



## CONTRIBUIÇÃO À INTEGRAÇÃO ENTRE PÁTIO FERROVIÁRIO E TERMINAL PORTUÁRIO DE CONTÊINER

Ana Lucia Dorneles de Mello

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Engenharia de Transportes.

Orientador: Amaranto Lopes Pereira

Rio de Janeiro

Maio de 2012

CONTRIBUIÇÃO À INTEGRAÇÃO ENTRE PÁTIO FERROVIÁRIO E TERMINAL  
PORTUÁRIO DE CONTÊINER

Ana Lucia Dorneles de Mello

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

---

Prof. Amaranto Lopes Pereira, Dr. Ing.

---

Prof. Marcio de Almeida d'Agosto, D. Sc.

---

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc.

---

Prof. Nelson Maculan Filho, D. Habil.

---

Prof. Claudio Barbieri da Cunha, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
MAIO DE 2012

Mello, Ana Lucia Dorneles de

Contribuição à Integração Entre Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêiner / Ana Lucia Dorneles de Mello. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XV, 206 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Amaranto Lopes Pereira

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 174-183.

1.Integração Intermodal. 2. Terminal de Contêineres. 3. Pátio Ferroviário. 4. Planejamento de Transporte. 5. Transporte de Carga. I. Pereira, Amaranto Lopes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

Àqueles que fazem parte da minha família e àqueles que ainda serão.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela verdade, caminho e luz.

Ao Prof. Dr. Ing. Amaranto Lopes Pereira, pelo exemplo de dedicação, conhecimento e superação, que como um mestre verdadeiro, me orientou de forma incomparável, sempre precisa, pela gentileza e acima de tudo pela amizade de mestre. Um grande professor cuja trajetória acadêmica sempre será a inspiração e exemplo a ser seguido.

À Prof. D. Sc. Marta Monteiro da Costa Cruz, D. Sc. Carlos Alberto Nunes Cosenza e D. Ing. Márcio Peixoto de Sequeira Santos pela gentileza em participar da Banca Examinadora do Exame de Qualificação. A sua contribuição foi valorosa para o direcionamento e melhoria deste trabalho.

A cada um dos professores da Banca Examinadora, D. Ing. Amaranto Lopes Pereira, D. Sc. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc. Claudio Barbieri Cunha, D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto e D. Habil. Nelson Maculan Filho, pela dedicação de seu tempo, atenção e competência na avaliação e crítica desta tese.

Aos Profs. Dr. Ing. José Eugênio Leal, meu orientador no mestrado e Ph. D. Jorge Nunes e Silva Brito, cujas integridades constituíram a principal referência na aceitação desta candidata pelo Programa de Engenharia de Transportes.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, por ter oferecido o apoio necessário para a realização deste trabalho, em especial aos funcionários da secretaria: Ieda, Jane e Helena.

Ao Engenheiro João Carlos Lopes Pereira pelo apoio oferecido por meio das instalações do LESFER (Laboratório de Estudos de Simulação Ferroviária) e principalmente pela amizade e acolhida nos momentos decisivos.

Aos colegas do Pet, especialmente os do laboratório Lesfer, a D. Sc. Emilia Parentoni, M. Sc. Antonio Gusmão pela amizade. Ao D. Sc. Getúlio Marques Martins, pelo auxílio e orientação em um momento de decisão sobre métodos da pesquisa. À M. Sc. Bianca Cortes, também pela revisão do texto.

Aos participantes da pesquisa que por serem muitos não serão citados individualmente.

Aos colegas do CEFET- Campus Itaguaí e principalmente à direção pelo apoio e auxílio. E aos meus alunos, que com seus questionamentos e suas necessidades, me ensinam a reinventar formas de ensinar.

Aos meus amigos próximos e distantes, recentes e de muito tempo, vocês tornam minha vida mais feliz e alegre.

Aos meus familiares, do Rio Grande do Sul, em especial meus pais Gil e Gelci que sempre me incentivaram a estudar e meu irmão Paulo e minha irmã D. Sc. Liane Dorneles, por todo amor, por toda a alegria e apoio incondicional, embora à distância.

Ao Mario, marido, companheiro, amigo e amor que com seu bom humor, integridade e palavras de apoio sempre me incentivou a buscar o meu caminho, que também é nosso.

Aos meus filhos Matheus e Gabriel, alegria infinita, sempre souberam esperar pela minha atenção e meu abraço, o meu amor mais puro e profundo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

## CONTRIBUIÇÃO À INTEGRAÇÃO ENTRE PÁTIO FERROVIÁRIO E TERMINAL PORTUÁRIO DE CONTÊINER

Ana Lucia Dorneles de Mello

Maio / 2012

Orientador: Amaranto Lopes Pereira.

Programa: Engenharia de Transportes

Esta tese propõe um modelo para analisar a configuração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres. Os problemas de integração na transferência tornam-se mais complexos para o tomador de decisão à medida que o terminal necessita expandir sua capacidade e ou definir o local da transferência intermodal. Essas decisões envolvem as operações de interface, tendo em vista a ligação física, e também a funcionalidade das operações logísticas da transferência em um ambiente dinâmico com múltiplos agentes e objetivos. Neste estudo, desenvolveu-se um método híbrido para tratar o problema, em três etapas. A primeira trata da identificação das funções de transferência do pátio ferroviário e do terminal portuário e está fundamentada na abordagem sistêmica. A segunda etapa consiste na caracterização dos componentes dos sistemas. Para a multiplicidade de fatores, utilizou-se um método de análise multicritério, a Análise Hierárquica de Processo. O foco é identificar os atributos e sua hierarquia. Além disso, verificar a importância destes em relação aos locais de transferência em análise: na doca, no pátio de contêineres e no pátio ferroviário. Os atributos permitem caracterizar os componentes do sistema por meio das variáveis de entrada e saída. Por último, baseado na Teoria Geral de Sistemas, foram gerados as equações de estrangimento e o modelo conceitual simbólico. A aplicação da AHP apontou 'eficiência intermodal' e 'segurança operacional' como os principais atributos, enquanto 'transferência na doca' como o mais crítico para as operações de transferência. Os resultados comprovam a viabilidade do método.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

CONTRIBUTION TO INTEGRATION BETWEEN RAIL YARD AND CONTAINER  
PORT TERMINAL

Ana Lucia Dorneles de Mello

May / 2012

Advisor: Amaranto Lopes Pereira.

Department: Transportation Engineering

This thesis proposes a model to analyze the configuration of intermodal transfer between a rail yard and a port terminal for containers. The problems of integration in the transfer become more complex to the decision maker, as the terminal needs to expand its capacity, or set the location of the intermodal transfer. These decisions involve the interface operations in view of the physical connection, as well as the functionality of the transfer's logistics operations, in a dynamic environment with multiple agents and goals. In this study, we developed a hybrid method in three steps to deal with the problem. The first is identification of the main functions of the rail yard and container port terminal based on the concepts of systems theory. The second step consists of the characterization of the components of the systems. Such a multiplicity of factors was treated with a MCDM (multicriteria decision making method), the hierarchical analysis of process. The focus is to identify the attributes of the transfer and its hierarchy. It also allows verifying the importance of each attribute in relation to local alternatives of transfer: transfer on the dock, in the container yard, or in the rail yard. Attributes allow us to characterize the system components by means of input and output variables. In the last, based on the general theory of systems, we generated constraint equations and the symbolic conceptual model. The results indicate how relevant intermodal efficiency and operational safety are, while the transfer location on the dock was singled out as the most critical for intermodal transfer. Such results prove the feasibility of the method.

## ÍNDICE DO TEXTO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO E ORIGINALIDADE.....	2
1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA.....	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	9
<b>2. TERMINAIS DE CONTÊINERES E PÁTIOS FERROVIÁRIOS.....</b>	<b>11</b>
2.1 PORTOS.....	12
2.2 OS PROCESSOS CARACTERÍSTICOS NOS TERMINAIS DE CONTÊINERES.....	14
2.2.1 Elementos Operacionais do Terminal de Contêineres.....	15
2.3 O PÁTIO FERROVIÁRIO.....	20
2.3.1 Elementos Operacionais do Pátio Ferroviário.....	21
2.4 EQUIPAMENTOS DAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS.....	23
2.4.1 Equipamentos de Cais.....	24
2.4.2 Equipamentos de Pátio.....	28
2.5 A INTERMODALIDADE EM PÁTIOS FERROVIÁRIOS E TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CONTÊINERES.....	30
2.5.1 Modelo <i>Hub-and-Spoke</i> .....	31
2.5.2 Trens Expressos de Carga.....	31
2.5.3 Modelo do Terminal de Contêineres Tipo <i>Agile Port System</i> .....	32
2.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	32
2.6.1 Operações de Recepção e Despacho.....	34
2.6.2 Integração de Operações.....	34
2.6.3 Congestionamento e Tráfego.....	36
2.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	37
<b>3. O PROBLEMA DA INTEGRAÇÃO INTERMODAL.....</b>	<b>38</b>
3.1 ESTRUTURA FÍSICA.....	38
3.1.1 Linha Férrea Situada na Doca, dentro do Pátio de Contêineres.....	40
3.1.2 Linha Férrea Situada no Terminal Portuário, mas Separado do Pátio de Contêineres.....	40
3.1.3 Linha Férrea Situada ao Lado do Terminal Portuário.....	40
3.1.4 Linha Férrea Situada ao Lado do Terminal Portuário, mas Fora do Porto.....	41
3.1.5 Análise Comparativa entre Configurações.....	41
3.2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETO.....	42
3.2.1. Características de Projeto do Pátio Ferroviário .....	43

3.2.2. Características de Projeto do Terminal Portuário de Contêineres.....	43
3.2.3. Características Físicas da Transferência Intermodal.....	47
3.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL.....	48
3.3.1 Pátio Ferroviário.....	48
3.3.2 Terminal de Contêineres.....	49
3.3.3 Tecnologia de Informação e Comunicação.....	54
3.4 MEDIDAS DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL.....	55
3.4.1 Indicadores de Classificação.....	56
3.4.1.1 Indicadores de Projeto para Classificar Tipos de Terminais.....	57
3.4.1.2 Desempenho do Ponto de Vista do Cliente.....	58
3.4.1.3 Produtividade e Utilização do Terminal.....	59
3.4.1.4 Desempenho de Equipamento e Manuseio de Contêineres.....	59
3.4.1.5 Eficiência de Uso de Espaço Terrestre.....	60
3.5 A SEGURANÇA OPERACIONAL.....	61
3.5.1 Confiabilidade no Ambiente Portuário e Ferroviário.....	61
3.5.2 Árvore da Segurança de Funcionamento.....	62
3.5.3 Componente Humano no Ambiente Portuário e Ferroviário.....	64
3.5.4 Equipamentos e Instalações no Ambiente Portuário e Ferroviário.....	66
3.5.5 Meio Ambiente Portuário e Ferroviário.....	67
3.6 DECISÕES NO TERMINAL DE CONTÊINERES.....	68
3.7 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES OPERACIONAIS.....	73
3.8 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	74
<b>4. METODOLOGIAS PARA ABORDAGEM DA INTEGRAÇÃO.....</b>	<b>75</b>
4.1 COMPREENSÃO DA INTEGRAÇÃO ENTRE FERROVIA E PORTO.....	75
4.2 MÉTODOS POTENCIAIS PARA O PROBLEMA DA PESQUISA.....	78
4.2.1 Conceitos Básicos.....	78
4.2.1.1 Tipos de Modelos.....	79
4.2.2 A Abordagem da Teoria de Sistemas.....	83
4.2.2.1 Noções de Objeto Abstrato e Sistema Abstrato.....	85
4.2.2.2 Estado de Sistema.....	88
4.2.2.3 Objetivos e Procedimentos para a Abordagem Sistemática.....	89
4.2.2.4 Conceitos da Teoria da Modelagem Matemática.....	91
4.2.3 Método de Decisão Multicritério.....	97
4.2.3.1 Conceitos Básicos.....	99
4.2.3.2 Tipos de Métodos de Análise de Decisão.....	101
4.2.4 O MÉTODO ESCOLHIDO.....	110

4.3 DECISÕES DE PROJETO E PROCEDIMENTOS DA PESQUISA.....	111
4.3.1 Proposições da Pesquisa.....	113
4.3.2 Estrutura Analítica da Pesquisa.....	113
4.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	114
<b>5. O MODELO DE INTEGRAÇÃO.....</b>	<b>116</b>
5.1 A NECESSIDADE DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO.....	116
5.2 O TIPO DE MODELO PROPOSTO.....	122
5.3 O MODELO DE INTEGRAÇÃO.....	123
5.3.1 Aplicação da Teoria Geral de Sistemas.....	127
5.3.2 Aplicação de Método de Análise Multicritério.....	129
5.4 ESTABELECIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO.....	130
5.4.1 Objetivo do Sistema Integrado.....	130
5.4.2 Os Fluxos entre os Sistemas.....	131
5.4.3 Atividades nos Sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres	132
5.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	136
<b>6. APLICAÇÃO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO.....</b>	<b>137</b>
6.1 APLICAÇÃO DA AHP.....	137
6.1.1 O Objetivo do Modelo AHP.....	137
6.1.2 Os Locais da Transferência Intermodal.....	138
6.1.3 Determinação dos Critérios de Avaliação.....	140
6.1.4 Estrutura do Modelo AHP.....	144
6.2 AVALIAÇÃO DOS FATORES DA INTEGRAÇÃO INTERMODAL .....	144
6.2.1 Caracterização e Dados da Aplicação.....	144
6.2.2 Determinação dos Pesos dos Critérios.....	147
6.2.3 Prioridades Obtidas.....	148
6.2.3.1 Critérios e Subcritérios.....	149
6.2.3.2 Em relação aos Locais da Transferência Intermodal.....	151
6.2.4 Análise dos Resultados.....	154
6.3 GERAÇÃO DO MODELO DO SISTEMA INTEGRADO.....	157
6.3.1 Caracterização dos Subsistemas.....	158
6.3.2 Entradas e Saídas do Sistema Integrado.....	160
6.3.3 Modelo Matemático.....	167
6.3.4 O Diagrama Funcional do Modelo Conceitual Simbólico.....	168
6.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	169
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>170</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES.....	170

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	173
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>174</b>
<b>Anexo I:</b> Pesquisa de Campo.....	184
<b>Anexo II:</b> Exemplo dos Procedimentos de Cálculo da AHP.....	191
<b>Anexo III:</b> Resultados Individuais e Média dos Resultados.....	194
<b>Anexo IV:</b> Equações de Constrangimento.....	205
<b>Anexo V:</b> Diagrama Conceitual Simbólico.....	206

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Motivos para Não Usar a Ferrovia.....	6
<b>Figura 1.2</b> Evolução do Transporte Ferroviário de Contêineres.....	6
<b>Figura 1.3</b> Distribuição de Carga por Modo de Transporte no EUA.....	7
<b>Figura 2.1</b> Fluxos de Cargas na Cadeia de Transporte.....	11
<b>Figura 2.2</b> Processos Característicos no Terminal Portuário de Contêineres.....	15
<b>Figura 2.3</b> Áreas de Estocagem para Contêineres de Acordo com o Sentido.....	16
<b>Figura 2.4</b> Sequenciamento de Atividades no Terminal de Contêineres.....	17
<b>Figura 2.5</b> Retirada de Contêiner da Posição Mais Baixa da Pilha.....	17
<b>Figura 2.6</b> Áreas de um Pátio Ferroviário.....	21
<b>Figura 2.7</b> Equipamentos Característicos de Terminais de Contêineres.....	24
<b>Figura 2.8</b> Capacidades de Pórticos Modernos.....	26
<b>Figura 2.9</b> Acessos Típicos de Portêineres a Navios.....	27
<b>Figura. 2.10</b> Relação entre Equipamentos de Manuseio de Contêineres e Capacidades em TEUs/hectare.....	28
<b>Figura 2.11</b> Pátio Ferroviário de Transferência.....	29
<b>Figura 2.12</b> Áreas de Pesquisas em Terminais de Contêineres.....	33
<b>Figura 3.1</b> Terminal de Contêineres do Porto de Darwin.....	39
<b>Figura 3.2</b> Ligações entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.....	39
<b>Figura 3.3</b> Principais Agentes Envolvidos nas Operações Portuárias.....	50
<b>Figura 3.4</b> Agentes da Interface entre Porto e a Cadeia de Transporte Ferroviária.....	52
<b>Figura 3.5</b> Exemplo de Sistema de Localização Geográfica.....	55
<b>Figura 3.6</b> Árvore da Segurança de Funcionamento.....	62
<b>Figura 3.7</b> Controle Integrado das Funções.....	69
<b>Figura 4.1</b> Interfaces entre Áreas do Ambiente Portuário.....	77
<b>Figura 4.2</b> Representação Esquemática de Sistema.....	88
<b>Figura 4.3</b> Representação de um Sistema Ultra-Estável.....	94
<b>Figura 4.4</b> Representação de um Sistema de Controle.....	94
<b>Figura 4.5</b> Estrutura de Decisão Hierárquica em Quatro Níveis.....	104
<b>Figura 4.6</b> Estrutura Analítica da Metodologia da Pesquisa.....	114
<b>Figura 5.1</b> O Sistema Terminal de Contêiner Típico.....	117
<b>Figura 5.2</b> Interações entre Componentes do Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêineres para a Transferência Intermodal.....	135
<b>Figura 6.1.</b> Transferência Direta entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.....	138

<b>Figura 6.2.</b> Transferência Indireta entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.....	139
<b>Figura 6.3</b> Estrutura da Rede do Modelo de Seleção AHP.....	144
<b>Figura 6.4</b> Caracterização dos Especialistas Consultados.....	145
<b>Figura 6.5</b> Áreas de Atuação dos Especialistas Consultados.....	145
<b>Figura 6.6</b> Estrutura Hierárquica com Objetivo, Critérios e Subcritérios.....	147
<b>Figura 6.7</b> Avaliações Individuais e Média dos Critérios.....	149
<b>Figura 6.8</b> Critérios da Transferência Intermodal entre PF e TC.....	150
<b>Figura 6.9</b> Subcritérios da Transferência Intermodal entre PF e TC.....	150
<b>Figura 6.10</b> Importância dos Locais na Transferência Intermodal.....	151
<b>Figura 6.11</b> Subcritérios da Eficiência Intermodal e os Locais da Transferência Intermodal.....	152
<b>Figura 6.12</b> Subcritérios da Segurança Operacional e os Locais da Transferência Intermodal.....	153
<b>Figura 6.13</b> Subcritérios da Estrutura Física e os Locais da Transferência Intermodal.....	153
<b>Figura 6.14</b> Subcritérios da Estrutura Organizacional e os Locais da Transferência Intermodal.....	154

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> Relações entre Tamanhos de Navios e Guindastes de Cais.....	25
<b>Tabela 3.1</b> Dimensões Mínimas e Máximas dos Locais de Terminais de Contêineres.....	47
<b>Tabela 3.2</b> Tipos de Coordenação entre Agentes.....	51
<b>Tabela 4.1</b> Matriz de Comparações Pareadas.....	106
<b>Tabela 4.2</b> Matriz das Relações Aritméticas entre os Pesos e os Julgamentos.....	108
<b>Tabela 4.3</b> Valores de Índice Randômico.....	109
<b>Tabela 5.1</b> Fluxos de Contêineres nos Sistemas e entre Sistemas.....	132
<b>Tabela 5.2</b> Atividades de Interface entre os Sistemas PF e TC.....	133
<b>Tabela 5.3</b> Atividades dos Componentes do Sistema PF.....	133
<b>Tabela 5.4</b> Atividades dos Componentes do Sistema TC.....	134
<b>Tabela 6.1</b> Relações de Interdependência entre Critérios e Subcritérios.....	143
<b>Tabela 6.2</b> Hierarquia dos Critérios e Subcritérios da Transferência Intermodal....	149
<b>Tabela 6.3</b> Importância dos Critérios nos Locais da Transferência Intermodal.....	151
<b>Tabela 6.4</b> Importância dos Subcritérios da Eficiência Intermodal nos Locais das Transferências entre PF e TC.....	152
<b>Tabela 6.5</b> Importância dos Subcritérios da Segurança Operacional nos Locais das Transferências entre PF e TC.....	152
<b>Tabela 6.6</b> Importância dos Subcritérios da Estrutura Física nos Locais das Transferências entre PF e TC.....	153
<b>Tabela 6.7</b> Importância dos Subcritérios da Estrutura Organizacional nos Locais das Transferências entre PF e TC.....	154
<b>Tabela 6.8</b> Atributos dos Subsistemas do Sistema PF.....	158
<b>Tabela 6.9</b> Atributos dos Subsistemas do Sistema TC.....	159
<b>Tabela 6.10</b> Atributos da Interface entre os Sistemas PF e TC.....	159
<b>Tabela 6.11</b> Variáveis dos Subsistemas do Sistema PF.....	161
<b>Tabela 6.12</b> Variáveis dos Subsistemas do Sistema TC.....	164
<b>Tabela 6.13</b> Variáveis da Interface entre os Sistemas PF e TC.....	166

## 1. INTRODUÇÃO

A contínua expansão da economia mundial tem levado à expansão da produção e da demanda por transporte. Isso se propaga por todo o sistema de transporte, desde veículos, vias, terminais e equipamentos, que necessita se adaptar para atender a maiores volumes nas operações de manuseio de carga e descarga, de transporte e de estocagem.

Uma solução para a questão do manuseio de grandes volumes de cargas surgiu na década de 1930 com o contêiner. Esse equipamento permite a padronização dos pacotes de cargas e movimentação quando depositados sobre veículos de transporte, como chassis de caminhões ou vagões plataforma. Com isso, somente o contêiner é movimentado e não as cargas. Para obter todas as vantagens da consequente padronização, o uso do contêiner envolveu a adaptação dos veículos de transporte, como navios, trens e caminhões, e dos terminais de transferência de contêineres. Todas essas mudanças exigiram grandes investimentos, feitos principalmente por empresas de navegação, também interessadas na maior produtividade dos seus navios e, portanto, em menores tempos de processamento em terminais.

No Brasil, os portos são relevantes devido principalmente a dois pontos: o primeiro é que grande parte das exportações ocorrem através deles e o segundo está relacionado às dimensões continentais que favorecem o transporte intermodal e de cabotagem, embora ainda pouco utilizados. Entretanto, o País apresenta grande dificuldade de adaptar o sistema de transporte às novas demandas, como está refletido na sua distribuição modal. Atualmente a demanda está distribuída entre: 58% rodoviária, 26% ferroviária, 15% cabotagem e 1 % para o aéreo (CENTRAN, 2012).

Com o objetivo de equacionar o sistema de transportes, o Ministério dos Transportes definiu, como uma das principais metas de planejamento estratégico, a distribuição de cargas entre os modos de transporte de forma mais equilibrada que a atual. Entre as soluções propostas estão a construção de novos terminais intermodais e a expansão de terminais portuários.

Embora as soluções voltadas para a infraestrutura dependam da vontade política dos gestores públicos, outras ações podem ser desenvolvidas entre gestores de terminais

e operadores de transporte, especialmente armadores e operadores ferroviários, com o objetivo de aumentar a velocidade das operações e a produtividade.

O desenvolvimento do transporte intermodal está fortemente ligado ao processo de transferência entre terminais portuários e redes ferroviárias. Isso pode ser explicado, em parte, pelas características de grandes capacidades de transporte dos modos aquaviário e ferroviário. Qualquer melhoria nos processos afeta o desempenho de terminais portuários, o que resulta em melhores preços das mercadorias, com conseqüente melhor posicionamento do País no mercado internacional.

Assim, o objetivo de contribuir com maior desempenho da transferência intermodal em terminais existentes ou no projeto de novos terminais motivou o questionamento de quais os atributos da transferência são mais relevantes e como estão relacionados com a configuração da transferência entre um pátio ferroviário e um terminal portuário.

Com isso, a visão da função intermodal em terminais portuários tem sido destacada em toda a extensão deste trabalho, principalmente no tema da interface terrestre com a ferrovia. Nesse sentido, nas questões do sistema de transportes se adequarem aos volumes crescentes de cargas, destaca-se a localização dos portos, na sua grande maioria, situados em áreas densamente urbanizadas e, portanto, sem disponibilidade de expansão de áreas para pátios de estocagem e custosas modificações nos acessos terrestres aos portos.

