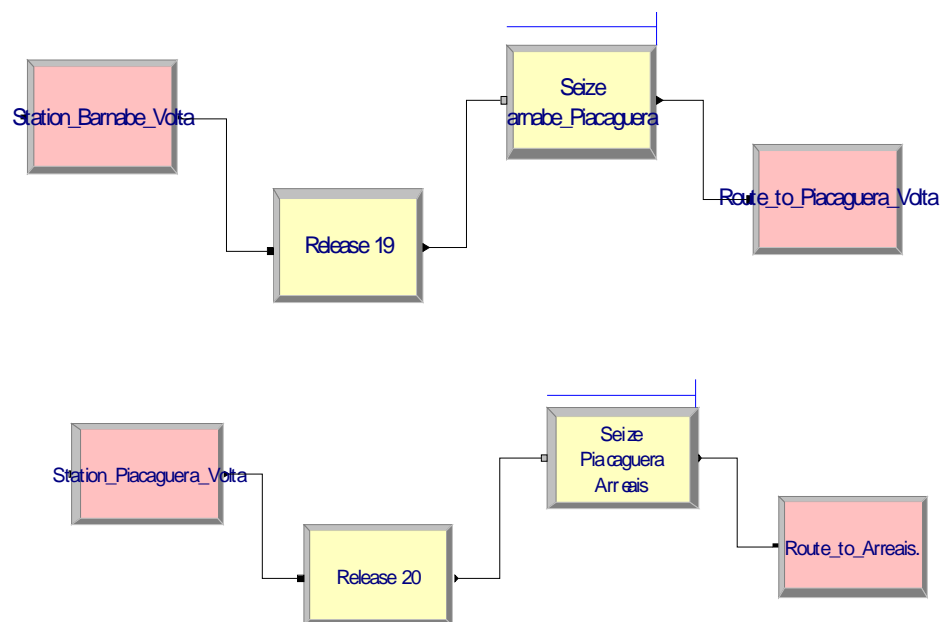


Figura 61 – Controle do trecho Barnabé-Conceiçãozinha



**Figura 62 – Controle dos trechos de retorno Barnabé-Piaçaguera e Piaçaguera-Arreais**

### **12.3 Mapa de Localização Geral e Rotas**