## **1.1 OBJETIVO E ORIGINALIDADE**

Este trabalho tem por objetivo contribuir com o estudo da integração entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêiner. A partir deste objetivo geral, definiram-se dois objetivos específicos interdependentes:

- Estabelecer um modelo de análise das diversas estruturas de integração e a pesquisa dos fatores de decisão que são considerados pelos agentes envolvidos;
- Desenvolver um procedimento para escolher os critérios que caracterizam os atributos da transferência entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres.

O modelo convencional de projeto de um terminal intermodal considera a configuração do ponto de vista da estrutura física de ligação entre um pátio ferroviário e um terminal portuário. Entretanto, nesta abordagem, é considerada apenas a visão de uma administração central (normalmente a do principal investidor ou do operador do terminal) e de acordo com os objetivos do terminal em um dado instante.

Dessa forma, a consideração convencional não se adéqua à realidade, caracterizada por um ambiente dinâmico, com muitos agentes com múltiplos objetivos.

O problema de integração torna-se mais complexo para o tomador de decisão à medida que o terminal necessite expandir sua capacidade e ou definir o local da transferência intermodal para as operações de interface terrestre, não só do ponto de vista da ligação física de projeto, mas também do ponto de vista da funcionalidade das operações.

Além disso, mesmo as decisões relacionadas à estrutura física são complexas em função da multiplicidade de fluxos e interdependências. Como por exemplo, qual o local onde a transferência pode ocorrer, à partir da existência de ligações físicas entre o pátio ferroviário e o terminal. De um modo geral, estas podem ser entre o pátio ferroviário e a área de cais, até o pátio de estocagem no terminal portuário de contêineres ou em um terminal intermodal localizado no retroporto.

Essa decisão influencia o projeto, no aspecto da configuração física e de equipamentos de manuseio e vão influenciar o desempenho das operações da transferência intermodal. Isso ocorre tanto no projeto de novos terminais, como no projeto de terminais existentes que necessitam expandir as suas capacidades e ou considerar a possibilidade de um terminal localizado no retroporto.

Essas observações motivaram o estabelecimento de um Modelo de Integração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres.

Como forma de operacionalização da pesquisa, o objetivo global foi decomposto em objetivos menores, conforme descritos a seguir:

- Identificar o ambiente portuário em que os contêineres são movimentados e a importância dessa tecnologia para o desenvolvimento da intermodalidade (Capítulo um);
- Descrever as estruturas do terminal de contêiner e pátio ferroviário, as principais atividades e os principais equipamentos necessários para o atendimento dos objetivos funcionais. Inclui as soluções adotadas nos principais problemas existentes e nos diferentes níveis de planejamento (Capítulo dois);
- Caracterizar os aspectos da configuração da transferência entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres, do ponto de vista da estrutura física, dos aspectos de projeto, da estrutura organizacional, da eficiência operacional e da confiabilidade. Definir as hipóteses operacionais (Capítulo três);
- Analisar os aspectos da transferência intermodal de forma integrada e os modelos potenciais que possibilitam o estabelecimento de um modelo de análise da integração e um modelo matemático para a seleção dos critérios da configuração da transferência intermodal (Capítulo quatro);
- Estabelecer o Modelo de Integração da transferência intermodal (Item 5.2);
- Realizar uma aplicação como forma de experimento;
- Apresentar as conclusões sobre o trabalho.

A principal inovação desse trabalho está no estabelecimento de um modelo de análise da transferência intermodal entre pátio ferroviário e terminal portuário de contêineres, vistos de forma ampla e integrada. O modelo consiste em uma extensão dos conceitos de ZADEH, onde as variáveis de entrada e saída que caracterizam as funções da transferência intermodal, são definidas pelos critérios hierarquizados pelos agentes envolvidos e que possam auxiliar o tomador de decisão a escolher entre os locais alternativos aquele que melhor contribua para a integração entre a ferrovia e o terminal portuário de contêiner.

Outras contribuições são encontradas, no conjunto da abordagem proposta. Estas consistem em informações técnicas que podem auxiliar os planejadores da área acadêmica, de governos ou empresas privadas, à identificação dos itens de análise e de aplicação em projetos de novos terminais ou à expansão de terminais existentes ou ainda na operação. Essas informações podem auxiliar gestores públicos (interessados nas melhorias da intermodalidade, por exemplo) ou privados (operadores de terminais de contêineres, operadores ferroviários, armadores, entre outros).

## 1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

O volume de cargas em contêineres tem sido crescente, principalmente em direção a novos mercados, como China e países do Golfo, segundo dados do MDIC (Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior, 2010) e da CBC, (Câmara Brasileira de Contêineres, 2011). Para que o Brasil obtenha vantagens desse crescimento, é fundamental que esteja preparado para garantir os acessos das cargas aos terminais e que estes possam oferecer o desempenho esperado pelos usuários.

A competitividade de um porto, bem como a viabilidade de implantação de um terminal portuário, está na capacidade de distribuir e receber cargas de áreas do interior. Assim, além da demanda, existe uma grande dependência da disponibilidade e da confiabilidade dos modos de transporte terrestre (HIJAR, 2008).

No Brasil, encontra-se um conjunto de fatores que, combinados, tem contribuído para a maior utilização de caminhões, em vez de trens, para o transporte de contêineres. Entre esses fatores, tem-se, por exemplo, as distâncias onde o transporte ferroviário é mais competitivo e a localização dos principais portos em relação aos principais mercados de cargas típicas para contêineres, as limitações de acesso das ferrovias, as questões regulatórias de direitos de passagem e de concessões e as facilidades de acesso ao transporte rodoviário.

Por outro lado, alguns estudos apontam que, a utilização do transporte ferroviário, mesmo em distâncias menores que 400 quilômetros, desde que haja eficiência nos terminais de embarque e desembarque, pode ser mais produtiva que o modo rodoviário, atualmente utilizado para a maioria dos deslocamentos de contêineres no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

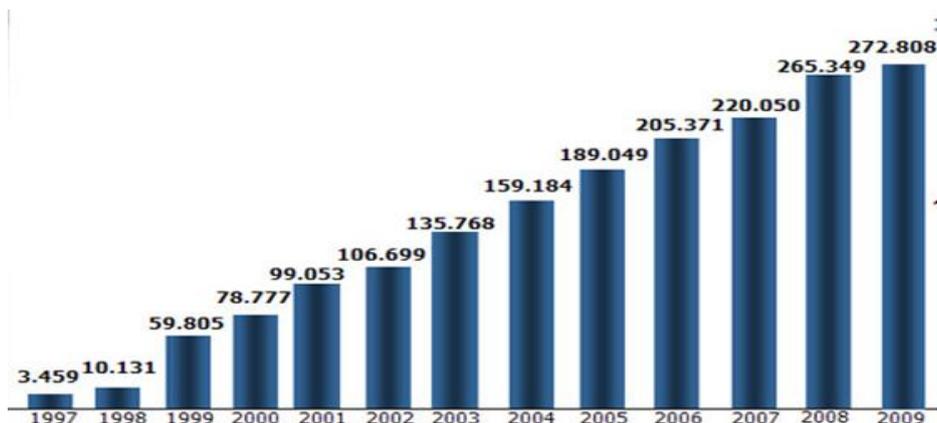
Contudo, ainda existem muitas possibilidades de crescimento. Essa conclusão é resultante de uma pesquisa desenvolvida pelo Instituto ILOS (Instituto de Logística e *Supply Chain*), em BARROS *et al.* (2009), que procurou identificar as principais causas das empresas não usarem a ferrovia. A pesquisa foi aplicada entre as 220 maiores empresas brasileiras em faturamento, em vários segmentos de mercado. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1.1, na qual se destacam as questões diretamente relacionadas à transferência intermodal como: problemas no transbordo (21%), indisponibilidade de terminais (18%), problemas com infraestrutura na interface porto x ferrovia (18%) e dificuldades de acesso aos terminais (11%).



**Figura 1.1** Motivos para Não Usar a Ferrovia. Fonte: BARROS *et al.* (2009).

Panorama das Ferrovias Brasileiras. [www.ilos.com.br](http://www.ilos.com.br)

Embora todos esses problemas apontados, o uso da ferrovia vem ganhando espaço para o transporte de contêineres, como pode ser visto pela Figura 1.2.



**Figura 1.2** Evolução do Transporte Ferroviário de Contêineres. Fonte: (ANTF, 2011)

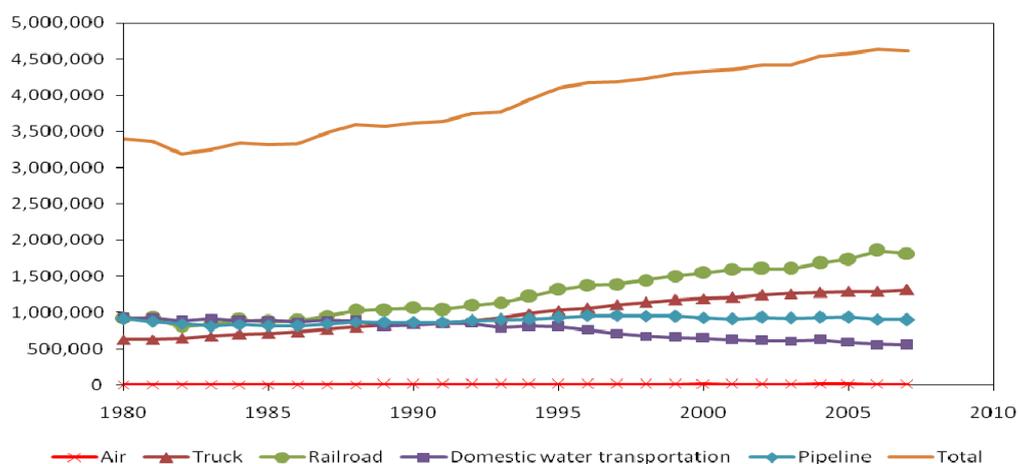
Do lado do desempenho do terminal portuário, o Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT, 2008) aponta o problema da acessibilidade, a necessidade de

redução de conflitos e congestionamentos com caminhões e demais tráfegos das vias rodoviárias e a necessidade de melhorar o nível de serviço da ferrovia. Do PNLT (2008), ressalta-se a orientação para investimentos em terminais intermodais que inclua a ferrovia como via principal de acesso aos portos brasileiros.

Na questão dos acessos das cargas à ferrovia, o PNLT (2008) indicou os principais corredores de transporte necessários para melhorar a infraestrutura de transportes brasileira. Esse plano serviu de base para o desenvolvimento do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) no setor de transportes.

Além desses pontos, a falta de planejamento do uso do solo e de fiscalização tem impactado o nível de serviço da ferrovia aos portos, devido às frequentes obstruções de vias com acidentes, principalmente em passagens de níveis. Os acessos aos portos brasileiros estão comprometidos em função, por exemplo, da ocupação desordenada das áreas no entorno dos portos, da falta de planejamento urbano e viário nas cidades brasileiras e da permissividade em relação às ocupações clandestinas de vias de circulação ferroviária, entre tantos.

Dessa maneira, é evidente a necessidade do Brasil desenvolver o seu sistema intermodal, a exemplo do que ocorre nos EUA, onde o transporte por ferrovia se destaca em função da redução das taxas de acidentes e de poluição, redução do congestionamento de tráfego nas rodovias e menores custos de transporte. O crescimento do uso da ferrovia para o transporte de carga no EUA tem sido contínuo, como mostra a Figura 1.3.



**Figura 1.3** Distribuição de Carga por Modo de Transporte no EUA (t/milha). Fonte: USDOT BTS (2010).

Diante do exposto, parece evidente que uma melhor interface entre a operação ferroviária e o terminal portuário pode contribuir com a competitividade do terminal, em relação a outros portos, assim como a competitividade do modo ferroviário em relação ao modo rodoviário.

A análise das atividades dos componentes envolvidos na transferência intermodal e a seleção dos critérios relevantes para a transferência que contribui para uma maior integração entre a ferrovia e um terminal portuário de contêineres é um problema de decisão que apresenta características de interdependência e também subjetividades nos parâmetros de julgamento.

Assim, a alta complexidade do problema de tomada de decisão faz das pesquisas para a solução um trabalho de acentuada importância.

No ambiente de projetos de expansão ou de novos terminais, a criação de um instrumento que auxilie na identificação dos atributos mais importantes da interface pode contribuir para problemas de tomada de decisão de configuração.

Uma segunda contribuição é aumentar a eficiência nas transferências intermodais de cargas, reduzindo dessa maneira a desvantagem pelo transporte indireto da intermodalidade. A importância dessa justificativa é devida aos benefícios de economias de escala, proporcionados pela intermodalidade, que podem ser melhor atingidos, contribuindo com o sistema de transporte como um todo.

A terceira contribuição decorre da anterior, pois o aumento da intermodalidade contribui com uma melhor distribuição de cargas na matriz de transportes brasileira, trazendo ganhos para a sociedade em termos de custos, redução de congestionamentos e da poluição pelo transporte rodoviário.

A quarta contribuição é a possibilidade de tratar a complexidade do ambiente de transporte com critérios qualitativos e quantitativos e auxiliar a decisão, reconhecendo as imprecisões dos julgamentos.

A quinta contribuição é a aplicação de técnicas de decisão multicritério e da Teoria Geral de Sistemas passíveis de serem utilizadas em outros problemas de tomada de decisão de terminais de transporte.

A sexta contribuição é tratar o conhecimento dos especialistas como um ativo central, de grande importância para o planejamento estratégico das empresas, de maneira formal.

A sétima contribuição é auxiliar a decisão das empresas operadoras de transporte que desejam operar terminais multimodais com ferrovia. Para a ferrovia, a identificação de melhores práticas operacionais entre pátio ferroviário e terminal portuário pode ser traduzida em menores tempos de estadia de vagões em pátios e terminais e, para o terminal portuário, melhor desempenho nas suas operações representa maior atratividade de cargas e de navios.

As instalações portuárias usadas como guia foram o Porto do Rio de Janeiro, o Pátio Ferroviário de Arará e o Terminal Portuário de Itaguaí, ambos localizados no Rio de Janeiro, Brasil. As visitas aos locais e as entrevistas com operadores forneceram as informações básicas para direcionar o desenvolvimento do modelo.

O Porto de Itaguaí, por exemplo, destaca-se por possuir características de acessibilidade aquaviária, com profundidade suficiente para receber navios de maiores calados. A possibilidade de expansão da demanda, aliada à intenção de implantação de um terminal retroportuário, desperta o interesse de buscar melhor entendimento dos processos executados no terminal de contêineres e o desenvolvimento de um procedimento de análise dos critérios de transferência do porto.

O resultado da análise pode auxiliar a tomada de decisão de investimento, em novas infraestruturas de transporte e ou em novas formas de gestão.

As referências bibliográficas disponíveis tratam os problemas sobre terminais portuários de contêineres com foco principal no atendimento a navios. A maioria ratifica a importância dos acessos terrestres e a necessidade de aprofundar as pesquisas nesse sentido. Portanto, identificou-se a oportunidade de trazer uma contribuição nova, no contexto da integração entre o pátio ferroviário e o terminal portuário de contêineres, por meio de estudo da configuração de transferência.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O trabalho foi desenvolvido e distribuído em sete capítulos, nos quais são apresentados os objetivos, os resultados da pesquisa, a aplicação e a síntese. De

forma mais detalhada, este capítulo trata a introdução do problema em que são discutidos a sua origem, o problema da pesquisa, os objetivos e as justificativas, a relevância, e a estrutura do trabalho.

O capítulo dois descreve as funções que caracterizam o pátio ferroviário e o terminal portuário de contêiner, segundo as suas atividades, do objetivo principal de eficiência requerido e pelos recursos que os compõem.

O capítulo três caracteriza os aspectos da configuração da transferência intermodal. Inclui as questões de projeto, as instalações, a estrutura organizacional, a eficiência operacional e a segurança. A finalidade dessa revisão foi a de identificar os fatores que podem contribuir com uma melhor integração entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres e dar subsídios para a definição dos critérios de decisão.

O capítulo quatro tem por objetivo analisar as metodologias identificadas para tratar o problema de análise da transferência intermodal e da escolha dos atributos para a sua caracterização que contribuam para a integração dos sistemas. Apresentam-se os conceitos fundamentais da Teoria de Sistemas, os conceitos de objeto abstrato de Zadeh aplicados a sistemas complexos de engenharia e de Métodos de Análise Multicritério.

No capítulo cinco, o modelo é proposto e construído. Considerou-se, entre outros fatores, as necessidades de desenvolvimento do modelo, a identificação dos componentes do Modelo de Integração de acordo com a Teoria de Sistemas, a formulação e o estabelecimento da estrutura do método de Análise Hierárquica para escolher os atributos da transferência.

O capítulo seis valida a modelagem proposta por meio de uma pesquisa de campo aplicada junto a especialistas da área de transportes. Assim, a parte prática está relacionada com a identificação dos critérios da transferência intermodal entre um terminal portuário de contêineres com um pátio ferroviário.

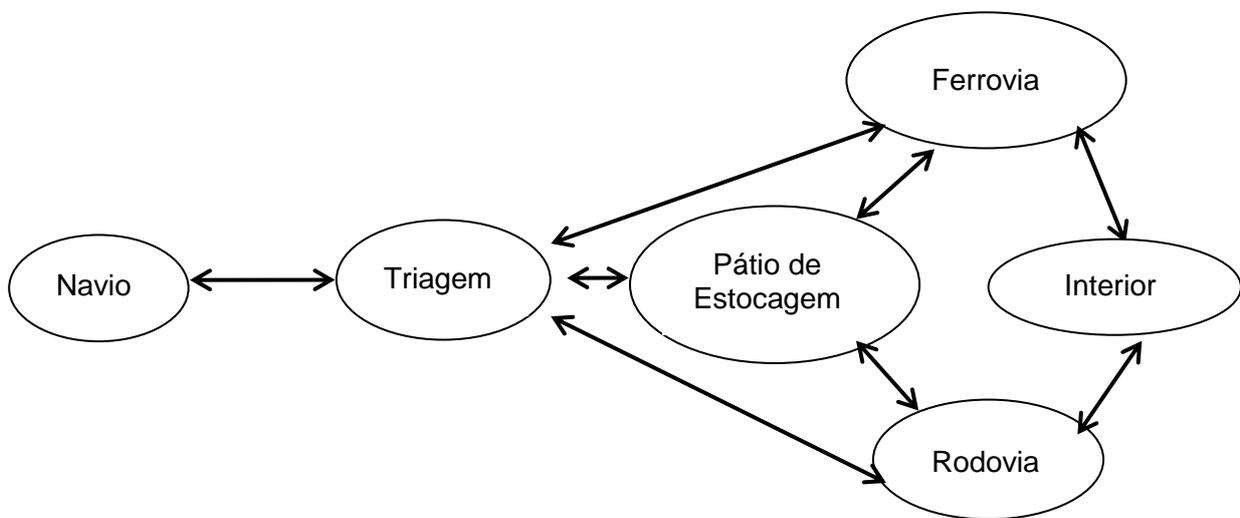
O capítulo sete tem por objetivo relatar as principais conclusões e sugestões para pesquisas futuras, além das considerações finais do trabalho.

Por último, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas para o embasamento teórico e documental empregado, no decorrer de cada capítulo.

## 2. TERMINAIS DE CONTÊINERES E PÁTIOS FERROVIÁRIOS

A transferência de cargas entre uma ou mais modalidades de transporte requer a existência de terminais. Portanto, os terminais são responsáveis pelos custos e tempos de transbordo de viagens intermodais.

Um terminal portuário é, por excelência, uma interface entre navios e modos de transporte terrestres. A Figura 2.1 mostra o fluxo de cargas na importação e na exportação.



**Figura 2.1** Fluxos de Cargas na Cadeia de Transporte. Baseado em WONG (2008).

A conexão entre terminais portuários e pátios ferroviários pode ser vista como um sistema sinérgico. Nessas ligações, a circulação de contêineres tem se mostrado uma contribuição importante para o desenvolvimento da intermodalidade. Nesta pesquisa, a atenção está voltada para a conexão entre terminal marítimo e pátio ferroviário.

A utilização do contêiner para a unitização de cargas trouxe muitas vantagens para a sociedade como um todo e, principalmente para o comércio internacional (WONG, 2008). Os custos de manuseio de cargas com diferentes características, em termos de valor e características físicas, como formatos, tamanhos, pesos, temperatura e considerações de transporte, vêm sendo reduzidos após a introdução do contêiner a partir de 1950 (SANTEN & BRUIN, 2004).

O projeto original foi evitar embalar e reembalar cargas para transferência de forma rápida entre trens e chassis de caminhões. Como consequência, o método levou a maior segurança e menor custo de transporte, permitindo o transporte porta a porta. Essas características estimularam a aderência da indústria marítima de forma que navios exclusivos para contêineres continuam aumentando em número e tamanho. Segundo a UNCTAD (*United Nations Conference on Trade and Development*, 2006, 2011), a frota mundial é de 3494, com capacidade de oito milhões de TEUs (*Twenty-Foot Equivalent Units* – unidade de medida de capacidade equivalente a um contêiner de 20 pés).

Este capítulo busca a identificação das funções que caracterizam o pátio ferroviário e o terminal portuário de contêiner, respectivamente. Nestes, os principais atributos são suas funções (expressas por meio das atividades), do objetivo principal de eficiência requerido, a localização e os recursos que são usados para a execução.

## 2.1 PORTOS

A estrutura portuária compreende três áreas de infraestrutura e superestrutura (ANTAQ, Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2010):

- Infraestrutura de acesso aquaviário composta de canal de acesso, obras de proteção (molhes e quebra-mares) e sinalização (boias e faróis);
- Infraestrutura de acesso terrestre composta de vias rodoviárias, ferrovias e dutovias, pontes e viadutos e sinalização;
- Infraestrutura portuária compreende o porto em si, com dársenas, píers e berços de atracação, armazéns e vias de circulação;
- A superestrutura compreende os equipamentos portuários, veículos, armazéns, área de estocagem e silos.

De um modo geral, um porto pode combinar diferentes tipos de terminais, especializados em função do volume, do tipo de tráfego e tipo de carga que movimenta. As cargas são caracterizadas por granéis sólidos, minerais ou agrícolas, granéis líquidos ou gasosos, contêineres e carga geral.

O tipo de tráfego caracteriza o porto como prestador de serviços *Feeder* ou *Hub*:

**Tráfego *Feeder*:** Consiste no tráfego de navios com menores capacidades de transporte de contêineres vindos de portos interiores, os quais serão embarcados em

navios de rotas intercontinentais. Baseado nesse tipo de tráfego pode-se distinguir dois tipos de portos: concentradores e distribuidores.

**Modelo Hubs** (baseado em portos concentradores): Modelos orientados para economia de escala e para atender navios com capacidade de transporte acima de 8000 TEUs. Portanto, dois tipos de terminais podem ser distinguidos, cada qual com as suas características e especificações, não somente do ponto de vista do projeto do terminal como também de aspectos gerais. Portos concentradores são capazes de atender navios entre 8000 e 18000 TEUs ao mesmo tempo em que atendem navios *feeders*, menores e mais frequentes, que requerem equipamentos especiais e maior rotatividade de berços (WONG, 2008).

Os navios são classificados de acordo com a capacidade de transporte e da rota de transporte. Em relação às rotas, são chamados de serviços, que podem ser:

- Intercontinentais – Longo Curso (*deep-sea*): Fazem a ligação entre continentes;
- Continentais (*short-sea*): ao longo da costa do continente;
- Transferência (*feeder*): similar aos continentais, mas com a diferença que têm o objetivo de abastecer e serem abastecidos com navios intercontinentais;
- Barcaças (*barge*): também podem transportar contêineres e atender a navios de grande porte, normalmente navegam em rios e canais interiores.

Em relação aos navios, os diferentes tipos de cargas e os volumes levaram à especialização em: graneleiros (grãos e minério), petroleiros, gaseiros, contêineres e carga geral. Como consequência, os transportadores marítimos podem operar sob diferentes condições de serviços de transporte:

- Eventuais (*Tramp*): a oferta do serviço é determinada pelas oportunidades de transporte (normalmente utilizados para graneis);
- Linhas Regulares: Apresentam escalas fixas e itinerários predeterminados. As condições de transporte são estabelecidas pelas companhias de navegação ou conferências de fretes pelas cláusulas contratuais. Podem ser:
  - Conferência de Fretes: prestam serviços regulares em conjunto e itinerários coordenados (contêineres);

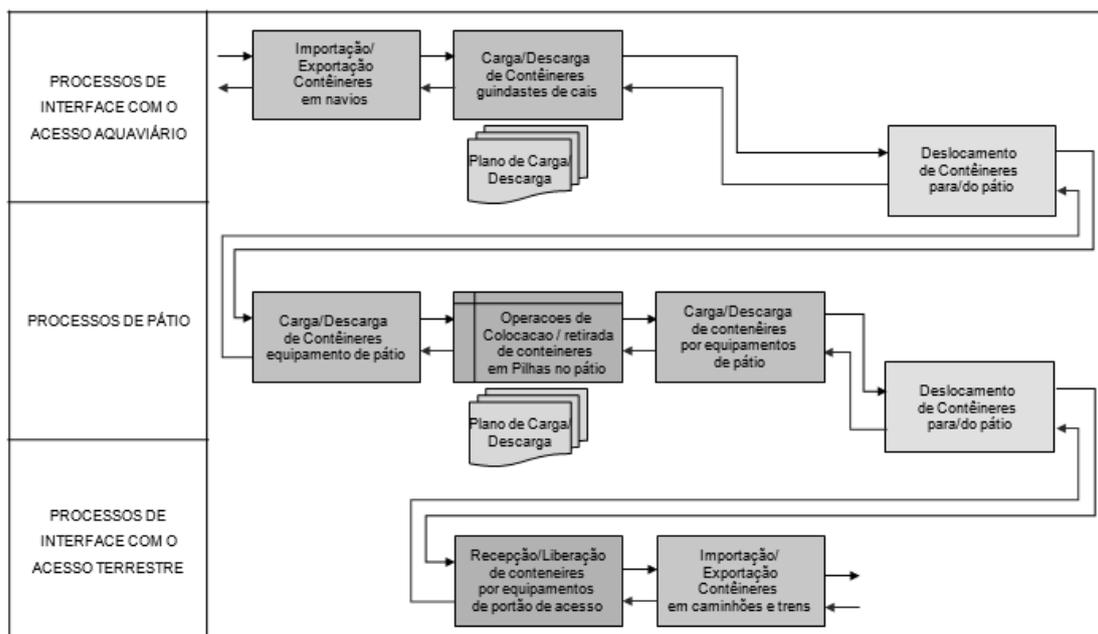
- *Joint Services*: são acordos de cooperação entre armadores para a exploração de uma rota específica. Não são entidades formais, como as conferências de fretes. Permitem que as cargas sejam embarcadas em qualquer navio da mesma rota e destino, independente do armador (contêineres e carga geral);
- *Outsider*: são os armadores que não têm vínculo com as conferências e que prestam serviços e linhas fixas, porém não oferecem a mesma regularidade e níveis de garantia dos demais.

A maioria dos navios de contêineres opera em linhas regulares e dentro de janelas de tempo. Assim, qualquer atraso com um navio se reflete na cadeia como um todo. Tecnologias da informação aliadas à operação em rotas regulares permitem o conhecimento prévio da chegada do navio e do plano de carga. A informação antecipada permite a organização dos recursos e cargas em toda a cadeia, de forma a sincronizar os fluxos. Estas incluem: o número e tipo de contêineres no navio, as características de cada contêiner (local no navio, peso cheio ou vazio (*full ou empty*), carga refrigerada (*reefer*) ou perigosa (IMO - International Maritime Organization) e o destino final de cada contêiner

## **2.2 OS PROCESSOS CARACTERÍSTICOS NOS TERMINAIS DE CONTÊINERES**

Em um terminal de contêiner típico, os processos são iniciados a partir da entrada e saída de contêineres nos acessos aquaviário e terrestre. Do lado aquaviário, a chegada e partida de navios e, do lado terrestre, a chegada e saída de contêineres por caminhão ou trens. As operações dos setores componentes do terminal portuário de contêineres envolvem muitos agentes, requerendo diversos serviços. Neste estudo, o foco está nos fluxos de contêineres entre os diferentes elementos do terminal e nas suas relações com o pátio ferroviário.

Os processos apresentados na Figura 2.2 construídos a partir de WONG (2008) representam os fluxos de contêineres no terminal portuário em ambos os sentidos: importação e exportação. Deve-se considerar ainda que a cada movimento físico existe um conjunto de informações e ordens de operação associados aos recursos necessários para a execução dos movimentos.



Elaboração da Autora

**Figura 2.2** Processos Característicos no Terminal Portuário de Contêineres.

## 2.2.1 Elementos Operacionais do Terminal de Contêineres

### Navio

A chegada de navios à área de fundeio ou barra dispara um conjunto de ações de recepção, inspeção e fiscalização do navio. Os navios podem chegar somente para descarregar, somente para carregar ou mais frequentemente para ambos.

Na chegada do navio, muitos agentes estão envolvidos entre as etapas de inspeção e liberação para atracar. A movimentação do navio ocorre pelo canal de navegação e área de manobra até o berço de atracação, após liberação pelas autoridades portuárias como: RF (Receita Federal), ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), PF (Polícia Federal), entre outros.

### Berço e Área de Carga/ Descarga

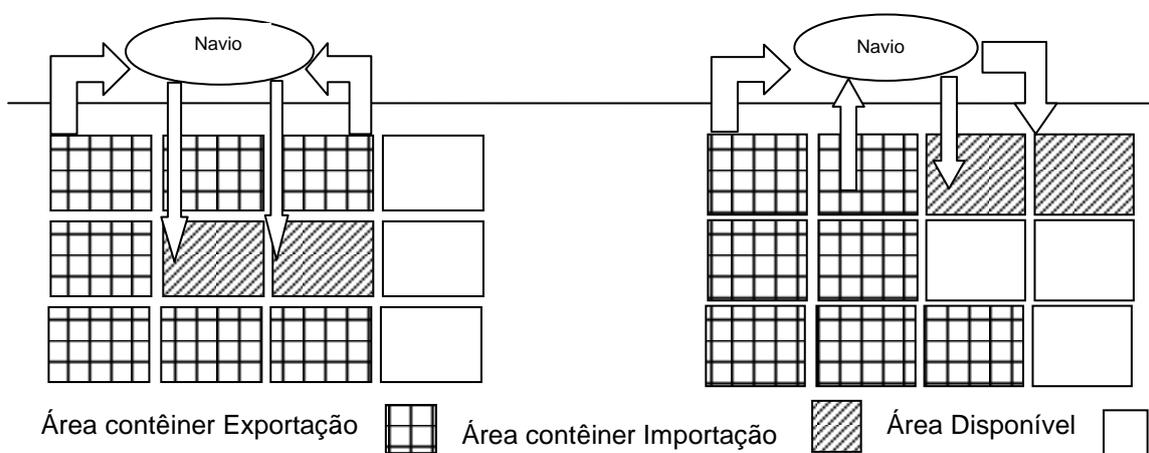
O berço ou doca de atracação é o ponto de interface de contêineres entre a área terrestre e o modo aquaviário onde ocorre a descarga e carga de contêineres de/em navios.

As atividades de embarque e desembarque de navios são programadas de acordo com o plano de carga do navio, normalmente conhecido de forma antecipada. Antes do embarque, os contêineres que serão embarcados são deixados na área do berço de atracação do navio, chamada de área de pré-estivagem. A sequência de carregamento é feita de acordo com a sequência de descarga dos portos da escala.

Os contêineres, que são descarregados do navio, são inspecionados, verificados e classificados em função do tipo contêiner e do destino. No desembarque, os contêineres são transferidos para um veículo de transporte que levará o contêiner para o pátio de contêineres.

### Pátio de Contêineres

O pátio de contêineres é dividido em áreas, como na Figura 2.3, e cada área, em linhas e colunas, nas quais os contêineres são empilhados de acordo com os critérios de empilhamento. As linhas são arranjadas de forma longitudinal ou perpendicular à linha de água.

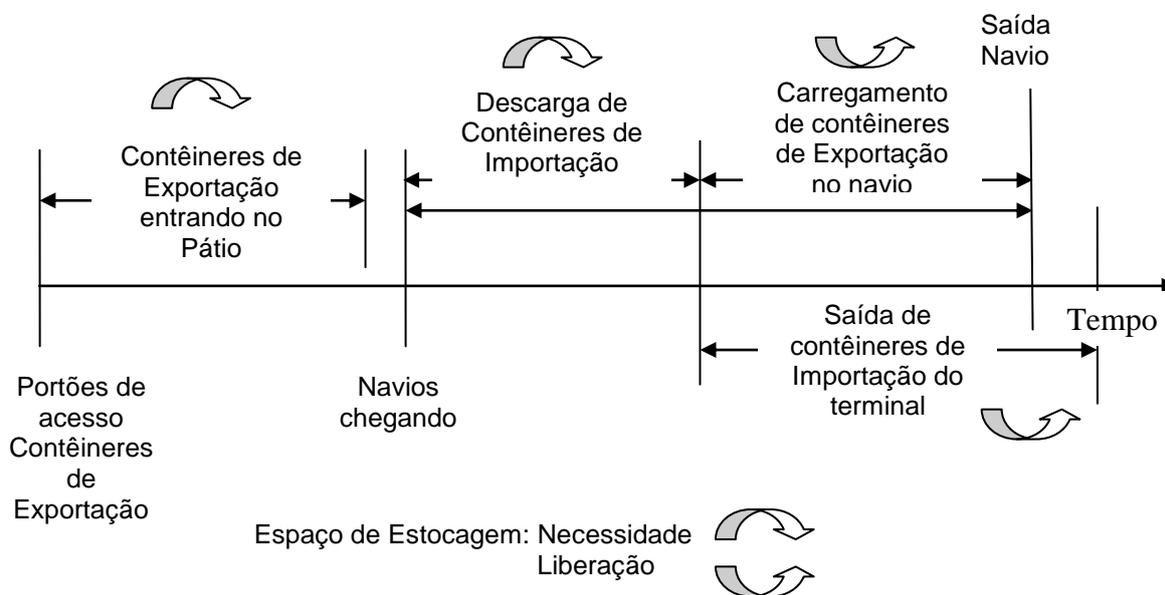


Fonte: Elaboração da Autora

**Figura 2.3** Áreas de Estocagem para Contêineres de Acordo com o Sentido.

As atividades consistem em recepção, estocagem e, eventualmente, manuseio de contêineres cheios ou vazios. Os contêineres que chegam ao pátio, vindos do navio permanecem no pátio por alguns dias, mas os contêineres que chegam do lado terrestre podem chegar vários dias antes da chegada programada do navio. A Figura 2.4 representa essas atividades ao longo tempo.

Os contêineres que saem em trens do terminal têm sua saída planejada, mas aqueles que chegam ou saem em caminhões ou trens não são muito previsíveis. Com o objetivo de reduzir e melhor organizar as filas do portão de acesso, os operadores têm oferecido um agendamento prévio para entrega e retirada de contêineres.

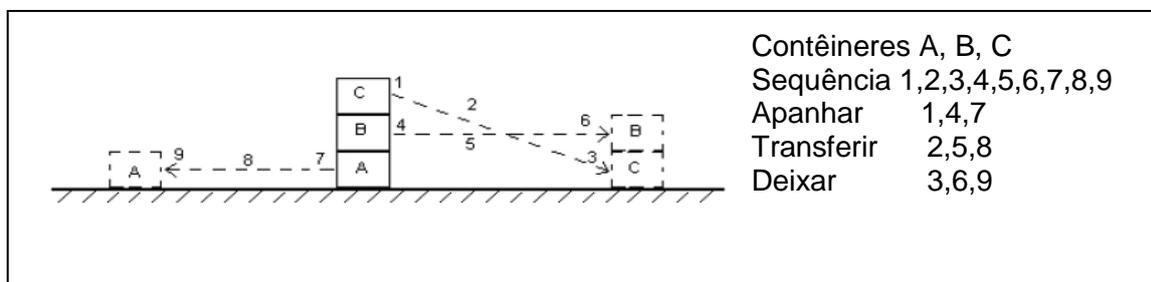


Fonte: Elaboração da Autora

**Figura 2.4** Sequenciamento de Atividades no Terminal de Contêineres.

Os contêineres no pátio são movimentados por diferentes razões:

- Posicionamento e retirada de contêiner em pilha;
- Remoção e posicionamento em local provisório para permitir o acesso a outro contêiner da pilha, como na Figura 2.5;



**Figura 2.5** Retirada de Contêiner da Posição Mais Baixa da Pilha (WONG, 2008).

- Movimentos de arrumação são, na sua maioria, feitos em momentos relativamente tranquilos. Movimentos de reposicionamento são feitos para

contêineres a serem exportados e podem ser vistos como forma de apoiar esse lado.

Todo movimento de apanhar ou deixar contêineres deve ser determinado. Cada posição é constituída de coordenadas de baía, linha e nível. Os contêineres para exportação mais pesados, sempre que possível, devem ser colocados no topo das pilhas para evitar remoções.

Os contêineres que chegam ao pátio podem requerer diferentes tipos de serviços como:

- Carga ou descarga de caminhão ou vagão;
- Movimentação parcial ou total de carga;
- Desunitização/unitização (manual, mecanizada ou parcial);
- Segregação de contêiner com risco ambiental;
- Movimentação/desunitização de contêiner *reefer* (refrigerado);
- Movimentação de contêiner *reefer* para reparo de equipamento;
- Utilização de câmara frigorífica;
- Conexão e desconexão de tomadas para contêineres *reefers* e insulados;
- Movimentação/posicionamento para vistoria, pesagem, fumigação ou *scanner*;
- Sobre estadia de vagões ou caminhões com carga;
- Transferência de contêineres em regime especial aduaneiro (reserva de área no pátio, movimentação interna etc.).

Outros serviços que podem ser solicitados pelo exportador:

- Recebimento antecipado do contêiner;
- Desistência de embarque (com saída do terminal);
- Redirecionamento de embarque para outro navio (sem saída do terminal);
- Recebimento de contêiner após o *dead line* (data limite para embarque);
- Colocação de lacre;
- Saída de contêiner sem desunitização (regime especial);
- Saída de contêiner por DTA (Declaração de Trânsito Aduaneiro) para outro recinto alfandegado;
- Recebimento de contêiner após o *dead line*;
- ISPS *code* (Código Internacional para Proteção de Navios e Instalações Portuárias);

Serviços administrativos como:

- Fotografias;
- Conferência de lacre;
- Confirmação de presença de carga;
- Recebimento de documento de liberação após o *dead line*;
- Controles e procedimentos administrativos em atendimento a formalidades do SISCOMEX (Sistema Integrado de Comércio Exterior); emissão de certificados.

A chegada de contêineres no pátio dispara um conjunto de decisões relacionadas ao local de estoque no pátio e que consideram o plano de carga do navio de destino, tipo de contêiner, o tamanho, *status* de carregamento (se cheio ou vazio), o peso e a carga, a altura máxima da pilha, se a carga é segregada, se a carga é perigosa ou se é refrigerada e o regime aduaneiro.

### **Interface com Trens**

A chegada de trens ao terminal portuário gera um conjunto de ações de recepção, verificação e triagem dos vagões que compõem o trem. Os vagões podem chegar durante os períodos de tempo preestabelecidos com contêineres para descarregamento no pátio para embarque posterior, direto na área de embarque ou com vagões vazios para apanhar contêineres.

A saída de trens do terminal portuário dá início a um conjunto de ações de liberação, verificação e triagem dos vagões que compõem o trem. Os vagões podem sair carregados ou vazios, ou somente a equipagem de tração (locomotiva e condutor), depois de deixar vagões no terminal.

### **Armazém de Carga – Depósito**

Área destinada à guarda de carga importada e exportada e com fiscais escalados para proceder à liberação, desembaraço ou transporte aduaneiro. O processo de desembaraço de carga pode ser feito em qualquer depósito alfandegado. Este pode estar localizado no porto, no retro cais (operados pela Companhia Docas, por um arrendatário ou operador portuário privado) ou fora do porto em local autorizado pela alfândega (portos secos, operados por empresas privadas especializadas). Depósitos alfandegados podem estar conectados via eletrônica com alfândega por meio de

sistema de trânsito eletrônico (DTE) e com o sistema Siscomex, do qual procede a 'presença de carga' e consultas a declarações de importação e exportação.

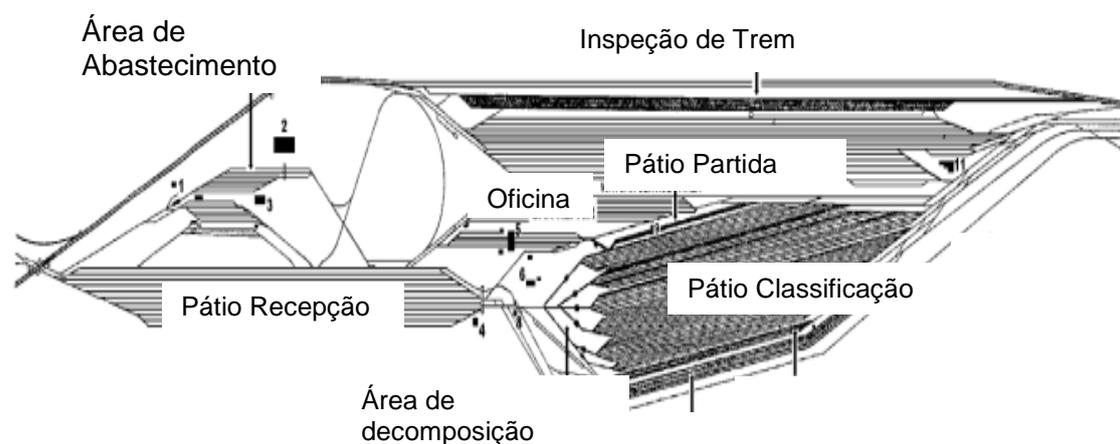
### 2.3 O PÁTIO FERROVIÁRIO

No transporte ferroviário de contêineres, os trens dedicados ao transporte de contêineres são compostos por locomotivas e vagões do tipo plataforma sobre os quais são colocados. O tamanho de cada trem, ou seja, a quantidade de locomotivas e vagões que o formam, é definido conforme as características físicas da via e do traçado por onde ele passará e pela quantidade de carga disponível para ser transportada. O transporte ferroviário ocorre entre estações ou terminais onde os contêineres são carregados ou descarregados em/de vagões.

Os vários tipos de pátios que compõem a rede de transporte ferroviário são designados, normalmente, de acordo com as funções que desenvolvem, (DORNELES, 1990). As funções principais podem ser de ultrapassagem, de recepção de trens, de classificação de vagões, de formação de trens, de transbordo ou pátios terminais.

O pátio ferroviário, visto como uma estrutura técnica no nível físico, pode ser dividido em três grandes áreas:

- **Infraestrutura Ferroviária:** formado pelos pátios de recepção, expedição, estacionamento, formação e classificação, reparação, como exemplificado na Figura 2.6, e suas respectivas instalações fixas, como via permanente, sinalização e comunicação necessários ao desenvolvimento do tráfego ferroviário;
- **Superestrutura:** carga e descarga; composto por áreas de vagões completos, de contêineres, ou *pallets*, de reboques rodoviários, desvios particulares, aduana (quando for o caso) e outras instalações necessárias à exploração comercial do terminal;
- **Elementos Complementares:** os acessos rodoviários e ferroviários, balanças, lavadores, estacionamentos de veículos rodoviários, além de facilidades e instalações de água, esgoto, energia, luz, telefonia, entre outros;
- **Equipamentos:** veículos de transporte como locomotivas de manobras e vagões, equipamentos de carga/descarga de vagões.



**Figura 2.6** Áreas de um Pátio Ferroviário. Baseado no Pátio de Louisiana, EUA.

Os fatores que influenciam o pátio são as condições das vias, a bitola, o tipo de via (simples, duplas ou múltiplas) e espaçamento entre elas, limites de cargas entre eixos das vias, perfil e alinhamento, comprimentos das linhas e raios de curvas, o tipo de lastro, o tipo e espaçamento de dormente, localização do pátio na linha (terminais ou intermediários), disponibilidade de combustível, disponibilidade de água e energia, localização e capacidade de oficinas de reparos de vagões e locomotivas, assim como, a disponibilidade de novos equipamentos e peças de reposição.

### 2.3.1 Elementos Operacionais do Pátio Ferroviário

Nesse estudo, o interesse está concentrado nas questões da infraestrutura do pátio ferroviário e nas suas operações relacionadas com o terminal de contêineres. As operações do pátio dependem do conhecimento do número de trens que chegam e partem por dia, de acordo com a programação das viagens, número de veículos por trem, tempo de permanência dos vagões no pátio para carregamento e descarga e ainda o conhecimento das necessidades de manutenção das locomotivas e vagões, bem como das instalações de abastecimento das locomotivas. O detalhamento das atividades desenvolvidas em cada elemento é feito a seguir, conforme DORNELES (1990).

#### Recepção e Inspeção de Trem de Chegada ao Pátio

A chegada de trens ao pátio dá início a um conjunto de ações como recepção e inspeção de vagões que compõem o trem. Os vagões podem chegar com contêineres

cheios ou vazios para seguirem para o terminal de contêineres ou vindos do terminal em direção ao interior. A chegada pode ser somente da equipagem de tração, após ter deixado vagões no terminal.

A inspeção de trem consiste no exame e avaliação visual das condições gerais de tráfego dos vagões e ou das etiquetas de identificação e das condições de lacres de contêineres.

### **Decomposição de Trem/ Pátio de Manobras ou Transferência**

Após a inspeção dos vagões que compõem o trem, na linha de chegada ao pátio, o trem pode ir diretamente ao terminal portuário ou ter seus vagões separados, pesados, classificados e depositados nas linhas de classificação do pátio ferroviário para serem posteriormente agrupados e enviados ao terminal. A triagem dos vagões com contêineres cheios ou vazios para entrega no terminal portuário pode ser feita de acordo com o destino, cliente, produto e ou navio.

### **Formação de Trem**

O processo de formação de trens para entregar contêineres no terminal portuário consiste na identificação e localização dos vagões nas linhas de classificação do pátio, na execução de manobras para apanhar vagões nas linhas de estocagem e no agrupamento na linha de formação do trem. A formação pode acoplar vagões vazios para carregar contêineres no terminal de contêineres.

Os processos em pátios de transferência consistem em transferir contêineres entre vagões estacionados nas linhas. Nesse caso, somente os contêineres são movimentados.

### **Saída de Trem**

Os trens de saída podem ser destinados para os pátios interiores ou para o terminal de contêineres. A saída de trem pode ser somente com a equipagem para apanhar vagões no terminal. O trem é autorizado a deixar o pátio, após o exame e a conferência dos vagões e após a autorização prévia do terminal de contêineres, no caso de trem com destino ao terminal.

## **Centro de Controle do Terminal Portuário**

O centro de controle do terminal é o responsável pelo planejamento e controle dos elementos relativos ao terminal portuário e suas atividades estão apoiadas em outros elementos, não descritos aqui como, por exemplo: Informação, Comunicação e de Segurança.

O planejamento e o controle das operações de integração entre o terminal de contêineres e o pátio ferroviário são feitos em conjunto com o centro de controle do pátio ferroviário.

### **2.4 EQUIPAMENTOS DAS OPERAÇÕES PORTUÁRIAS**

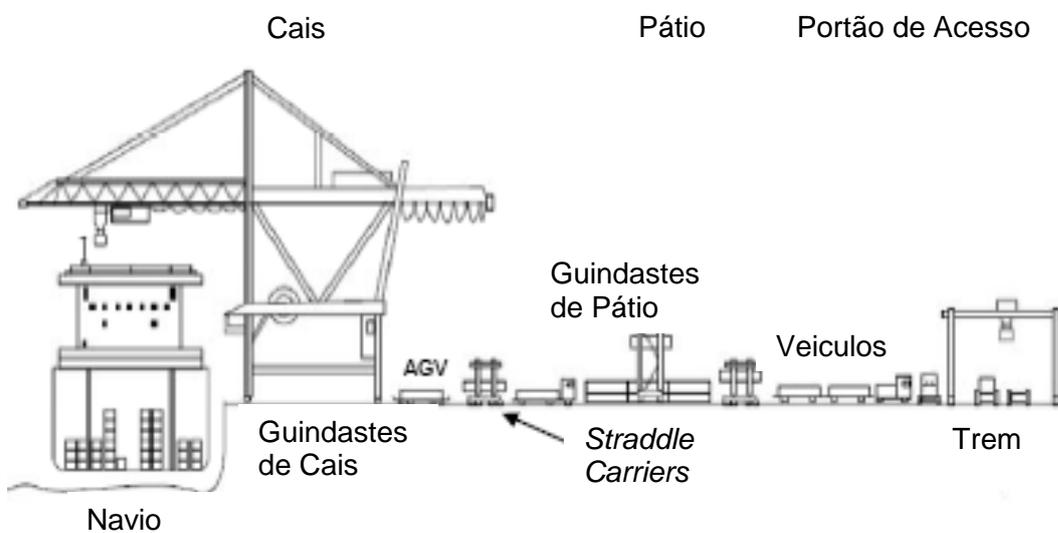
De acordo com KIM e GÜNTHER (2007), os terminais de contêineres se diferenciam nos equipamentos de transporte e de manuseio utilizados. Os equipamentos no terminal de contêineres podem ser classificados em:

- De controle de entrada e saída de veículos;
- De movimentação para carga ou descarga de contêineres em veículos de transporte (caminhões, vagões e navios) nas áreas de estocagem ou de transferência de contêineres;
- De movimentação de contêineres entre os diferentes locais do terminal;
- De movimentação de contêineres dentro do próprio subsistema, como no caso do pátio de contêineres e do armazém.

Os contêineres que chegam ao terminal utilizam equipamentos de pesagem de caminhões e vagões e equipamentos de controle como de leitura ótica de códigos de barras de contêineres ou de radio frequência e equipamentos de *scanner* de raios-X e raios gama e detecção de radiação.

Os equipamentos de movimentação para carga ou descarga de contêineres em veículos de transporte (caminhões, vagões e navios) nas áreas de estocagem, de transferência ou de movimentação de contêineres, no pátio de contêineres e no armazém, representados na Figura 2.7, podem ser:

- Equipamentos para içamento/deslocamento/empilhamento (*fork lift, reach stackers, top loaders*): utilizados para movimentar e empilhar contêineres no pátio dos terminais ou para colocar e retirar contêineres de caminhões e vagões;
- Guindaste de cais (*Portêineres*): também conhecidos como guindastes ou pórticos de cais, são utilizados para embarque e desembarque dos contêineres nos navios;
- Guindastes de pátio (*Transtêineres, RTG-aranhas*): são utilizados para movimentação de contêineres no pátio dos terminais. Existem dois tipos desses equipamentos, os que se movem sobre trilhos (RMG- *Rail Mounted Gantry*) e os que se movem sobre pneus (RTG- *Rubber Tired Gantry*).



**Figura 2.7** Equipamentos Característicos de Terminais de Contêineres, segundo STEENKEN *et al.* (2004).

#### 2.4.1 Equipamentos de Cais

Para atender os diferentes tipos de navios, os principais requisitos dos guindastes são o comprimento da lança, o alcance (*Outreach*), a largura entre pernas, o tempo de ciclo, a capacidade e altura de levantamento. As relações entre guindastes de cais e tamanho dos navios, de acordo com BICHOU (2008), são apresentadas na Tabela 2.1.

Um guindaste é composto por três peças (equipamentos) principais, ou seja, pórtico, carro transportador (*trolley*) e distribuidor (*spreader*). O pórtico é o maior equipamento. Ele se move sobre os trilhos longitudinais de ponta a ponta. O carro transportador é o equipamento que se move por cima do pórtico. Considera-se que o guindaste de pórtico e o carro transportador podem mover-se simultaneamente. O distribuidor

possui garras para prender e soltar um contêiner. O distribuidor é conectado ao carro transportador e pode ser abaixado e içado. Pelo posicionamento do conjunto formado pelo pórtico, carro transportador e *spreader*, qualquer posição pode ser atendida.

**Tabela 2.1** Relações entre Tamanhos de Navios e Guindastes de Cais.

Tipo de Navio e Geração	Panamax	Post Panamax	SuperPost Panamax	SuperPost Panamax Plus	Suez Max	Malacca Max
	3 <sup>a</sup> .	4 <sup>a</sup> .	5 <sup>a</sup> .	6 <sup>a</sup> .	ND	ND
Capacidade em TEUs (x1000)	3-4	4-6	6-8	8-12	13-15	16-20
Altura (m)	11-12	12-14	13,5-14,5	15-16	16-18	18-21
Boca (m)	30-32	33-40	40-45	43-50	50-60	55-60
Nº de linhas de contêineres	Até 13	13-16	16-18	18-22	22-23	≥ 24
<b>Requisitos de Guindastes de Cais (valores médios)</b>						
Comprimento da lança (m)	35-42	44-47	50-55	55-65	70	Maior 70
Largura entre pernas(m)	15	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
<i>Backreach</i> (m)	9,1	15,2	20	22	23	23
Capacidade de içamento(1000 t)	30	40	50	60	65	65

Fonte: De acordo com dados de fabricantes (ZPMC, SPMP, LIEBHERR, PACECO, KALMAR), CARGO SYSTEMS (2007 e 2008). BICHOU (2008)

O procedimento típico de descarga de um navio de contêineres por um guindaste de cais consiste em prender o contêiner, levantar até a altura necessária, mover lateralmente em direção ao cais e baixar, colocando o contêiner sobre um veículo, um chassi ou diretamente na área de carga/descarga intermediária para posteriormente ser levado para o pátio de estocagem.

No início da execução de uma ordem, a sequência de movimentos necessários para atendê-la é determinada. Ao executar uma ordem, a grua tem de realizar uma sequência de movimentos a fim de alcançar as posições-alvo e se mover de forma segura. Por exemplo, quando um contêiner precisa ser apanhado a partir da pilha e deixado no ponto de transferência:

- O distribuidor (*spreader*) é trazido para a posição de transporte, de acordo com a altura de empilhamento da pilha. O carro transportador (*trolley*) é levado à posição de transporte que faz o guindaste de pórtico em equilíbrio e o movimento é iniciado.
- O distribuidor possui garras para prender e soltar um container. O distribuidor é conectado ao carro transportador e pode ser baixado e içado. Pelo posicionamento do pórtico, carro transportador e *spreader*, qualquer posição pode ser atendida. As variações em termos de capacidade ocorrem pelo número de distribuidores que o pórtico é capaz de movimentar, como na Figura 2.8.



Içamento duplo  
*Twin Lifting*



Içamento duplo 40 pés  
*Tanden Lifting*



Içamento duplo 20 pés  
*Two Twin*



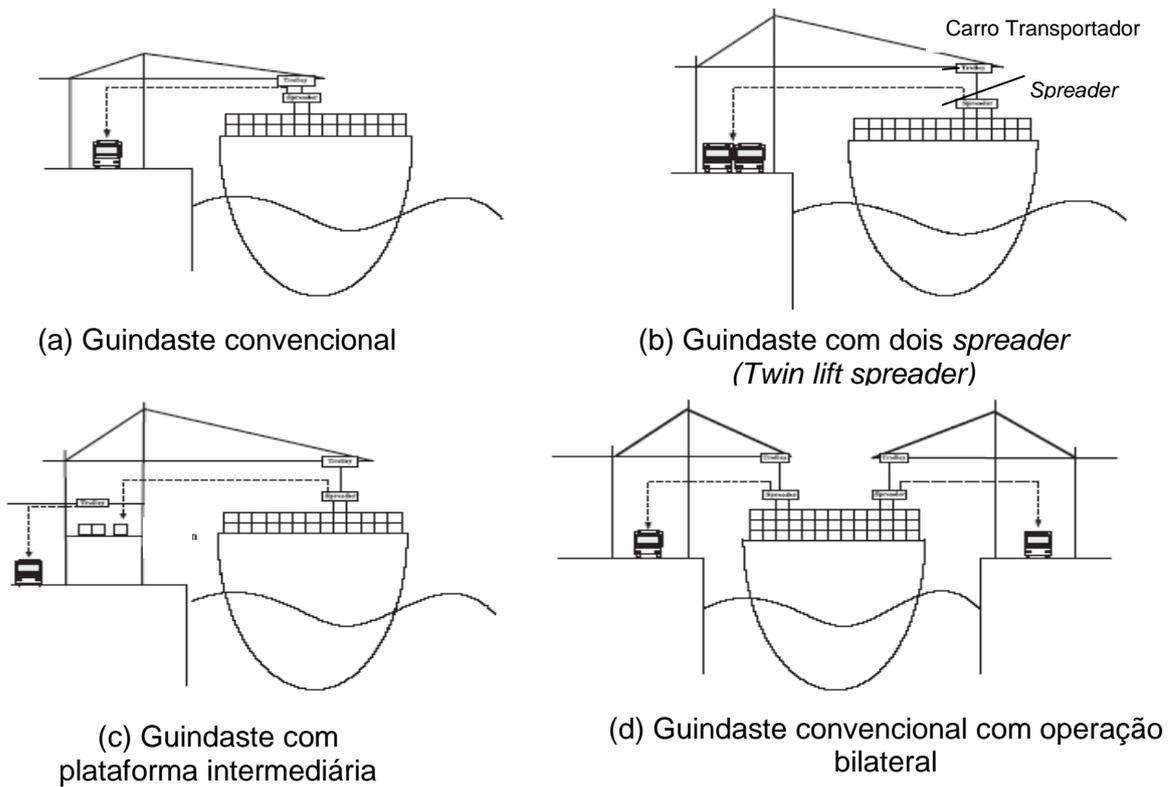
Içamento Triplo 40 pés  
*Triple 40 pés*

**Figura 2.8** Capacidades de Pórticos Modernos (BICHOU, 2008)

- Antes de o pórtico atingir a sua posição de destino (a baía onde está localizado o contêiner), o carro transportador é iniciado para se deslocar para a posição de destino (a linha onde o contêiner está localizado). Quando esses dois movimentos chegarem ao seu destino, o distribuidor é deixado sobre o contêiner e içado consecutivamente após o contêiner ser agarrado;

- Quando o distribuidor atingiu a sua posição de transporte, o carro transportador e o pórtico são colocados em movimento novamente, o carro para a posição de transporte e o pórtico para ponto de transferência;
- Antes de o pórtico atingir o ponto de transferência, o carro transportador é iniciado para se deslocar para a posição da linha do ponto de transferência, onde o contêiner deve ser deixado. Quando ambos os pórticos e carro transportador atingiram suas posições finais, o distribuidor é abaixado e libera o contêiner na posição.

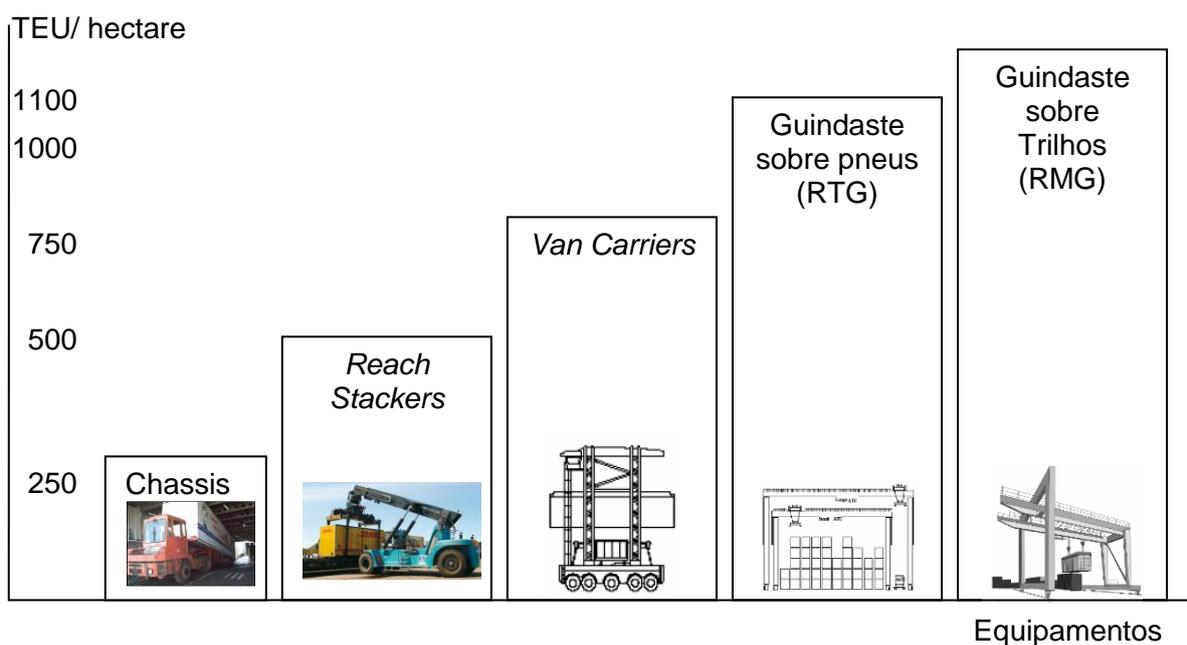
Em função do aumento do tamanho dos navios, a tecnologia de acesso ao navio e dos guindastes de cais também acompanham. A Figura 2.9 mostra as diferentes formas de pórticos e de acesso a navios.



**Figura 2.9** Acessos Típicos de Portêineres a Navios. Fonte: CHAO e LIN (2011).

## 2.4.2 Equipamentos de Pátio

Segundo VALKENGOED (2004), os equipamentos de pátio mais comuns são os guindastes montados sobre trilhos (RMG – *Rail Mounted Gantry*) ou sobre pneus (RTG – *Rubber Tired Gantry*), os quais permitem o manuseio de contêineres de forma totalmente automatizada, aranhas (*Straddle Carriers*), empilhadeiras (*Reach Stackers*) e chassis. KALMAR (2011) apresenta as relações entre as diferentes capacidades em TEUs e o tipos de equipamentos, como na Figura 2.10.



**Figura. 2.10** Relação entre Equipamentos de Manuseio de Contêineres e Capacidades em TEUs/hectare. Fonte: KALMAR (2011).

Guindastes de pátio permitem o manuseio de contêineres de topo. Guindastes sobre pneus necessitam de reforço de pisos e guindastes sobre trilhos necessitam de maior resistência na fundação. A operação de carregamento, por exemplo, consiste em pegar o contêiner, mover verticalmente, em seguida mover lateralmente no sentido do vagão e descer, depositando o contêiner sobre o vagão. Na operação de descarga, o processo é o inverso.

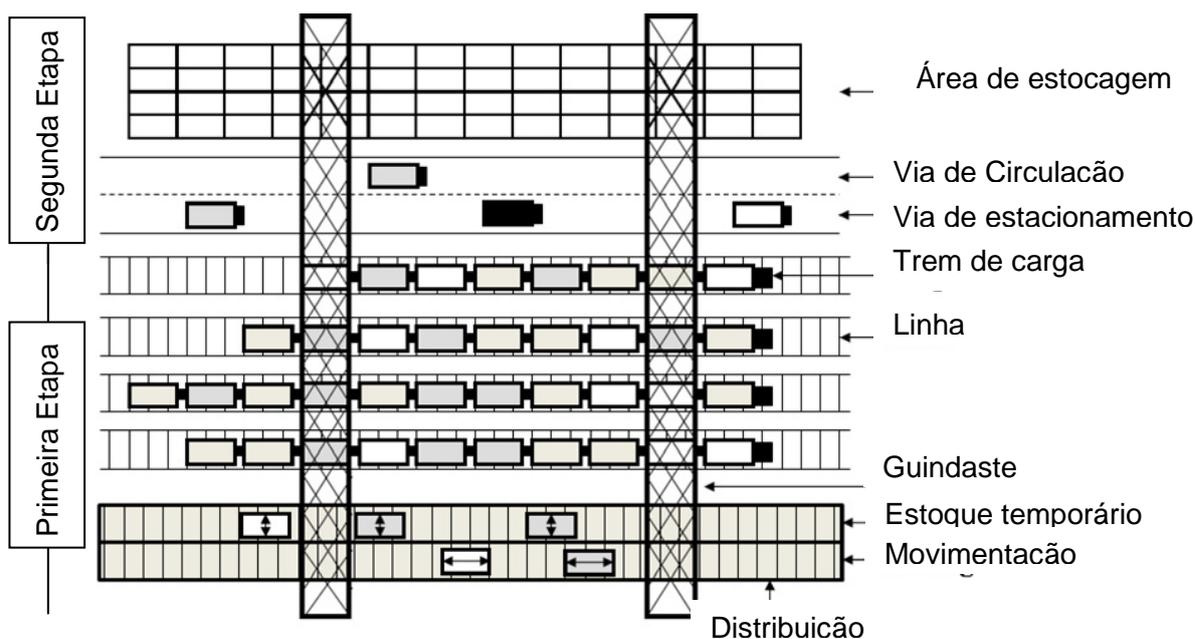
As *straddle carriers* (*van carriers*) executam as tarefas de içamento, como os guindastes, mas também executam o transporte. O equipamento pega o contêiner no local e move verticalmente e então transporta a unidade em posição elevada até o vagão a ser carregado. Quando chega ao local de deixar o contêiner, este é abaixado e colocado na posição.

Os veículos de transporte são usados para deslocar contêineres nas interfaces do pátio e cais e do pátio e interface terrestre (caminhões e trens). Os tipos mais comuns são os caminhões (com motoristas), AGVs (*Automated Guided Vehicles*) ou ainda ALVs (*Automated Lifting Vehicles*), capazes de também içar contêineres.

Os equipamentos dos pátios ferroviários determinam a sua rapidez na movimentação de cargas e descargas de trens. Entre os principais equipamentos tem-se:

- Guindastes, pórticos e empilhadeiras para a movimentação das cargas e, conforme o caso, silos para carregamento rápido de graneis sólidos e líquidos;
- Sistemas de iluminação que possibilite seu funcionamento à noite;
- Sistemas de sinalização e comunicação com o centro de controle de movimentação dos vagões são parte também indispensáveis para a eficiência operacional dos terminais.

Nos pátios de transferência ferroviária, as linhas de estocagem são essenciais para o desempenho das operações intermodais. Nesse sentido, segundo BOYSEN *et al.* (2010), o planejamento de áreas para futuras implantações de pátios de transferência, é importante, como na Figura 2.11. Uma vez que, havendo tendência de crescimento de demanda pela movimentação de contêineres na doca, pode levar ao aumento do volume de contêineres também no pátio de contêineres e nos acessos ao porto e da intermodalidade no pátio ferroviário.



**Figura 2.11** Pátio Ferroviário de Transferência. Fonte: BOYSEN *et al.* (2010)

## 2.5 A INTERMODALIDADE EM PÁTIOS FERROVIÁRIOS E TERMINAIS PORTUÁRIOS DE CONTÊINERES

O transporte intermodal tem por objetivo a utilização do potencial máximo do conjunto de todos os modos viáveis. No Brasil, muitos estudos indicam grandes possibilidades de desenvolvimento da intermodalidade para cargas gerais ou por contêineres, desde que os investimentos em melhorias da qualidade do serviço de transportadores ferroviários e aquaviários sejam executados.

No sistema de transporte intermodal, encontram-se vantagens e desvantagens características. As principais vantagens destacadas por VASCONCELOS (2009) são a redução do consumo energético e a poluição, a redução do número de acidentes, a redução de congestionamentos rodoviários, a redução do custo das operações logísticas e das despesas com seguros contra roubos. Entre as desvantagens, destacam-se o aumento do tempo total de transporte, a redução da flexibilidade e a eliminação de postos de trabalho.

Por outro lado, a UNCTAD (*United Nations Conference on Trade and Development*, 1996) *apud* VASCONCELOS (2009) apresenta as condições fundamentais, na visão do usuário, para que a intermodalidade seja considerada atrativa como:

- Suficiente integração física;
- A oferta equilibrada de infraestrutura viária;
- A eficiência gerencial;
- Modelos eficientes de operação intermodal;
- Eficiência tecnológica, emprego de mão de obra qualificada;
- Existência de regulamentação adequada;
- Associação entre interessados no desenvolvimento da intermodalidade.

A integração física é obtida por intermédio de terminais de transferência. Portanto, o desenvolvimento dos portos e pátios ferroviários é condição fundamental para o desenvolvimento da intermodalidade.

Os modelos de operação intermodal têm por objetivo proporcionar eficiência aos sistemas. Entre os desenvolvidos mais recentemente, destacam-se o modelo *Hub-and-Spoke*, trens expressos e terminal de contêineres *Agile Port System*, a seguir descritos.

### **2.5.1 Modelo *Hub-and-Spoke***

O modelo *Hub-and-Spoke* tem como estratégia procurar agrupar cargas em veículos de grande capacidade por longas distâncias. As cargas são agrupadas em terminais concentradores e distribuídas até a porta do cliente por veículos de menor capacidade. O trajeto até o terminal concentrador (*Hub*) é chamado de *Spoke* e realizado por veículos chamados *Feeders*. O principal benefício é a economia de escala e a principal desvantagem é o tempo de transporte maior. As condicionantes para a viabilidade do modelo *Hub-and-Spoke*, segundo VASCONCELOS (2009), são:

- A distância grande o suficiente entre os pontos de origem e destino das cargas que leve a um frete mais barato para justificar o transporte via *Hub*, em vez do transporte unimodal;
- Quantidade de demanda grande e próxima ao terminal para distribuir os custos fixos e demandas por cargas características de grandes capacidades de transporte;
- A capacidade de o terminal oferecer serviços característicos de plataforma logística, como por exemplo, consolidação e desconsolidação de cargas, armazenagem, entre outros.

De acordo com FRANKE (2001), as principais características desse modelo são: a organização espacial da rede de transporte, as modalidades envolvidas, o tipo de unidade de carga transportada, os tipos de equipamentos de transferência e o nível de sincronização entre veículos.

### **2.5.2 Trens Expressos de Carga**

Modelo de composições ferroviárias regulares, com horários de partida e chegadas predefinidos e complementados por rodovias para o transporte porta a porta. Esse procedimento evita o congestionamento das rodovias nas proximidades do porto e o uso de áreas de estocagem de contêineres (ASHAR *et al.*, 2007).

No Brasil, várias empresas operam esse tipo de modalidade, como por exemplo, a Vale e Brado Logística (empresa de operação de contêineres da ALL). Destacam-se aqui, as principais características do modelo de trem expresso:

- Rapidez (com velocidades de projeto de 80 km/h sem paradas intermediárias);
- Horários, tempos de viagem e rotas preestabelecidos;

- Manutenção da configuração do trem, evitando perdas de tempo em pátios de manobra e tempos de manuseio de carga reduzidos;
- Segurança;
- Integração efetiva entre modos de transporte e fretes atrativos.

### **2.5.3 Modelo do Terminal de Contêineres Tipo *Agile Port System***

O modelo de terminal *Agile Port Systems* proposto por FRANKE (2001) consiste em duas partes: uma área à beira do cais e outra no lado terrestre com possibilidade de expansão e distante da primeira. A ligação entre as duas áreas é feita por um sistema dedicado de trens. A área contígua ao cais foi chamada de *Efficient Marine Terminal* (EMT) e a segunda *Intermodal Interface Center* (IIC).

O objetivo deste modelo compreende:

- Movimentar a maior quantidade possível entre o navio e os trens, evitando estocar contêineres na área de cais;
- Transportar os contêineres da área de cais para a área terrestre de forma imediata;
- Transferir contêineres entre trens no terminal intermodal terrestre, organizando as cargas de acordo com o destino (no navio ou área de influência);
- Permitir o carregamento de contêineres em caminhões somente no terminal intermodal.

A rapidez das operações deve ser garantida por guindastes de pórticos que transferem as unidades, sem alteração da posição dos trens nas linhas. Outra característica é a reclassificação de vagões no pátio que atende o terminal, de acordo com o plano de carga do navio e a transferência direta da ferrovia para a área de embarque/desembarque ou doca.

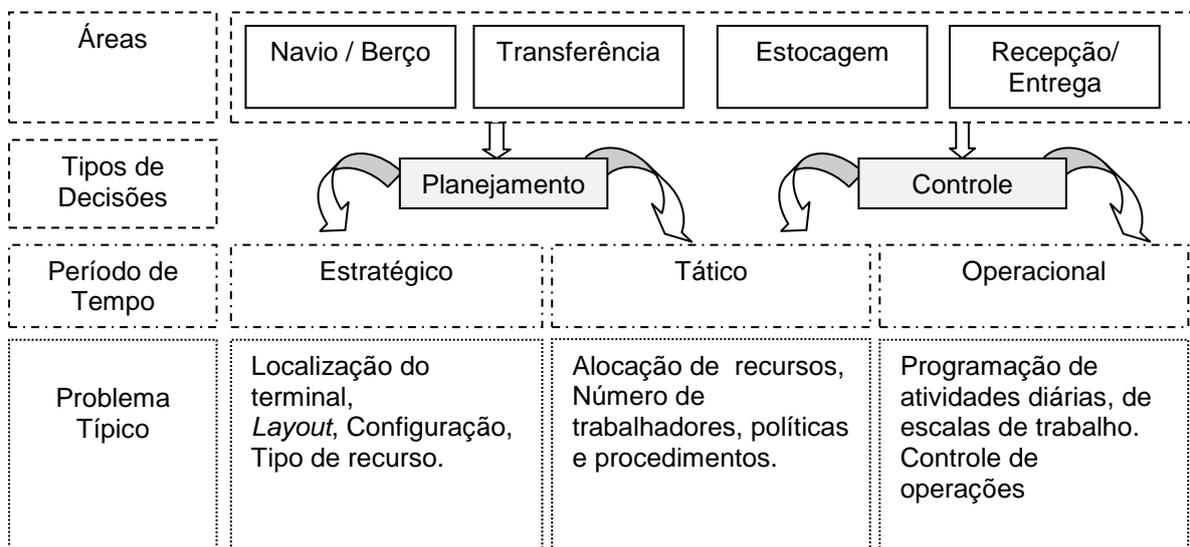
## **2.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta seção, apresentam-se os tratamentos voltados ao terminal de contêineres, encontrados na literatura técnica pesquisada, mais fortemente relacionada às diferentes áreas do terminal. As pesquisas têm se distribuído nos vários locais do terminal, embora a atenção predominante seja para os locais do lado aquaviário.

STEEKEN *et al.* (2004) classificam os problemas em torno das operações do terminal e fazem sugestões para pesquisas futuras. O artigo também sinaliza que a logística de

estocagem e pilhas é cada vez mais sofisticada, no caso de congestionamento de tráfego. A busca pela otimização das operações em terminais de contêineres tem sido feita por meio de técnicas de pesquisa operacional, de acordo com DAGANZO (1989), BOSTEL e DEJAX (1998), LEGATO (2001), MEERSMANS *et al.* (2001), BISH (2003), STEEKEN *et al.* (2004), GÜNTHER, (2006), CANONACO (2007), SAMMARRA *et al.* (2007), STAHLBOCK *et al.* (2008), entre outros.

HENESEY (2004) classificou os métodos e as técnicas de pesquisa encontradas na literatura técnica, de acordo com quatro categorias: Áreas do Terminal de Contêineres, Tipos de Decisão, Período de Tempo e Problemas Típicos, cujas relações são representadas na Figura 2.12.



**Figura 2.12** Áreas de Pesquisas Terminais de Contêineres. Baseada em HENESEY (2004).

As áreas dependem do tipo de terminal, mas geralmente são vistas como subáreas relacionadas à interface navio e berço, a interface berço e pátio de estocagem e a interface entre pátio de estocagem e área terrestre. O planejamento e o controle são considerados como tipos de decisão. Decisões de planejamento normalmente têm por objetivo as operações entre limites de áreas atuando em sincronia, envolvendo o projeto e o desenvolvimento de processos. Decisões de controle são direcionadas ao monitoramento e ou controle de processos. O período de tempo se refere ao nível do planejamento, normalmente considerados como longo prazo, médio prazo e curto prazo. Os problemas típicos ilustram as diferentes decisões de gerenciamento do terminal.

De um modo geral, as pesquisas voltadas para as áreas de atividades da transferência intermodal envolvem recepção e despacho, integração de operações e congestionamento e tráfego.

### **2.6.1 Operações de Recepção e Despacho**

As operações de recepção e despacho de contêineres com modos de transporte terrestre ocorrem no portão de acesso. Segundo HENESEY (2004, 2006), a maior parte dos trabalhos que consideram os problemas de entrega ou recebimento de contêiner tem acoplado o problema com o empilhamento ou armazenagem de contêineres no pátio. O autor afirma que pouca pesquisa tem sido focalizada na área de entrega e recepção de contêineres, embora este tenha se tornado extremamente importante.

Muitos terminais conhecem a lista de contêineres que serão descarregados/carregados em um determinado navio. A informação da chegada e da partida de contêineres pode auxiliar o terminal a gerenciar capacidades e minimizar o tempo de espera. Os terminais brasileiros usam essa informação para gerenciar as chegadas de contêineres, por meio de serviços de agendamento, o que também auxilia a reduzir as filas nos portões de acesso. Quando a data de chegada de um navio está próxima, a quantidade de contêineres para exportação aumenta até a data limite de aceite de contêineres para o navio. Essas informações são usadas para o planejamento da alocação de contêineres no pátio e ou na área de pré-estivagem.

### **2.6.2 Integração de Operações**

O planejamento e projeto de um terminal têm usado simulação como um instrumento que permite a visualização total do terminal, além de considerar os diferentes objetivos dos diversos agentes envolvidos. Em geral, os vários cenários são desenvolvidos a partir da variação de parâmetros considerados importantes para a tomada de decisão. Isso é relevante principalmente no caso de projeto. Por outro lado, a simulação não permite a localização real de contêineres no pátio ou navios e o interesse, geralmente, está voltado para a chegada de contêineres e não para o manuseio ou partidas.

GAMBARDELLA *et al.* (1998) e RIZZOLI *et al.* (2002) desenvolveram um modelo computacional de simulação discreta para avaliar o fluxo entre e dentro de terminais com interface rodoviária e ferroviária. Neste modelo, os resultados permitem verificar o

impacto da infraestrutura física existente e a eficiência com o uso de novas tecnologias no transbordo a partir da definição da estrutura do terminal e do processo de chegada de trens e caminhões.

Segundo VACCA *et al.* (2010), a integração de operações surge como uma tendência promissora de pesquisas para tomada de decisão de problemas que são altamente interdependentes e que normalmente têm sido resolvidos de forma hierárquica pelos planejadores dos terminais. Como tendências, destaca-se o desenvolvimento de métodos de solução, combinando problemas simples, dentro de uma única abordagem. Como exemplo, pode-se citar a otimização simultânea da alocação de berço e programação de guindastes de cais.

Os modelos de planejamento integrado foram introduzidos por PARK e KIM (2003), KIM *et al.* (2003, 2004) e revistos posteriormente por IMAI *et al.* (2003, 2005, 2008). GIALLOMBARDO *et al.* (2010) e VACCA *et al.* (2010) propõem um modelo integrado que também considera os custos de manuseio gerados por estoques intermediários no berço. Alguns outros modelos são voltados para questões de espaço (posicionamento em berço discreto ou contínuo), de tempo (chegadas estáticas ou dinâmicas), conceito integrado (simples ou abordagem dupla) e medidas de desempenho (tempos de execução, taxas de utilização ou *lead time*).

Muitos dos trabalhos encontrados na literatura tratam de problemas de decisões operacionais. Entretanto, muitos problemas de nível tático têm sido resolvidos baseados na experiência prática dos planejadores dos terminais. Além disso, a introdução de regras, políticas e melhores práticas dentro das restrições operacionais na definição de problemas táticos podem permitir a introdução de conceitos no planejamento tático.

CORDEAU *et al.* (2005, 2007) trata o problema de alocação de serviços como planejar o estoque temporário de berço e pátio capaz de minimizar as operações de manuseio dentro do pátio, o qual é um problema de decisão relacionado ao pátio, que ocorre no nível tático do planejamento.

A integração intermodal tem sido estudada principalmente com o foco no projeto por KOZAN (2000, 2006), ALICKE, (2002), BALLAS e GOLIAS (2002), VIS *et al.* (2003 e 2005) e CORRY e KOZAN (2006). As principais pesquisas estudam a efetividade da

alocação e a programação de recursos. O objetivo não tem sido a otimização da cadeia de transporte, mas a otimização de partes do sistema.

### **2.6.3 Congestionamento e Tráfego**

O problema de congestionamento em terminais de contêineres é cada vez mais importante, especialmente com o aumento do volume de contêineres.

LAU e LEE, (2007), LEE *et al.* (2007) e LAU e ZHAO (2007) analisaram o congestionamento do tráfego no cais de um porto altamente movimentado usando simulação e HAN *et al.* (2008) estudaram o congestionamento provocado pelas atividades de transbordo em portos concentradores, onde as atividades de carga e descarga são altamente concentradas.

De acordo com VACCA *et al.* (2010) o aumento do conhecimento dessas questões tem levado à disponibilização de ferramentas de decisão com soluções mais realistas para os operadores de terminais de contêineres.

Além desses, HENESEY (2004) cita a incorporação de Teoria de Sistemas, Teoria de Redes e Sistemas Dinâmicos como ferramentas analíticas que podem auxiliar a tomada de decisão quando existirem altos níveis de incerteza.

RAMOS e WIDMER (2002) usaram simulação para avaliar a capacidade das interfaces ferroviárias dos terminais intermodais de contêineres do Porto de Santos e concluíram que é possível aumentar a capacidade de processamento de trens por dia com mudanças de características operacionais do sistema e consequente aumento da eficiência das operações de transbordo.

Segundo MAGALA *et al.* (2008) a modelagem da escolha de um porto em uma cadeia de suprimentos pode ser descrita como uma combinação de fatores e atributos em diferentes níveis. Os fatores típicos ou variáveis relevantes para serem consideradas são aqueles que influenciam o comportamento do armador e subsequente escolha do porto. Eles usaram a TGS para compreender o que seria mais apropriado para modelar o problema de escolha do porto. A pesquisa conclui que tentar estudar um sistema focando partes dos componentes omite os tipos de interdependências e influências que afetam a percepção e visão geral do sistema.

## 2.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Neste capítulo, o objetivo foi caracterizar os elementos do terminal de contêiner e do pátio ferroviário, com base na pesquisa da literatura, em visitas técnicas e entrevistas com operadores portuários e ferroviários. Procurou-se identificar o ambiente portuário e do pátio ferroviário em que os contêineres são movimentados e a importância dessa tecnologia para o desenvolvimento da intermodalidade. Para cada elemento, procurou-se descrever as principais atividades e os principais equipamentos necessários para o atendimento dos objetivos. Por último, apresentou-se a revisão da literatura voltada para a resolução dos principais problemas existentes e nos diferentes níveis de planejamento.

Neste etapa, identificou-se que poucos trabalhos estudam as questões da transferência intermodal de forma ampla e integrada com o pátio ferroviário e o terminal de contêineres. Assim, foi possível observar que existe um espaço para o desenvolvimento de pesquisas voltadas às atividades de transferência intermodal em terminais de contêineres e à interface terrestre. Uma vez que alguns autores, como por exemplo, WONG (2008) chega a declarar a necessidade de estudos nessa direção. O desenvolvimento de uma pesquisa que contribua para o conhecimento do assunto é um objetivo a ser buscado.

### **3. O PROBLEMA DA INTEGRAÇÃO INTERMODAL**

Neste capítulo é feita uma revisão sobre a transferência intermodal entre o modo hidroviário e o ferroviário, incluindo as questões relacionadas à configuração, às instalações e à estrutura organizacional. Essa análise tem por objetivo identificar os fatores que podem contribuir com uma melhor integração entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres e dar subsídios para a definição dos critérios de decisão sobre caracterização da transferência, além de definir as situações da pesquisa em um plano de desenvolvimento e implantação futuros.

Inicialmente apresentam-se as diferentes configurações, utilizadas no processo da transferência intermodal entre navios e trens, os respectivos sistemas operacionais e uma análise das vantagens e desvantagens comparativas. Por último, são discutidos os problemas observados e é delineado o foco da pesquisa.

#### **3.1 ESTRUTURA FÍSICA**

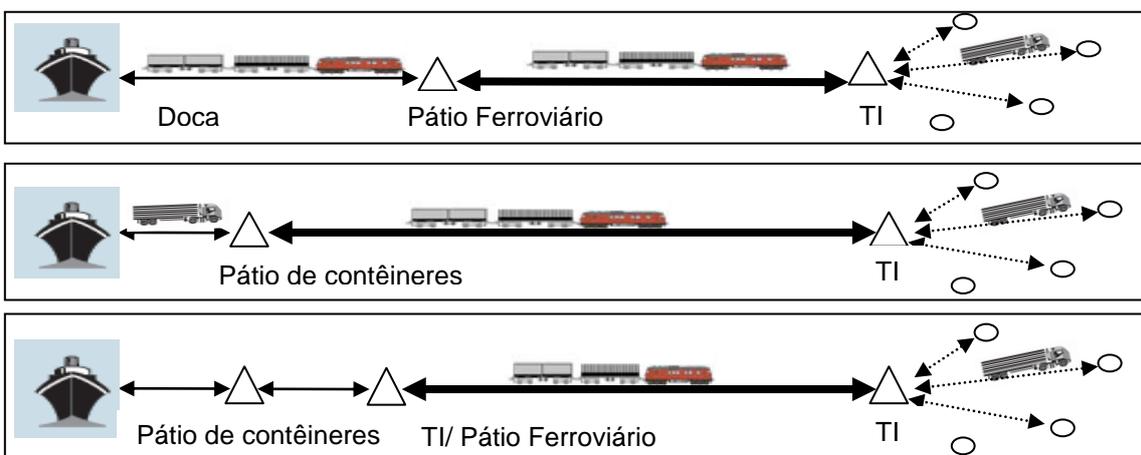
Os modelos de transferência intermodal ocorrem em terminais desenvolvidos de acordo com o modo de transporte e o tipo de carga. Entre as várias características relativas às configurações, estão a estrutura física, a estrutura organizacional, tipos de equipamentos e os diferentes fluxos de tráfego. No caso da transferência entre trens e navios, a classificação básica dos terminais está fundamentada na localização do pátio ferroviário em relação ao terminal portuário. Quanto à localização, o pátio ferroviário pode estar situado dentro do terminal de contêineres, no cais (*on dock*), próximo ao terminal de contêineres (*near dock*), quando estão situados até doze quilômetros, ou longe do terminal, quando estão situados entre doze e trinta e cinco quilômetros do terminal de contêineres (ASHAR *et al.*, 2007).

Entre os exemplos dessas ligações, pode-se citar o Porto de Los Angeles (PORT of Los ANGELES, 2004) e o Porto de Darwin, como apresentado em TEIXEIRA (2007), o qual opera como porto concentrador na Austrália, onde foi construído um terminal de contêineres com 46.000 m<sup>2</sup> e capacidade de receber trens com 1800 m transportando 160 TEUs. A Figura 3.1 mostra a conexão. Essa ligação surgiu com o objetivo de estimular o transporte intermodal com a construção da Ferrovia Alice Springs - Darwin, com 1.142 quilômetros de extensão.



**Figura 3.1** Terminal de Contêineres do Porto de Darwin. Fonte: *Port of Darwin* (2006 apud TEIXEIRA, 2007)

Em relação à estrutura física, ainda de acordo com ASHAR *et al.* (2007), existem muitas tipologias para a transferência intermodal de contêineres do navio para trens e vice-versa, como são descritas a seguir. Entre as tipologias descritas, pode-se representá-las segundo três características principais, como na Figura 3.2. Transferência na doca, transferência próxima a doca, ao lado do pátio de contêineres, e transferência no pátio ferroviário, em um terminal intermodal no retro porto.



Elaboração da Autora.

TI- Terminal Intermodal no Interior

**Figura 3.2** Ligações entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.

### **3.1.1 Linha Férrea Situada na Doca, dentro do Pátio de Contêineres**

Nesta configuração, o pátio ferroviário, onde ocorre a transferência intermodal, faz parte do pátio de contêineres. Normalmente, movimenta os contêineres da mesma maneira e com os próprios equipamentos do terminal de contêineres. Assim, por exemplo, os contêineres podem ser movimentados ao lado do navio e serem depositados diretamente sobre vagões, eliminando a necessidade de pilhas de estoques em áreas intermediárias no pátio de contêineres e de área de estoque ao lado da linha férrea principal. Normalmente a linha férrea está situada entre as pilhas do pátio de contêineres.

O sistema de linha férrea no cais é operacionalmente mais eficiente, uma vez que elimina içamentos e estocagens. Entretanto, esse sistema requer que todos os contêineres já estejam alfandegados e que a sequência de contêineres no trem esteja de acordo com a sequência de carga no navio, além da necessidade de sincronismo entre trens e navios. Na prática, o sistema é viável quando as linhas são controladas e os trens são unitários, dedicados ou quando não existe disponibilidade na linha de trabalho na doca (ASHAR *et al.*, 2007).

### **3.1.2 Linha Férrea Situada no Terminal Portuário, mas Separado do Pátio de Contêineres**

Nesta configuração, o pátio ferroviário (PF), onde ocorre a transferência intermodal, está dentro do terminal portuário, mas fisicamente separado do pátio de contêineres. Tipicamente, as linhas ferroviárias estão localizadas atrás do pátio de contêineres e a transferência intermodal ocorre de forma indireta. No sentido da importação, por exemplo, os contêineres são primeiramente estocados no pátio de contêineres e posteriormente liberados e deslocados até os vagões por veículos/equipamentos internos, onde são colocados sobre vagões por meio de equipamentos do pátio e o inverso para a exportação.

### **3.1.3 Linha Férrea Situada ao Lado do Terminal Portuário**

Nesta configuração, encontra-se a mesma situação anterior, exceto que a estocagem acontece fora do terminal e da área de serviço de alfândega. Muitas vezes, nessa situação, a área de estocagem do pátio ferroviário é maior que a área na doca. Além

disso, a situação no retro-porto permite a circulação de veículos para mais de um terminal portuário.

### **3.1.4 Linha Férrea Situada ao Lado do Terminal Portuário, mas Fora do Porto**

Nesta situação, a localização do terminal ferroviário é próxima ao porto, mas fora da zona portuária (em torno de oito quilômetros) (ASHAR *et al.*, 2007). O transporte entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres é principalmente na via pública e exige a utilização de caminhões fora do portão do terminal. Ainda são consideradas as verificações de documentos da carga, da integridade dos contêineres e do chassi, de modo semelhante a um envio via caminhão. A vantagem da localização fora da área do porto é que ela permite a manipulação de contêineres de exportação, importação e dentro do terminal. Além de possibilitar a liberação de áreas na beira do cais para outros usos. Um local longe do terminal também permite o emprego de mão de obra mais barata que as portuárias. A principal desvantagem é o maior custo de frete e o tempo de transferência.

### **3.1.5 Análise Comparativa entre Configurações**

A principal vantagem de localização da transferência dentro do terminal em relação à situação fora do terminal está na redução de fretes e redução do tempo de trânsito em geral. A configuração de terminal ferroviário situado na doca traz as seguintes vantagens:

- Menor congestionamento de tráfego dentro do terminal portuário e no entorno do porto;
- Liberação de espaço no pátio de contêineres;
- Melhor ordenamento de fluxos no terminal;
- Melhor qualidade do ar nas imediações do terminal.

Comparando as configurações para movimentar contêineres, de terminal intermodal ferroviário conectado ou desconectado do terminal de contêineres, podem-se identificar como principais desvantagens (REICHELT e HEMPHILL, 2009):

- **Alternativa de Uso do Espaço Terrestre em Frente ao Cais:** O terminal ferroviário conectado ao cais requer espaço disponível em frente ao cais que poderia ser usado como pátio de contêineres e aumentar a capacidade do terminal portuário. Isso é importante no caso de configuração de grandes terminais que

necessitam de mais espaço no terminal. Entretanto, a perda de espaço com a localização no terminal ferroviário na doca é compensada pelo baixo tempo de estadia dos contêineres, resultando em um aumento da utilização do pátio de contêineres;

- **Desvios de Trens:** A configuração do terminal ferroviário na doca é frequentemente desempenhado por trens de serviço. Isso implica na necessidade de desvio de trens para o terminal portuário, resultando em custos e tempos adicionais. Além disso, desvios de trens para terminais, especialmente se localizados em meio a áreas urbanas, podem interromper o tráfego rodoviário;
- **Ineficiência no Manuseio Ferroviário:** Na configuração do terminal ferroviário na doca, normalmente os terminais são pequenos em função da limitação de espaço do terminal portuário ou devido à impossibilidade de instalar longas faixas de trabalho. Conseqüentemente, a operação torna-se suscetível de se tornar ineficiente tanto na operação ferroviária, pela separação do trem em muitos cortes, como na movimentação de contêineres, pelas perdas de economia de escala.

A escolha entre uma configuração e outra é um processo complexo devido a muitos fatores como, por exemplo, diferentes objetivos entre os agentes envolvidos como os operadores de terminais e armadores de linhas de transporte de navios e operadores ferroviários. Entretanto, algumas cargas multimodais podem necessitar da configuração fora da doca devido aos seguintes condicionantes:

- Quantidade de carga insuficiente para criar um trem completo;
- Disponibilidade de recursos como mão de obra e equipamentos;
- Disponibilidade de espaço no pátio de contêineres;
- Conflitos de programação entre trens e navios.

### **3.2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETO**

As principais considerações para o projeto de pátios ferroviários e de um terminal portuário são descritas a seguir. De acordo com AREMA (2008), as principais tendências de projeto de pátios intermodais com ferrovia indicam mudanças em equipamentos e operações com trens e não na geometria de vias e incluem equipamentos com maior capacidade; trens mais longos e múltiplas linhas de ultrapassagem; controle eletrônico pneumático de frenagem em cada vagão

simultaneamente; controle remoto de pátios e automatização das instalações portuárias.

### 3.2.1 Características de Projeto do Pátio Ferroviário

As principais considerações definidas pela AREMA (2008), relativas ao projeto de pátio ferroviário são:

- **Tamanho:** O tamanho deve ser adequado às necessidades e volumes requeridos pelo mercado de forma antecipada. Para essa análise, normalmente são usados padrões industriais;
- **Forma:** O local deve ter comprimento suficiente para receber os trens e paralelo à linha principal. Essa orientação permite reduzir os custos operacionais e determina a demanda e o tamanho dos trens, enquanto a largura (número de linhas) depende das necessidades de estocagem de contêineres;
- **Expansibilidade:** As experiências indicam que a demanda por capacidade do terminal cresce significativamente de forma antecipada em uma instalação de sucesso. Portanto, a disponibilidade de espaço adicional para suportar o crescimento é um requisito;
- **Acessibilidade rodoviária:** A eficiência e disponibilidade de acesso influenciam o volume projetado para a instalação e, com isso, também determina a área do mercado projetada.

### 3.2.2 Características de Projeto do Terminal Portuário de Contêineres

As principais considerações a respeito do projeto de um terminal de contêineres são, segundo RIJSENBRIJ (1999) e DOBNER *et al.*, 2002 *apud* SAANEN, 2004):

- **Ambientais:** ar, água, ruídos, sítios arqueológicos, remoção de moradores e proximidades a áreas residenciais;

- **Geológicas:** as condições topográficas, condições do solo, várzeas, condições de drenagem e estabilidade de fundações do local que permitam a instalação mais econômica.
- **Volume do tráfego:** o local deve ser projetado considerando as futuras expansões, as quais influenciam o *layout* e a circulação do tráfego;
- **Tamanho:** o tamanho do terminal depende do número de contêineres carregados/descarregados no período de tempo considerado, do método da operação e do sistema de estocagem e manuseio;
- **Padronização:** a padronização de equipamentos e veículos é desejável por permitir a transferência desses entre os terminais, além de facilitar as atividades de manutenção;
- **Acesso rodoviário:** o cruzamento de vias de circulação rodoviária com vias férreas pode restringir o tráfego;
- **Acesso ferroviário:** as linhas férreas não devem provocar interferências e congestionamento do tráfego. Se o volume diário do terminal excede a capacidade da linha, torna-se necessária a construção de linhas adicionais para estocagem e para acomodar trens que chegam e trens que estão de partida.

Os elementos físicos para a instalação do terminal de contêineres devem ter como objetivo maximizar a eficiência e criar um balanceamento em torno de vários fatores do terminal incluindo:

- Local de atracação para recepção de navios;
- Área de estocagem e circulação em frente à área de cais;
- Área de estocagem com *layout* eficiente, com espaço para circulação do tráfego;
- Localização do portão de acesso e capacidade de processar filas de forma adequada;
- Transferência eficiente para áreas de transferência modais vizinhas ou na doca;
- Flexibilidade no fornecimento de serviços de apoio como abastecimento, limpeza, água, entre outros;

- Controle de poluição da água através da instalação de estação de tratamento que atenda as áreas de combustível, de manutenção, de lavagem de veículos, se houver, e áreas pavimentadas.

Os principais elementos do terminal portuário, segundo SAANEN (2004), são:

- **Capacidade de manuseio de cais:** A capacidade de manuseio no cais determina a capacidade total de processamento do terminal e o tempo de atendimento de navios. Essa capacidade é a taxa de produção de carga e descarga de navios e, portanto, determina o número de guindastes de cais atribuído ao navio, à capacidade técnica dos guindastes de cais e à disponibilidade média operacional;
- **Comprimento de cais:** O comprimento de cais de atracação varia em função do número de berços. O comprimento dos berços consiste na distância longitudinal ocupada pelo navio. Portanto, são variáveis e dependem do número e do comprimento padrão dos navios esperados (até 350 metros para os navios atuais). Outra questão importante é que as operações do porto necessitam se adequar à capacidade e disponibilidade de cais. Um cais muito pequeno provoca filas de navios e atrasos na entrega de cargas, além de limitar o tamanho do navio e a capacidade do terminal de processamento.

Os principais fatores considerados na programação de berços são, segundo SAANEN (2004), os vários tipos e comprimentos dos navios, o número de contêineres descarregados por navio, a distribuição dos tipos de navio (padrão de chegada semanal), a regularidade (em relação ao ETA – *Estimated Time Arrived*), a prioridade de atendimento contratual e a capacidade de manuseio do acesso marítimo. A determinação do comprimento médio do cais também deve considerar o tempo médio de espera por berço.

- **Largura do cais:** É a distância da face do cais até a área de estocagem do pátio. A distância entre o guindaste do cais, da face terrestre e o pátio de estocagem deve ser a menor possível, mantendo as seguintes restrições: a existência de espaço para a estocagem temporária (pulmão), reestocagem e carga de última hora, existência de espaço para o transporte lateral de cargas de e para a área de estocagem e espaço que permita acesso direto de caminhões ou trens para retirar contêineres de importação;

- **Layout do cais:** A forma ideal é um cais contínuo com comprimento suficiente para receber navios e que possibilite futuras expansões lineares. Entretanto, com frequência, encontram-se outras estruturas, como cais endentados, perpendiculares, de duplo acesso, entre outros e operações ou regras governamentais que limitam a forma geométrica do terminal e do cais;
- **Capacidade do pátio:** Determinada tomando por base o tempo de espera, o fator de pico e o espaço adicional para segregação de contêineres (*reefer*, vazios, carga perigosa, entre outros). A partir desses valores médios estáticos, existem ainda flutuações sazonais, semanais e horárias (por causa da sequência e do desbalanceamento entre operações de descarga e carga) (KIM *et al.*, 2007).

**Área de estocagem:** Construções e área de apoio, altura dos postes de iluminação, instalações elétricas e outras infraestruturas devem ser previstas para acomodar expansões futuras. Pilhas médias de 2,5 contêineres é uma medida comum e realística que permite um acesso razoável aos contêineres na base da pilha. Operações com contêineres refrigerados necessitam de áreas com fornecimento de energia elétrica.

- **Capacidade da Recepção e Entrega terrestre:** Essa capacidade é determinada por três componentes: portão de acesso, terminal ferroviário e sistema de manuseio do lado terrestre do pátio de contêineres. Esse sistema deve ser capaz de manusear ambos os picos de contêineres (do portão e do terminal ferroviário ao mesmo tempo).

**Área do portão:** Ampla e com capacidade de expansão, com no mínimo dois pontos de entrada. Com estacionamento amplo. O controle do acesso e padronização da informação permitem o movimento eficiente entre a área de acesso e o pátio de estocagem.

- **Largura total da área terrestre:** Consiste na distância, a partir do cais, com um guindaste e com distâncias entre trilhos de 20 a 35 m, mais o espaço para o transporte lateral de 30 a 100 m. A largura total da área terrestre pode variar de 50 a 140 m. Em seguida, o pátio e a área de recepção e entrega para os modos terrestres (caminhão e trem) podem ter aproximadamente 300 a 400 m.

A Tabela 3.1 resume as diferentes distâncias a serem consideradas no projeto de um terminal de contêineres.

**Tabela 3.1** Dimensões Mínimas e Máximas dos Locais de Terminais de Contêineres

Local do Terminal	Função	Mínimo (m)	Máximo (m)
<b>Borda de cais</b>	Linha de serviço para acessar navio	3	10
<b>Linha de guindaste</b>	Determinada pela estabilidade do guindaste, do custo e da operação	15	35
<b>Área de pré-estivagem</b>	Espaço para estocagem temporária	10	25
<b>Faixa de Trânsito</b>	Para o tráfego de equipamentos de movimentação.	7	12
<b>Pátio de Estocagem</b>	Pilhas para diferentes tipos de contêineres	Variável	Variável
<b>Faixa de trânsito</b>	Para o tráfego de equipamentos de movimentação.	8	24
<b>Área de transferência</b>	Transferência terrestre (trem, caminhões)	10	12
<b>Linhas férreas</b>	Estacionamento e espera	16	>16

Fonte: Baseado em WELSING (2000 *apud* SAANEN, 2004).

### 3.2.3 Características Físicas da Transferência Intermodal

Segundo REICHELDT *et al.* (2009), os critérios que estabelecem a configuração adequada da transferência intermodal seguem os seguintes padrões:

- **Área de transferência:** essa área inclui as linhas de carga ferroviária e espaço adjacente onde a transferência física entre modos é executada. As transferências são feitas por guindastes montados sobre trilhos com carregadores de topo ou laterais. O desempenho básico de equipamentos é de um levantamento a cada três minutos;
- **Linhas de Trabalho:** o comprimento das linhas de trabalho é uma função do número de trens processados diariamente e do número de equipamentos

atribuídos para a operação de decomposição do trem. Deve ter o comprimento do trem de projeto. Se não for possível acomodar esse trem, deve ter linhas duplicadas;

- **Linhas:** o grau de curvatura, o tipo de transferência e o gradiente das linhas com o pátio não devem exceder as seguintes medidas: Curvatura de  $8^{\circ}30'$ , gradiente de 0 a 0,1% com os limites das linhas de trabalho e 1,0% nas entradas e saídas de linhas;
- **Área de Estocagem de contêineres:** considera as áreas para estocagem de contêineres para serem carregados em trens (normalmente de um a três dias) e para serem carregados em navios (normalmente vários dias aguardando a chegada do navio). Além desses, considera-se ainda a área de contêineres vazios;
- **Área de Estocagem de vagões:** é uma área adjacente ao pátio ferroviário. O valor padrão é de 1,5 vezes o volume médio diário de vagões movimentados pelo pátio.

Além dessas áreas, ainda são consideradas as áreas de escritórios, de manutenção, de circulação de pessoas, de circulação de veículos e de portões de acesso.

### 3.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Segundo BAUCHET (1998), a organização da economia mundial se manifesta dentro das suas estruturas e de seus agentes. A rede de transporte atual reflete a nova geografia da produção e do comércio mundial e, portanto, o conteúdo das cargas. As estratégias dos armadores e as novas necessidades de transporte definem o desenvolvimento dos portos, transformando as suas funções, estatutos e políticas de desenvolvimento e as ligações com os demais modos de transporte.

O transporte, principalmente o regular, compreende três tipos de redes: a rede da infraestrutura, portos, terminais, rodovias e vias férreas; as redes de exploração, que organizam o serviço, combinando os fatores de produção; e as redes de informação, que ligam fornecedores e usuários.

#### 3.3.1 Pátio Ferroviário

No domínio da ferrovia, as redes ferroviárias buscam se desenvolver e se reorganizar a partir dos portos, dos tráfegos internacionais de mercadorias onde são mais competitivas que os outros modos. Os trens unitários característicos de matérias

primas estão também voltados para o transporte de contêineres. O sucesso dos trens unitários de contêineres, como ocorre na União Europeia, por exemplo, acompanha o desenvolvimento do transporte multimodal concebido entre armadores, portos e redes ferroviárias. No Brasil, empresas como a Log-in Logística Intermodal (VALE, 2011) têm encomendas de navios porta-contêineres totalizando uma capacidade de transporte de 17500 TEUs até 2013. A ALL Logística criou a empresa Brado Logística para cuidar das operações com contêineres, já estabelecendo parcerias com a LIBRA, por exemplo (BRADO, 2011).

As relações de negócios colaborativos entre operadores ferroviários, armadores, operadores de terminais portuários, empresas de transporte intermodal, embarcadores e clientes parecem ser o catalisador inicial para o sucesso da integração intermodal entre pátio e terminal.

### **3.3.2 Terminal de Contêineres**

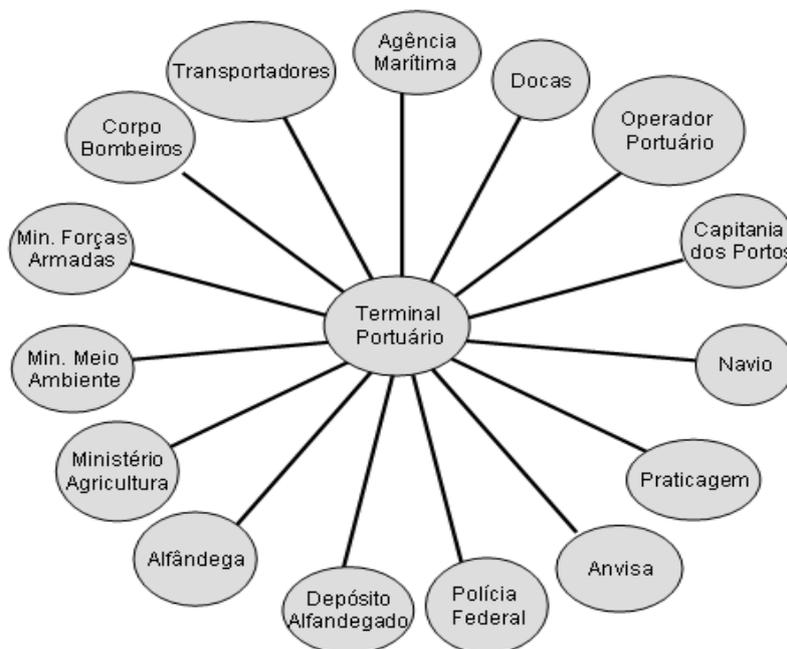
Terminais de contêineres não são simples conexões entre modos de transporte, (VACCA *et al.*, 2007). Eles são locais onde vários agentes realizam os seus negócios relacionados ao transporte marítimo. Do ponto de vista da autoridade do terminal, vários agentes podem ser identificados:

- Os agentes internos fazem parte da organização de gestão portuária e normalmente possuem diferentes objetivos, como comerciais, operacionais e de segurança;
- Os agentes externos são aqueles ligados ao terminal portuário por meio de relações contratuais ou econômicas. Estes são empresas que investem diretamente na área portuária ou na localização de indústrias na vizinhança do terminal, mantendo relações com os operadores, principalmente, com as operações de transporte;
- Os clientes do terminal, como importadores e exportadores, não costumam investir diretamente no terminal, mas eles exercem uma influência indireta nas decisões por meio de solicitações de serviços específicos. Assim, existe uma correlação entre a evolução do terminal em função da influência que a atividade portuária pode exercer sobre os negócios;
- Os legisladores das políticas públicas, como Ministério dos Transportes, Ministério do Comércio Exterior, Ministério da Fazenda, Agências de Vigilância Sanitária e Ambiental e Agências Reguladoras, entre outros;

- OGMO (Organismo Gestor da Mão de Obra), que negocia com os gestores do terminal e contratantes as condições de trabalho da mão de obra empregada nas operações;
- A comunidade por meio das organizações da sociedade civil.

Segundo VAN DER HORST *et al.*, (2010), muitos estudos têm demonstrado que transportadores intercontinentais usam como critério de escolha do porto a área de atendimento terrestre, as tarifas reduzidas e a proximidade com clientes. Como consequência, os estudos relacionados à integração da cadeia de transportes têm aumentado, mas que estes têm se limitado à integração física. Embora o valor da contribuição, a implantação mostra-se difícil devido às questões de distribuição de custos e benefícios, desconfiança, comportamento estratégico e pouca economia de escala.

Os principais agentes envolvidos nas operações em um terminal portuário Brasileiro estão apresentados na Figura 3.3.



**Figura 3.3** Principais Agentes Envolvidos nas Operações Portuárias. Baseado em Serpro (2006).

Nesse contexto, VAN DER HORST *et al.*, (2010) identificaram um conjunto de problemas de coordenação entre atores e classificaram diferentes arranjos de coordenação, como apresentados na Tabela 3.2. Todavia, todos têm o mesmo objetivo: maior eficiência nas transações econômicas na relação do porto com a

cadeia e a eficiência do uso de recursos (eficiência técnica), atendendo preferências de clientes (alocação eficiente) e redução de custos.

**Tabela 3.2** Tipos de Coordenação entre Agentes

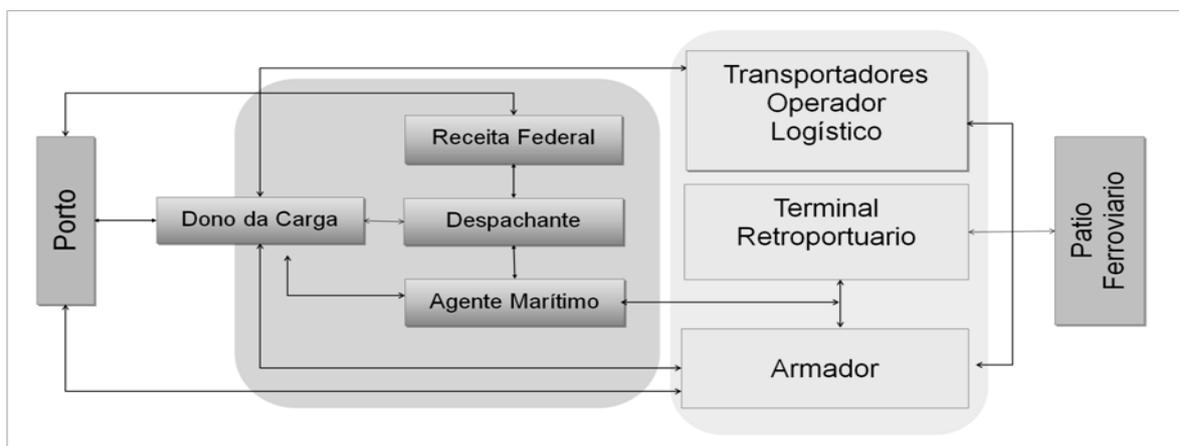
<b>Mecanismo de coordenação</b>	<b>Arranjos de coordenação possíveis</b>
Introdução de Incentivos	Bônus, penalidades, diferenciação de tarifas, garantias, reserva de capacidade, depósitos e tarifas ligadas a custos.
Aliança entre empresas	Subcontratação, contrato para um projeto específico, padronização de procedimentos, formalização de procedimentos e formação de <i>pool</i> de capacidade, padrão para qualidade e serviço.
Mudança de escopo	Integração vertical, introdução de um agente e introdução de um gestor da cadeia.
Ação coletiva	Governança pública, cooperação público-privada e sistema de terminal intermodal para uma indústria específica.

Fonte: Baseado em VAN DER HORST *et al.*, (2010).

Além das dificuldades de integração entre os agentes, a demanda de serviços portuários muda naturalmente ao longo do tempo com os tipos de tráfegos que requerem novos investimentos portuários e mais flexibilidade. A escolha do porto depende da capacidade do porto de se adaptar. O desenvolvimento de terminais de contêineres condiciona a utilização do porto pelos transportadores e exportadores. O transporte terrestre é determinante para a escolha do porto em razão dos custos elevados. As possibilidades de ligações com autoestradas e linhas ferroviárias de alta capacidade como trens unitários canalizam a grandes tamanhos de navios de contêineres.

O ambiente de interface do terminal portuário está ilustrado na Figura 3.4. O ambiente institucional é a área formal (leis e regulamentos). Nesse nível, é definida a responsabilidade jurídica como quem é “dono do que”. No ambiente portuário, são os armadores e empresas internacionais interessados em compartilhar a infraestrutura.

Enquanto que no ambiente informal, encontram-se as tradições, as normas e os clientes distribuídos.



Elaboração própria.

**Figura 3.4** Agentes da Interface entre Porto e Cadeia de Transporte Ferroviária.

A especialização crescente dos navios aumenta o seu custo unitário e a integração dentro de uma cadeia de transporte cada vez mais restrita está conduzindo a novas estratégias, sob a forma de acordos entre armadores, grupos, consórcios, grandes alianças e assim a criação de empresas multimodais e, sobretudo transnacionais. As conferências, grupos, consórcios e outros acordos são uma barreira para a entrada de novos armadores e carregadores (BAUCHET, 1998).

Os armadores estão interessados em operar grandes navios porta-contêineres porque são mais eficazes em atender portos localizados entre distâncias maiores para evitar os custos de imobilização. Isso ocorre porque os navios de contêineres gastam mais na escala que na própria rota. Assim, o tempo de escala é importante. Os portos, neste sentido, são dominados pelas escalas dos armadores que exercem uma grande influência para baixar os custos das escalas e melhorar a qualidade dos serviços.

As conferências são clubes de exploração de linhas regulares, personalidade jurídica que tem por objetivo assegurar o transporte regular e tarifas definidas e estáveis.

Os grupos e consórcios são acordos que têm por intenção uma integração do tráfego para melhorar a produtividade da frota. Ao contrário das conferências, eles não procuram regular o frete e não se limitam a um acordo informal, mas somente se manifestam por uma entidade jurídica que agrupa os navios com características

semelhantes e negocia contratos de afretamento em que as receitas são as mesmas e repartidas entre os proprietários.

Os consórcios formam a cooperação mais avançada entre os armadores, sendo um escritório comum sob um nome próprio. Neste, a cooperação parte da reserva de espaços mínimos em navios, horários, receitas e despesas, podendo ter a gestão financeira integrada. Eles existem em graneis e linhas regulares.

A concentração em grandes empresas vem da necessidade de obter lucratividade em economias de escalas e volume dentro de um contexto de fretes baixos ou da racionalização da gestão de navios.

A integração horizontal se dá por meio de frotas multinacionais, de *joint ventures*, de *holdings* ou grandes empresas. A constituição de frotas multinacionais apresenta grandes vantagens como: a possibilidade de economias de escala, o investimento é dividido e a obtenção de recursos mais fáceis em certos países.

A constituição de grandes empresas, gestoras de frotas em diversos países, é a forma mais comum de integração horizontal, baseada em frotas sob diversas bandeiras. Os armadores operam com bandeira nacional ou estrangeira, dos quais eles são proprietários ou afretadores, gerenciando tecnicamente e comercialmente a frota, mas também, no caso dos contêineres, os terminais e as redes terrestres de sistemas de comunicação.

Segundo BAUCHET (1998), as redes são somente multimodais e multifuncionais. As redes multimodais associam diversos modos de transporte economicamente (um único operador) ou tecnicamente (veículos mistos), podendo funcionar em paralelo ou em série. As economias surgidas explicam a crescente integração vertical dos modos de transporte.

A importância dos grandes armadores não se dá somente pela rede que atendem, mas também pelos serviços multimodais que oferecem. Embora as dificuldades encontradas, eles são integrados verticalmente ao longo da cadeia e executam um conjunto de serviços auxiliares.

A integração vertical na cadeia de transporte se traduz em armadores interessados em obras, na fabricação de contêineres e equipamentos portuários, atividades auxiliares,

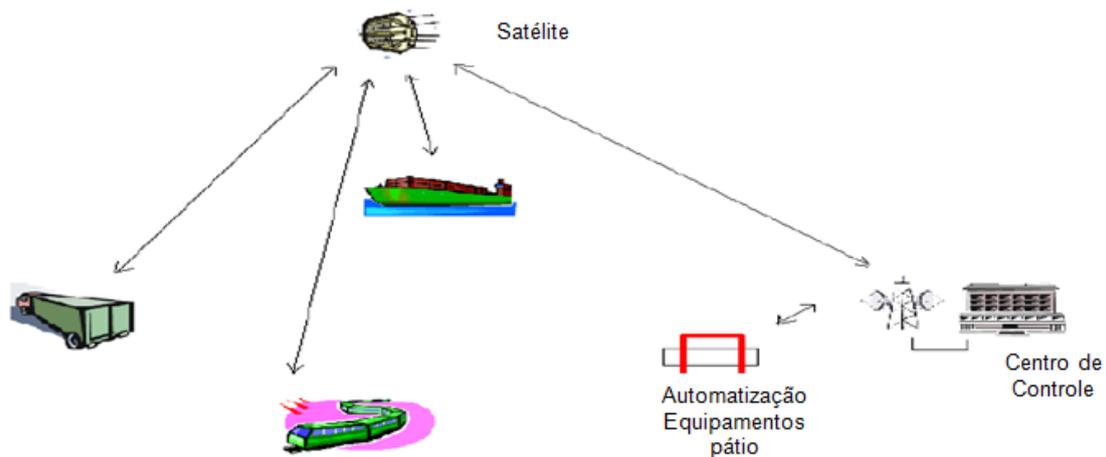
armazenagem e transportes terrestres. A integração dentro desse sistema de produção conduz a uma inquestionável industrialização do transporte marítimo em termos de adaptação dos navios aos produtos, com o objetivo de atender as condições de produção *just in time*. Com isso, a integração das economias industrial e do transporte busca garantir que os grandes exportadores obtenham as mesmas vantagens de eficiência que os armadores e também reduzir os estoques.

### **3.3.3 Tecnologia de Informação e Comunicação**

Muitas decisões em terminais convencionais são tomadas por planejadores, motoristas e operadores de equipamentos. Entretanto, essas operações no terminal de contêineres e no pátio ferroviário são apoiadas por sistemas de controle computacionais, inicialmente introduzidos para dar suporte administrativo como informações de contêineres e troca eletrônica de dados (EDI – *Electronic Data Interchange*). Atualmente, existem *softwares* disponíveis, como por exemplo, *Express-Sparcs* da NAVIS e *Ships-Space-Traffic* da COSMOS, com objetivos de apoiar as operações como: criar plano de carga, programação de equipamento de transporte, planejamento de pátio e portão de acesso.

Muitos portos têm investido nessas tecnologias de informação e comunicação com o objetivo de melhor desenvolvimento do trabalho e aperfeiçoar as atividades. Por exemplo, o conhecimento prévio da chegada do navio permite reorganizar os serviços mais rapidamente. Sistemas de posicionamento geográfico (GPS – *Geographic Positioning System*) e ou tecnologias de micro-ondas permitem definir o trajeto do movimento de transferência de máquinas, rotas e a localização de contêineres e arquivar essas informações na base de dados.

A tecnologia GPS é também usada em navios, caminhões e trens, como por exemplo, na Figura 3.5. Ela permite o planejamento e o controle centralizado da rede de transporte. A difusão do uso de equipamentos pessoais pode permitir, por exemplo, que o motorista em trânsito saiba o momento de entrega e de retirada de contêiner do terminal.



**Figura 3.5** Exemplo de Sistema de Localização Geográfica. Fonte: WONG (2008)

A combinação da informática com a comunicação permite tornar as relações entre os diferentes participantes do transporte mais coerentes. Além da coordenação de serviços tradicionais, novas relações por meio da troca de dados, informações e documentos, evitando atrasos com traduções e fusos horários.

### 3.4 MEDIDAS DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

As medidas de desempenho de terminais portuários e sistemas ferroviários seguem o padrão de medidas de desempenho da maioria dos sistemas produtivos. Elas iniciam com medidas individuais de cada função ou nível operacional. Uma medida de desempenho é feita para qualificar ou quantificar um ou mais atributos de um objeto, produto ou processo. A medida deve permitir a comparação e a avaliação com o objetivo definido ou com dados históricos. Normalmente as medidas de entrada envolvem tempo, custos e ou recursos, ou uma combinação destes. As medidas de saída mais comuns são produção, *lead time*, lucro e índices de produtividade e eficiência.

Entre os conceitos de eficiência encontrados na literatura destaca-se a eficiência técnica como a que indica a habilidade de produzir um resultado máximo (*output*) a partir de um conjunto de entradas mínimo (*inputs*). Essa medida está baseada nas relações de engenharia em que as práticas de gestão e operações afetam diretamente os resultados da eficiência, mas sem considerar fatores de custos e preços.

Para medir o desempenho do serviço de um terminal de contêineres, alguns índices são usados para análise e avaliação. Entretanto, nas medidas da eficiência de terminais de contêineres, observa-se uma falta de clareza na definição de quais são os fatores de entrada e quais são os fatores de saída. Além dessas questões, BICHOU (2008) observa que na literatura, a eficiência portuária tem estado voltada somente para o lado aquaviário, embora exista reconhecimento da influência da logística portuária terrestre no desempenho global do terminal portuário. Esta seção discute os indicadores mais usados.

### **3.4.1 Indicadores de Classificação**

Os terminais de contêineres têm definido alguns requisitos em termos de eficiência e níveis de serviço com o objetivo de manter a competitividade. As necessidades variam de acordo com as características do terminal e da localização. Nas áreas onde as distâncias entre terminais são relativamente pequenas, o terminal pode tentar se diferenciar dos outros oferecendo, por exemplo, alta qualidade.

Com o objetivo de medir o desempenho de um terminal, alguns índices são usados para análise e avaliação. Entre os mais frequentes, WONG (2008) divide-os em indicadores de projeto para classificar o tipo de terminal e indicadores de desempenho para medir o nível de serviço fornecido pelo terminal.

Entre os requisitos de desempenho, podem-se destacar os de RIJSENBRJ (1999, *apud* SAANEN, 2004):

- Profundidade suficiente, sendo de 16,5 m (2004) para portos concentradores;
- Atendimento ininterrupto (todos os dias e durante 24 horas);
- Cumprir os tempos acordados do tempo total de manuseio do navio. Para navios de contêineres, o período usual é medido em horas;
- Manutenção do nível de serviço mesmo com um grande número de navios, ou quando a interface terrestre tem picos de demanda junto com o lado aquaviário;
- Segurança do manuseio (da carga e das pessoas);
- Controle ambiental durante as operações de manuseio;
- Confiabilidade 100%, sistema de controle em tempo real (para manuseio físico e fluxo de informações), com disponibilidade de dados *on-line* e serviços de troca eletrônica de dados (EDI);

- Atividades de apoio (depósito de contêineres vazios, estacionamento de caminhões, oficinas, entre outros);
- Outros serviços auxiliares (abastecimento de água para navio, pequenos serviços de manutenção de navios, entre outros).

Esses requisitos de desempenho normalmente são considerados na fase de projeto do terminal e relacionados à previsão da produtividade e aos custos do manuseio.

#### **3.4.1.1. Indicadores de Projeto para Classificar Tipos de Terminais**

Um terminal pode ser classificado por vários fatores, como por exemplo:

- Volume (número de navios movimentados) = este número determina as condições específicas que limitam a escolha do sistema de manuseio, tal como condições do solo e formato do terreno (plano horizontal e altimétrico);
- Fator de Transbordo = número de movimentos de transferência entre navios/volume de contêineres;
- Rotatividade = movimentos de transferência / número médio de contêineres no terminal;
- Tempo Médio de Estadia =  $365 / \text{Rotatividade}$ ;
- Fator em TEU = % de contêineres de 40 pés +1;
- Número de Visitas em Pilhas (TEU) = Número de contêineres x  $(1-1/2 \times \text{Fator de Transbordo}) + 1/2$  movimento doméstico x Fator TEU;
- Fator de Pico de Estocagem = Número Máximo de TEUs no Pátio / Número Médio de TEUs no Pátio;
- Demanda Média de Estocagem (TEU) = Número de Visitas à Pilha x Tempo Médio de Estadia / 365;
- Demanda Máxima de Estocagem (TEU) = Demanda Média de Fator de Pico de Estocagem.

#### **Outros fatores para classificação:**

- **Capacidade anual de manuseio de contêineres (TEU/ ano);**
- **Taxa de transbordo de contêineres:** relação entre os contêineres manuseados de importação e exportação e os de transbordo. Essa medida caracteriza um terminal como concentrador (taxas mais altas), terminais com viagens origem / destino (OD) ou terminais locais. Taxas menores que 0,5 (OD) indicam terminais

com necessidades de planejamento de portões de acesso, equipamentos terrestres, interfaces e pátios de estocagem.

Para terminais concentradores, as instalações aquaviárias mais importantes para o planejador são a profundidade, tamanho de berços e equipamento de cais. Portos locais movimentam menos de 250.000 contêineres/ano, recebem navios pequenos e têm taxas similares as dos terminais Origem / Destino. A taxa de transbordo também determina a capacidade da pilha. Terminais com 100% de transbordo necessitam de metade da capacidade de pilha de um terminal Origem/ Destino.

- **Capacidade de estocagem (TEU):** Determina a característica das áreas de estocagem, altura de pilhas.

Com o objetivo de avaliar a funcionalidade e o serviço fornecido pelo terminal, os indicadores são definidos de acordo com os objetivos de um terminal (SAANEN, 2005). Assim, esses indicadores vistos do ambiente externo são os que determinam o terminal em termos de tamanho e tipo da operação. Os quatro indicadores mais importantes são definidos em função do nível de serviço do ponto de vista do cliente, da eficiência e utilização do terminal, da eficiência dos equipamentos de manuseio e da eficiência do uso do espaço terrestre.

#### **3.4.1.2. Desempenho do Ponto de Vista do Cliente**

- Tamanho máximo do navio;
- Produtividade de berço ou tempo de atendimento ao navio;
- Serviços de terra (atendimento a caminhões e trens): o tempo de atendimento terrestre é um indicador do desempenho. Existem diferenças entre o exportador e o transportador. O transportador porta a porta, no caso de cadeias intercontinentais ou continentais, não estão ligados. A parte continental é executada por outra empresa e não pelo transportador marítimo. Isso permite que outra empresa, sem relação contratual com o terminal, pegue ou deixe contêineres. No caso de transporte porta a porta, o transportador marítimo também cuida da parte do transporte terrestre. Isso possibilita maiores chances de ajustar as operações terrestres e aquaviárias. Além disso, no caso do transportador porta a porta, os operadores do terminal têm mais incentivos para influenciar o cliente devido às relações contratuais;

- **Mudança na última hora:** à medida que a logística aumenta as atividades em tempo real, aumenta também a necessidade de operações flexíveis que permitam alterações na lista de carga do navio e ou com contêineres que chegam atrasados ao terminal;
- **Preço por movimentos:** é um dos indicadores mais importantes, uma vez que junto com a produtividade do berço determinam a atratividade do porto. A produtividade e o custo por movimento consistem em um *trade-off*. O preço por movimento é o outro dado, incluindo todos os custos feitos no terminal. Os preços são acordados e variam de contrato a contrato;
- **Preço por dia de estocagem:** o preço varia de terminal para terminal e depende do espaço disponível do pátio de estocagem.

#### 3.4.1.3. Produtividade e Utilização do Terminal

Esses indicadores são utilizados para assegurar o nível de eficiência do terminal:

- Capacidade: capacidade de manuseio anual/ unidade de área (TEU/hectare);
- Rotatividade do Pátio ou Tempo de Estadia: para encontrar a rotatividade de espaços de TEUs no pátio, a capacidade de manuseio anual ou tráfego de contêiner anual (TEU/ano) é dividida pela capacidade de estocagem. O tempo de estadia é calculado de acordo com a fórmula:

$$\text{Tempo de Estadia} = \sum_1^n (\text{data de chegada} - \text{data de partida}) / n.$$

- Capacidade de Manuseio por Metro de Cais (TEU/ m): normalmente determina a eficiência do terminal na recepção do navio (atribuição do berço adequado).

#### 3.4.1.4. Desempenho de Equipamento e Manuseio de Contêineres

- **Produtividade de guindastes de cais (contêineres/ hora):** determinam a capacidade de movimentos de contêineres no cais. Guindastes com maiores capacidades, como os *twin lift* (movimentam simultaneamente dois contêineres de 20 pés) e os *tanden lift* (dois contêineres de 40 pés) permitem a produtividade aumentar;
- **Número anual de contêineres manuseados/guindaste de cais:** mede o nível de transferência do terminal;
- **Produtividades de equipamentos (movimentos/ hora):** consiste em uma das medidas mais importantes para a avaliação da produtividade do terminal e de

planejamento dinâmico de navios. A determinação exata é muito difícil em função das muitas variáveis, como tempos de espera de equipamentos, condições do pátio, estratégias operacionais, entre outros.

Em geral, quatro tipos de produtividade de equipamentos podem ser medidas:

- **Produtividade técnica:** determinada por fatores físicos como distância média de viagem, velocidade de máquinas (carro transportador), em que não são contadas as interferências de outros equipamentos;
- **Produtividade operacional do equipamento:** estão incluídos os atrasos e as influências externas, como vento e condições da superfície;
- **Produtividade líquida:** durante a operação, o equipamento normalmente tem que esperar por outro equipamento para a troca ou devido a outras interferências;
- **Produtividade bruta:** é resultante da inclusão de todas as interferências, considera o tempo de atendimento do navio, tempos de parada, quebras entre outras.
- **Densidade de guindastes de cais (m/guindaste):** na maioria dos terminais, esse índice é maior que 100 metros. Índices menores podem provocar congestionamento do transporte horizontal (muitos veículos trazendo/levando contêineres em uma área relativamente pequena).

#### 3.4.1.5. Eficiência de Uso de Espaço Terrestre

- **Taxa de utilização de área para pátio: (%):** representa a relação entre a área total do pátio e a área total do terminal. O índice varia de 0,5 a 0,7 para terminais com pátios de estocagem de contêineres;
- **Densidade do Pátio (TEU/Ha):** índice de utilização do pátio, em condições operacionais. Os valores variam em função dos equipamentos de manuseio. Na prática: 700 TEU/ha para *Straddle Carrier* e até 1500 TEU/ha para sistema de transtêiner (WONG, 2008);
- **Acessibilidade de contêineres na pilha:** número médio de movimentos para retirar um contêiner específico da pilha. (Alta acessibilidade representa um movimento direto e baixa representa movimentos extras). Esse índice relaciona a função de transferência com a função de estocagem e influencia a capacidade do terminal. A acessibilidade depende do número de colunas (altura da pilha), da posição do contêiner a ser pego e da confiabilidade da informação do local do contêiner.

### **3.5 A SEGURANÇA OPERACIONAL**

O objetivo desta seção é a identificação da segurança requerida no ambiente do terminal portuário de contêineres e do pátio ferroviário com foco no sistema humano, na segurança dos equipamentos e da instalação e na confiabilidade da operação e da segurança ambiental.

#### **3.5.1 Confiabilidade no Ambiente Portuário e Ferroviário**

As operações em cadeias logísticas são inicializadas a partir das informações comerciais de um contrato de venda. Na sequência, as operações de carga/descarga, estocagem e transporte devem ocorrer de forma integrada e dinâmica. Entretanto, quanto mais integrada à operação, maior o risco de parada total do sistema da cadeia logística quando um componente da operação falhar. Se a confiabilidade afeta o atendimento ao cliente, que no caso do pátio ferroviário é o terminal portuário e deste é o navio, os custos relacionados ao sistema (atrasos) ou custos operacionais tornam-se importantes pela perda de competitividade que podem acarretar.

A integração entre sistemas complexos é caracterizada pelo envolvimento de muitos agentes. Estes formam uma rede na qual as informações são processadas e disponibilizadas aos demais integrantes da cadeia com decisões e ações variáveis no tempo. Algumas vezes pouco claras e conflitantes entre si e, por isso, dependentes de padrões de controle e de confiabilidade.

Todos os grupos de interesse, de um modo geral, possuem conjuntos de objetivos e critérios particulares a cada um. Esses critérios podem ser quantificáveis (tangíveis), como é o caso de valores monetários (tarifas, metas, custos de capital, entre outros) ou não facilmente quantificáveis (intangíveis), no caso de ser difícil quantificá-los monetariamente (segurança e confiabilidade, entre outros).

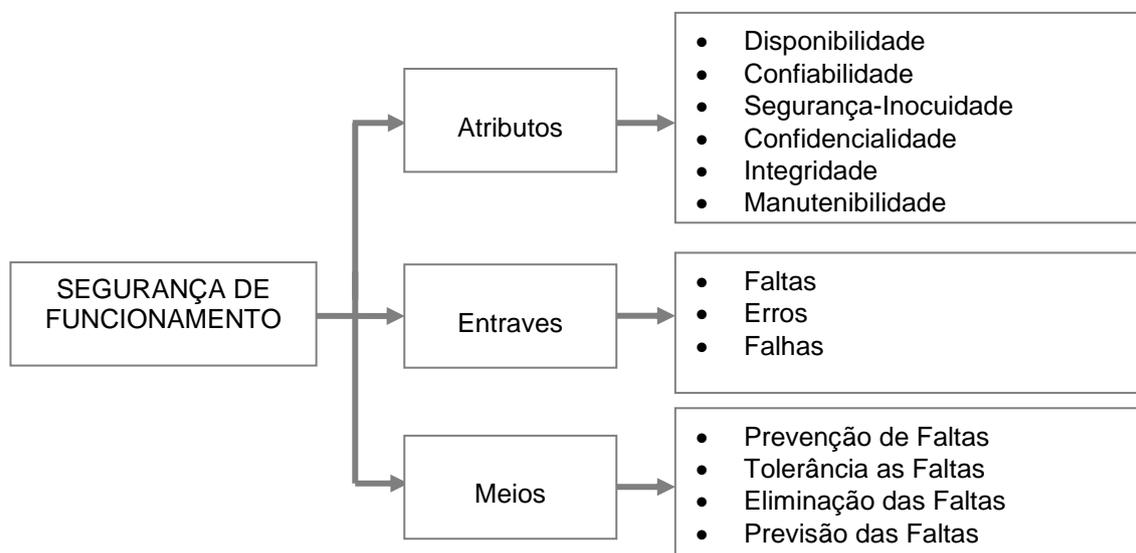
Esses fatores acarretam uma falta de integração entre processos que implica em faltas ou falhas na visão global do estado da rede de operações e dos serviços; falhas na integração das atividades operacionais automatizadas; falta de difusão de informações dos estados de operações e serviços de uma forma ampla; falta de flexibilidade de roteamento na rede logística e falhas na operação e manutenção.

Como consequência disso, os principais impactos de perda da integração são a elevação do índice de falhas não detectadas; o congestionamento na rede; a falta de flexibilidade no roteamento; a indicação múltipla da mesma falha; os dados insuficientes para planejamento e a deficiência de operação e manutenção.

No caso do terminal de contêineres e pátio ferroviário, o problema consiste na garantia do sincronismo entre operações de transporte do exportador até o pátio ferroviário terminal, deste para o terminal portuário e, por último, do terminal portuário em receber cargas provenientes do pátio, carregar e liberar o navio e o contrário para a importação. A interoperabilidade entre o pátio ferroviário e o terminal portuário e entre os respectivos componentes necessita da confiança no funcionamento.

### 3.5.2 Árvore de Segurança de Funcionamento

Confiança no funcionamento, do inglês *dependability*, pode ser definida como “um atributo do serviço fornecido pelo sistema, capaz de inspirar a seus utilizadores uma confiança justificada” (LAPRIE, 1979 *apud* PEREIRA, 2010). A Figura 3.6 exibe os conceitos relacionados a essa propriedade.



**Figura 3.6** Árvore da Segurança de Funcionamento (PEREIRA, 2010).

Pode-se notar na Figura 3.6 que os conceitos da segurança de funcionamento podem ser aplicados em um sistema integrado entre os elementos pátio ferroviário e terminal portuário por permitir a análise pelos seus atributos. Dependendo do sistema, diferentes graus de confiança no funcionamento podem ser aplicados e fornecidos a

partir de um ou mais atributos (LAPRIE, 1979 *apud* PEREIRA, 2010). Entre os atributos, aqueles que se julgam mais pertinentes ao problema da integração das operações do pátio ferroviário e terminal portuário são a disponibilidade, a confiabilidade e a manutenibilidade.

### **Confiabilidade**

A confiabilidade (*reliability*, em inglês e *fiabilité*, em francês) é “a característica (ou aptidão) de um dispositivo, expressa pela probabilidade que este tenha de cumprir uma requerida função em dadas condições durante uma duração determinada”.

Na aplicação dos conceitos de confiabilidade, na integração do pátio ferroviário e terminal portuário, destacam-se a confiabilidade operacional, que depende das condições reais de utilização e do suporte logístico, a confiabilidade previsional (preditiva), que estima uma confiabilidade futura, tendo por base um modelo matemático definido a partir dos dados relativos à concepção da instalação e da confiabilidade estimada dos seus componentes, e a confiabilidade extrapolada, que resulta de uma extensão da confiabilidade operacional com durações ou condições de restrição.

### **Manutenibilidade**

O objetivo principal da manutenibilidade é assegurar que uma instalação mantenha-se com nível de desempenho suficiente para executar as tarefas a ela atribuídas, ou seja, controlar a taxa de degradação da disponibilidade dos equipamentos ou componentes.

### **Disponibilidade**

A razão da existência de uma organização é o atendimento da demanda de clientes. Para a organização atingir seus objetivos, os sistemas que a compõem devem estar disponíveis para cumprir as funções para os quais foram criados. Nesse contexto, a disponibilidade do pátio ferroviário e do terminal portuário está associada às funções que devem desempenhar para o atendimento dos requisitos dos clientes.

Em resumo, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade são passíveis de poder ser interpretados como medidas do tempo:

- Disponibilidade: medida do intervalo de tempo durante o qual o sistema funciona, em relação ao tempo total;
- Confiabilidade: medida do tempo durante o qual o sistema funciona antes que ocorra uma falha;
- Manutenibilidade: medida de tempo durante o qual o sistema é falho, antes de recomeçar a funcionar.

A segurança requerida no ambiente do transporte marítimo internacional e das operações portuárias tem sido regulamentada por meio de mecanismos como regras e códigos, por governos e organismos internacionais como: IMO (*International Maritime Organization*), ILO (*International Labour Organization* – Organização Internacional do Trabalho), pelo ISPS code (*International Ship and Port Facility Security Code* – Código Internacional de Segurança nas Instalações em Portos e Navios), MARPOL (*Maritime Pollution referring to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*- Poluição marítima – refere-se à Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição de Navios), SOLAS (*Safety of Life at Sea Convention* – Convenção da Segurança da Vida no Mar), CSI (*Container Security Initiative* – Segurança em Contêiner) e *24-hour Advance Vessel Manifest Rule* (Regra do Manifesto de Carga no Navio antes de 24 horas).

Os mecanismos de segurança têm sido apontados como agentes de uma maior eficiência logística, pela rapidez da inspeção com *scanners*, por permitir acompanhar em tempo real navios e sistema de controle de portos, pela redução dos custos com seguros, multas e riscos de exposição, além da proteção ao comércio legal e evasão de divisas, da maior previsibilidade e visibilidade da cadeia de suprimentos.

### **3.5.3 Componente Humano no Ambiente Portuário e Ferroviário**

A experiência tem mostrado que os acidentes nunca têm uma única causa. Sempre existe uma cadeia de eventos e deficiência que levam a acidentes. As causas sempre levam a fatores de gestão, organizacionais e de interface humana.

O ambiente das operações de transporte portuário e ferroviário é caracterizado por componentes automatizados, mas sempre existe algum grau de intervenção do sistema humano. Um grande número de acidentes e altos custos econômicos têm

ocorrido envolvendo erros humanos nos sistemas de transporte de um modo geral e de modo específico em terminais portuários e ferroviários.

Assim, encontram-se muitos fatores do sistema humano que, em interação com o terminal portuário ou pátio ferroviário, influenciam diretamente ou indiretamente a ocorrência do erro humano.

Segundo DHILLON (2007), no ambiente portuário, os principais são a fadiga, os sistemas de comunicação deficientes, as falhas no projeto da automação, o conhecimento técnico geral e específico dos elementos componentes deficientes, a ausência de políticas, as práticas e os padrões e o ambiente naturalmente perigoso.

No caso do ambiente ferroviário, algumas tarefas mais propensas a erros são manutenção de veículos ferroviários, manutenção de linhas, manutenção de sistemas/equipamentos de linha, atividades de carregamento de vagões, atividades de controle de mudança de vias, atividades de recepção e liberação de trens e de condução de locomotivas (DHILLON, 2007).

Os locais mais propensos à ocorrência de erros humanos nas operações ferroviárias são em passagens em níveis, nas velocidades de trens e sinalização e no despacho de trens. As passagens em nível são destacadas em função do conflito entre trens e ou entre trens e outros veículos. Especialmente nos acessos aos terminais portuários brasileiros, onde a ferrovia também foi impactada pelo crescimento urbano desordenado, com o aumento do número de passagens em nível e das invasões das linhas de acesso ferroviário aos terminais portuários. Esse problema tem sido apontado pelos operadores ferroviários como a principal causa de acidentes e de redução da velocidade de tráfego (ANTF, 2011).

Segundo, DHILLON (2007), as principais causas de ocorrências de erros humanos em sinais de passagens são falhas ao ver o sinal devido à pouca visibilidade, ao desrespeito ou à negligência com o sinal e ao julgamento errôneo da eficiência de frenagem em condições específicas como: mau tempo, velocidade acima do limite com relação ao desempenho de freios e avisos de distâncias, sonolência do motorista, aspecto confuso da sinalização, mau julgamento da aplicação do sinal ao trem específico.

## **Redução do impacto do erro de pessoas sobre o sistema de transporte**

A confiabilidade do sistema é impactada pelo número de pessoas envolvidas. Por um lado, se a redução do número de pessoas pode implicar em menor capacidade da operação, por outro, o sistema pode operar melhor quando máquinas ou *softwares* compreendem melhor os parâmetros críticos do sistema. Entre as abordagens de integração com sistemas humanos que contribuem com a redução do impacto, DHILLON (2007) destaca:

- Medidas de aplicação de princípios de projeto de engenharia, simplificação de tarefas e análise da probabilidade de erros;
- Projeto do sistema tolerante a erros, o sistema reconhecer que um erro ocorreu bem como ser capaz de corrigir o erro após priorizar o dano;
- Aumentar o tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures*) pode ser projetar ou selecionar subsistemas ou partes do sistema que sejam altamente confiáveis, bem como projetar interfaces que aperfeiçoem o uso desses componentes.

Além das atividades, DHILLON (2007) divide os fatores que contribuem a erros em quatro categorias: condições para ações operacionais – ambiente tecnológico e ambiente físico; ações de operadores – erros baseados na capacitação, erros de decisão e rotina de violação; fatores de supervisão – supervisão deficiente e planejamento operacional inadequado; e fatores organizacionais – processos organizacionais e gerenciamento de recursos.

### **3.5.4 Equipamentos e Instalações no Ambiente Portuário e Ferroviário**

A segurança de equipamentos e instalações do terminal portuário e do pátio ferroviário deve ser considerada desde o ambiente do projeto e do ponto de vista da confiabilidade da manutenibilidade e da disponibilidade.

Segundo ISLER e WIDMER (2010), os fatores que afetam a velocidade dos trens podem estar associados ao projeto original da via e às políticas de uso e manutenção. Entre os redutores potenciais apontam-se as condições estruturais de pontes, viadutos e túneis por limitarem os carregamentos e as condições operacionais nos desvios e passagens em nível.

No caso da ferrovia, a manutenção da linha pode facilitar o deslocamento de trens e pode reduzir o custo de manutenção. Assim, o projeto balanceado entre qualidade da linha, raios de curvas e por outro lado a conicidade das rodas e a rigidez da ligação entre vagões, permitem uma melhor interface entre linha e trem.

O monitoramento dos componentes que podem provocar falhas críticas deve ser feito de maneira tal que a manutenção é focada onde é necessário e as faltas detectadas antes que elas afetem a operação, minimizando os impactos na rede. Programação das operações combinada com a gestão da manutenção pode reduzir os custos com equipamentos e reduzir paradas desnecessárias.

### **3.5.5 Meio Ambiente Portuário e Ferroviário**

A percepção do ambiente portuário e ferroviário como um sistema ambientalmente eficiente envolve considerar o consumo energético e os diferentes tipos de poluição.

Medidas de redução do carbono como um controle inteligente do consumo de energia, treinamento de condutores de veículos e equipamentos podem trazer benefícios importantes. Segundo DHILLON (2007), a redução de carbono pode ser encontrada pela troca de combustíveis derivados de petróleo por outras fontes de energia. Além desses, o uso de novas tecnologias como energias renováveis, como biocombustíveis, equipamentos híbridos e controles de velocidades.

No caso da ferrovia, o uso da eletricidade é considerado uma tecnologia madura e um modo eficiente de transferência de energia de uma estação de força para o trem. Entretanto, o alto custo de capital de implantação em toda rede de transporte compete com outros gastos prioritários, além de aumentar a vulnerabilidade da rede a ataques de vandalismo. Além da questão do consumo energético, o impacto sonoro provocado pela ferrovia pode ser importante, especialmente no caso de proximidade com áreas urbanas.

O terminal portuário pode ser caracterizado por um ambiente industrial e, portanto, característico de ruídos e emissão de gases dos equipamentos de grande porte que circulam no ambiente. Além desses, a proximidade com mananciais de águas torna maiores os riscos de derramamento de cargas perigosas e ou óleos lubrificantes, de combustíveis e, ou ainda, de águas de lastros contaminadas, impactando tanto as águas como o solo das áreas do terminal portuário.

### 3.6 DECISÕES NO TERMINAL DE CONTÊINERES

Esta seção tem por objetivo dar uma introdução ao foco da pesquisa. Os principais problemas que ocorrem em um terminal de contêiner serão discutidos, além das questões do planejamento da integração entre operações.

A partir de um determinado cenário de volumes de contêineres a serem processados, pode-se estabelecer os principais parâmetros do planejamento, como a estrutura física, considerando as acessibilidades do terminal, o sistema de manuseio, a estrutura do sistema logístico e o tamanho do pátio. De acordo com SAANEN (2004), a estrutura física do terminal está fortemente relacionada com a acessibilidade, o conceito logístico e o sistema de manuseio.

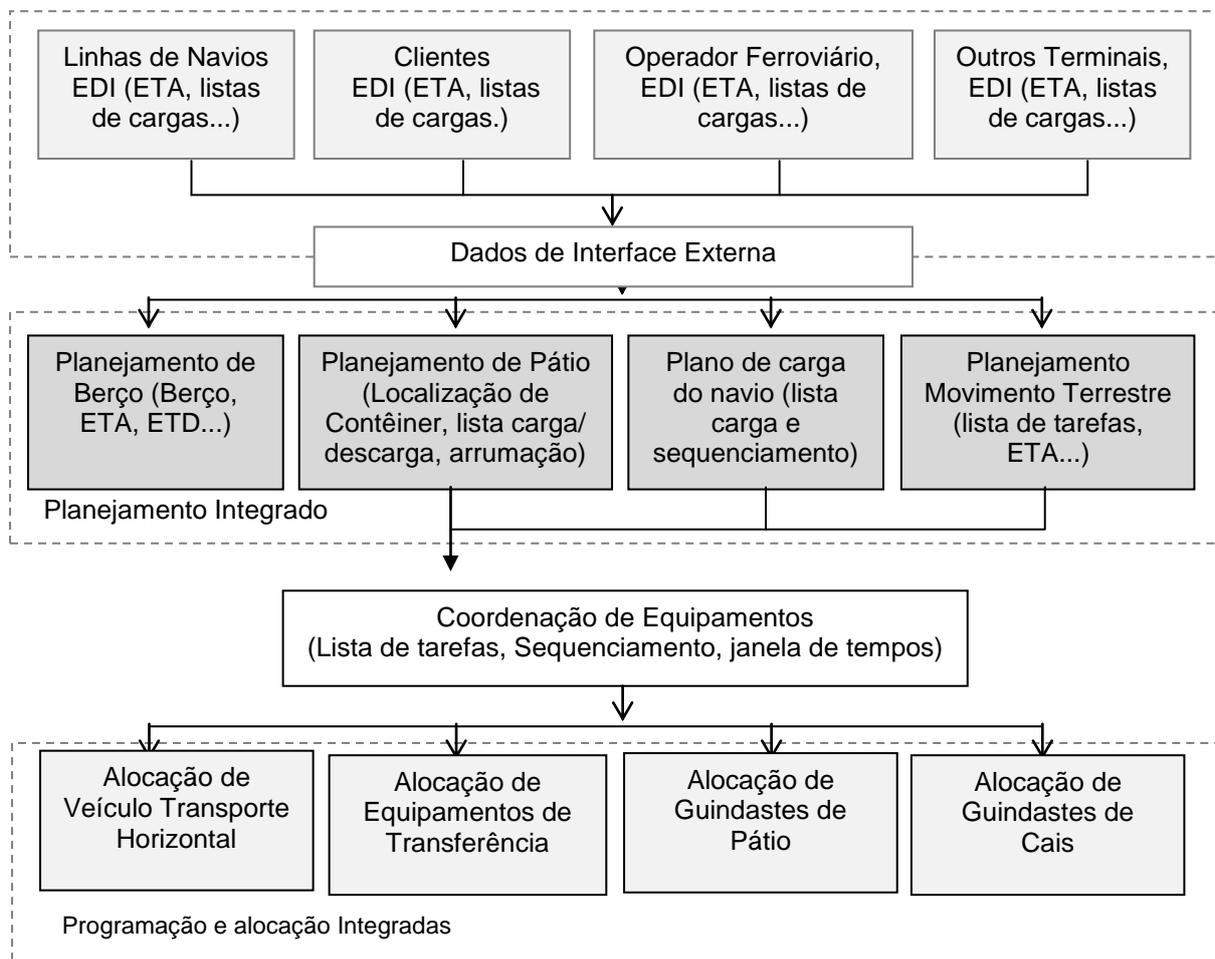
**Acessibilidade do Terminal:** Deve ser considerada em função das duas interfaces: Do lado marítimo tem-se a profundidade e largura do canal de acesso e a profundidade e comprimento do berço de atracação, além da característica da área de fundeio (águas abrigadas e profundas). Do lado terrestre, o congestionamento e pontos de interseções nos acessos dos modos rodoviários e ferroviários, além da amplitude da área de influência na captação de cargas em direção ao interior.

**Sistema de Manuseio:** Esse é formado pelo conjunto de equipamentos usados no transporte, na transferência e na estocagem de contêineres. A seleção é uma das questões do projeto do terminal e influencia a capacidade de processamento e o *layout*. O objetivo é balancear a capacidade de estocagem com capacidade de manuseio por serem esses dois fatores determinantes da funcionalidade do terminal. Além da questão do balanceamento, existe a questão do *trade-off* entre capacidade de estocagem e manuseio e custo (operacional e de investimento).

O projeto do sistema de manuseio também interage com o projeto da estrutura física por influenciar no espaço necessário para manobras e também com o projeto logístico devido à possibilidade de o equipamento executar ambas as tarefas de transporte e levantamento ou os locais da transferência.

**Sistema Logístico:** O conceito de controle logístico no terminal segue três procedimentos importantes: o planejamento, a coordenação e programação em tempo real e a execução. Esses procedimentos têm por objetivo integrar as funções a serem executadas e estão baseados nas informações trocadas entre o terminal e os agentes:

linha de navios, clientes, operador ferroviário e outros terminais, como representado na Figura 3.7.



**Figura 3.7** Controle Integrado das Funções. Baseado em SAANEN (2004)

O planejamento usa a data de chegada do navio e as listas de cargas/descargas e então planeja a alocação do navio no berço e dos guindastes para cada navio.

A alocação dos contêineres no pátio utiliza a programação dos navios, o planejamento do berço e dos guindastes, o plano de carga do navio e o destino final dos contêineres. A localização deve estar relacionada à programação do berço e, portanto, influencia o desempenho do terminal. De acordo com SAANEN (2004), as alocações de equipamentos para a realização de tarefas são feitas baseadas em informações sobre a localização de veículos e a lista de tarefas a serem executadas e precisam ser coordenadas com todos os recursos para controlar desvios do plano inicial.

A partir do planejamento desses processos, os equipamentos de manuseio e transferência também devem ser coordenados. Têm-se então as programações:

- Veículos de transporte horizontal, como caminhões, na maioria dos portos brasileiros, comboios, AGVs (*Vehicles Auto Guideline*) e *Stradle Carriers* (SC) em grandes portos mundiais;
- Equipamentos de pátio para transferência (para o lado aquaviário e para o lado terrestre);
- Equipamentos para o manuseio de contêineres para carga e descarga terrestre.

As pressões por competitividade do porto têm levado os operadores portuários a buscarem melhorias das suas operações e de suas capacidades. Uma delas é na direção do transporte terrestre, melhorando os procedimentos de interface. Como resultado, também pode contribuir com a distribuição de contêineres na rede de transportes e auxiliar a acomodar o fluxo de carga pelas infraestruturas dos modos de transportes.

O tamanho e o volume de tráfego de contêineres determinam o tamanho e as características do terminal de contêineres e do pátio ferroviário. Baixos níveis de tráfego podem não justificar investimentos em *layout* de pátios separados, equipamentos especiais para movimentação de contêineres e sistemas de tecnologia de informação.

O projeto do terminal deve considerar também o tipo de tráfego e este deve ser analisado sob duas perspectivas: Uma é em relação ao tipo de carga, o qual especifica o tipo de contêiner e as diferentes necessidades de áreas de estocagem e respectiva capacidade do equipamento de transporte. A segunda perspectiva, que classifica o tráfego de forma mais geral, como navios de rotas internacionais e *feeders* ou de cabotagem, por exemplo, envolve a necessidade do terminal de ser flexível no atendimento de diferentes tamanhos de navios, o que vai influenciar na tomada de decisão do projeto do terminal.

Além do volume e do tipo de tráfego, deve-se considerar o equilíbrio desses volumes na distribuição de cargas de importação e exportação, porque o desbalanceamento dos fluxos pode gerar viagens de veículos vazios. Uma forma de reduzir os custos é instalar depósitos interiores que tendem a ser mais baratos.

O tempo é a variável extremamente importante para as operações em portos em geral. Para portos concentradores, tem importância maior devido a estarem mais vulneráveis, como por exemplo, ao tipo de tráfego que necessita de mais manuseio, transferências e de mais coordenação entre tempos de atracação e outras operações do terminal por causa da interdependência dessas.

Para o terminal reduzir o tempo de atravessamento necessita de rapidez e sincronizar as operações de deslocamento de contêineres entre o portão de acesso, o pátio de contêineres, a área de embarque/desembarque e as operações de cais. O tempo de estadia do navio no cais depende da velocidade de carregamento/descarga no navio, de acordo com o plano de carga deste.

Outro fator que influencia é o tempo médio de estadia de contêineres antes de serem transferidos para o destino final. Este tempo afeta o tamanho do pátio ou as especificações da pilha de contêineres.

Os sistemas de manuseio também impactam os tempos de espera de veículos do lado terrestre. Eles levam à necessidade de maiores frotas de contêineres, de veículos e de vagões plataformas e ao aumento do tráfego e de investimento de capital e maiores custos operacionais, os quais se refletem nos valores das tarifas, diminuindo a atratividade do porto para os armadores.

A infraestrutura do terminal, em termos de área disponível, equipamentos e respectiva mão de obra são determinantes. Como a maioria dos terminais de contêineres opera com seus pátios no limite de capacidade, a alta densidade de contêineres e congestionamento de fluxos tem sido uma questão recorrente.

A falta de espaço para expandir a área de pilhas tem levado à busca de soluções, como o depósito de contêineres em pátios próximos ao terminal portuário de contêineres (retroporto), no caso de transporte por caminhões. No caso de contêineres transportados por ferrovia, a tendência é deixar os vagões com contêineres no pátio ferroviário que atende o terminal de contêiner, permitindo a entrega no momento próximo de serem embarcados no navio. Obviamente essa solução pode ser adequada para o terminal de contêineres, mas não para o transportador ferroviário, por representar um tempo maior de ocupação de vagões.

No lado terrestre, a chegada de grande parte de contêineres em caminhões, como nos terminais brasileiros, leva a uma multiplicidade de fluxos que contribuem com o congestionamento e colisões que provocam atrasos nas operações. Além disso, muitas chegadas simultâneas nos portões de acesso geram filas em momentos de pico com reflexos que podem se estender até a utilização de equipamentos. Com o objetivo de minimizar os efeitos das filas, alguns terminais adotam sistemas de agendamento das chegadas ao terminal.

Do lado do pátio ferroviário, a habilidade do pátio para atender o volume de tráfego no terminal de contêineres depende dessas operações e de planejamento dos elementos:

- Infraestrutura: *Layout*, comprimento de linhas, tipos de ligações com o terminal portuário e equipamentos de tração (locomotiva de manobras);
- Operacionais: Planejamento do pátio e treinamento da mão de obra, sistemas de controle e informação;
- Planejamento geral de trens da rede de transporte que possam atender a demandas de clientes.

Considerando-se a ocorrência de uma determinada demanda por transporte de contêineres por trem, da acessibilidade da ferrovia e a localização das cargas características no Brasil, a superioridade da capacidade de transporte da ferrovia em relação à rodovia é inquestionável. Assim, a chegada de contêineres ao terminal portuário por trens deve permitir que um número maior de contêineres chegue ao terminal em um dado instante, ao mesmo tempo em que pode reduzir o congestionamento nos acessos. Entretanto, pode-se esperar que impliquem na necessidade de equipamentos com maior velocidade na movimentação de contêineres e ou maior capacidade de recepção e empilhamento de um número maior de contêineres, em um dado instante do pátio de contêineres.

Por outro lado, a organização da pilha de contêineres no pátio também pode ser melhor planejada se associada à utilização de equipamentos de descarga organizados ao longo da linha de recepção ferroviária, de forma a reduzir o tempo de descarga do lado terrestre da pilha de contêineres, e permitir a alocação de equipamentos mais ágeis do lado aquaviário da pilha associados aos equipamentos de carga e descarga de navio.

Do exposto, pode-se verificar que a análise dos processos com contêineres requer considerar a incerteza nos parâmetros ou informações resultantes da execução de um

programa. De acordo com WONG (2008), as principais incertezas podem ter origem em:

- No tempo de manuseio e transferência de equipamentos de pátio;
- No tempo de carga/ descarga devido a mudanças das condições climáticas;
- Atrasos nas chegadas de caminhões ou trens (para retirar contêineres e liberar as áreas para os que estão chegando) e atraso ou antecipação de navios;
- Mudança na prioridade de atendimento a navios;
- Informação indisponível, inexistente ou incompleta;
- Nível tecnológico de equipamentos e quebras de máquinas;
- Acidentes no local de trabalho e questões relacionadas à mão de obra.

Essas incertezas podem ser associadas com a estrutura física das instalações da transferência intermodal, com a estrutura organizacional, com a segurança operacional e com a eficiência intermodal.

### **3.7 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES OPERACIONAIS**

Da discussão na seção anterior, ficou demonstrada a necessidade de pesquisa dos atributos mais relevantes na transferência intermodal, em função da multiplicidade de fatores envolvidos nessa operação. Outra consideração importante está relacionada ao local da transferência, por afetar a decisão da configuração de transferência de contêineres. Como as decisões devem ser cada vez mais rápidas, devem estar fundamentadas em bases de informação sistêmicas e com isso direcionar estratégias de projeto e de operações. Tais decisões, no mundo atual de negócios, requerem cada vez mais uma visão ampliada, além da visão financeira, mas também com ganho de conhecimento em termos de segurança e da eficiência das operações associadas às estruturas física e organizacional.

Nesse contexto, as hipóteses operacionais para serem posteriormente testadas e validadas podem ser formuladas como:

- Quais as variáveis que caracterizam as operações de transferência intermodal?
- Existe alguma relação entre os atributos de eficiência, da estrutura física, da segurança operacional e da estrutura organizacional do terminal e do pátio ferroviário com a configuração da transferência intermodal?
- É possível identificar a criticidade dos locais da transferência intermodal em relação a esses atributos?

- É possível desenvolver um modelo que integre as atividades da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres?

### **3.8 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO**

O estabelecimento de um procedimento que considere os processos de interface do terminal de contêiner e ferroviária envolve investigar as atividades funcionais nos níveis conceitual e analítico. Da revisão bibliográfica e das discussões anteriores, observa-se a dificuldade de desenvolver um modelo capaz de representar tais processos em função da multiplicidade de fatores e ao mesmo tempo abranger as variabilidades dos elementos em que considere as incertezas operacionais.

Essas dificuldades, quando somadas às influências econômicas dos operadores de transporte marítimo nas operações do terminal, têm levado os pesquisadores a enfatizar as questões da interface dos elementos do lado aquaviário, em detrimento dos elementos do lado terrestre.

Diante disso, existe a necessidade de:

- Identificar os componentes que estão diretamente associados à transferência intermodal entre a multiplicidade de elementos existentes;
- Identificar os atributos que caracterizam a integração dos diferentes processos e tecnologias do terminal de contêiner com processos e tecnologias do pátio ferroviário;
- Definir um procedimento para a seleção dos critérios que melhor caracterizem a transferência intermodal ao mesmo tempo em que considerem as muitas incertezas;
- Auxiliar na decisão do local da transferência que melhor contribui com a integração do pátio ferroviário com o terminal de contêineres e, portanto, do desempenho da intermodalidade.

#### **4. METODOLOGIAS PARA ABORDAGEM DA INTEGRAÇÃO**

A seleção da metodologia é uma fase crítica da pesquisa. De acordo com MÉLÈSE (1967), a importância da identificação do método é que este deve expressar a finalidade do sistema. No capítulo anterior, questionou-se a necessidade de ligar o nível conceitual e analítico e, portanto, identificar e justificar as metodologias em potencial para o problema de pesquisa proposto.

Neste capítulo, o objetivo é descrever as metodologias identificadas neste trabalho para tratar o problema da análise da configuração da transferência intermodal entre o pátio ferroviário e o terminal portuário, apresentando-se os fatores relevantes que possam auxiliar na solução dos problemas existentes e na validação da modelagem proposta.

A descrição funcional foi feita anteriormente nos capítulos dois e três. Esta caracteriza as ações no nível operacional do planejamento dos elementos pátio ferroviário e terminal de contêineres. O objetivo da descrição foi o entendimento da complexidade das interações e o estabelecimento dos fatores relacionados com o nível de análise do objetivo proposto. A caracterização da transferência está situada no ambiente de longo prazo mas que se reflete no ambiente operacional. Portanto, a visão da configuração da transferência deve ir além das operações e envolver os aspectos da eficiência e segurança operacional e envolver os aspectos que a retratam como as estruturas física e organizacional.

Tanto a ferrovia como o terminal de contêineres são instalações de engenharia complexas, com ativos de longa duração, e toda e qualquer mudança requer uma visão de engenharia integrada, incorporando tanto as mudanças nos sistemas de transporte, nos sistemas de interface que utilizem o melhor da tecnologia disponível, bem como novos sistemas de gestão.

##### **4.1 COMPREENSÃO DA INTEGRAÇÃO ENTRE FERROVIA E PORTO**

Os problemas logísticos dos portos têm sido discutidos praticamente por todos os agentes envolvidos e nas universidades. Muitas soluções têm sido apontadas, como por exemplo, a implantação da intermodalidade por meio da ferrovia e serviços de transporte *feeder* ou cabotagem, a integração de informações e documentos por meio

das chamadas “janelas únicas”, que buscam a eliminação de papéis e a localização de terminais aduaneiros fora do porto, como os portos secos ou terminais retro portuários, liberando espaços nos pátios de terminais portuários, entre outros.

De maneira genérica, um terminal intermodal exerce a função de regulação do fluxo por permitir que as operações de transporte ocorram por rotas e modos alternativos, atuando como concentrador e distribuidor de cargas, o que também acontece no terminal portuário. A transferência de contêineres entre o terminal portuário e o pátio ferroviário caracteriza uma transferência intermodal.

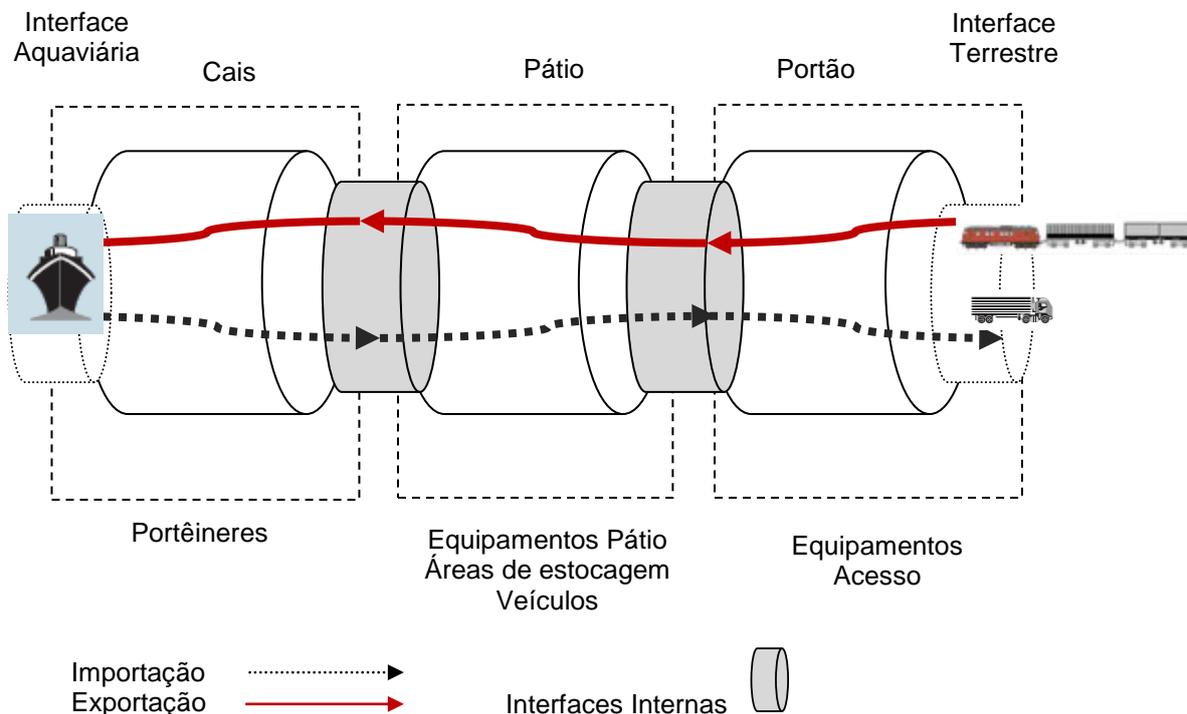
Na operação intermodal, para que essa atinja todos os ganhos previstos, o tempo de execução das transferências é fundamental. Como consequência, para a obtenção da sincronia entre operações, faz-se necessário uma maior integração das operações. No caso da ferrovia, não somente do ponto de vista do pátio receptor de cargas no interior, mas principalmente do pátio da rede de transporte ferroviário que faz a interface com o terminal portuário. A importância deste pátio é devida ao papel de terminal regulador de contêineres que acaba exercendo nas operações de transferência.

Dessa forma, o equilíbrio necessário, entre os diferentes componentes, depende da capacidade do pátio ferroviário atender o terminal de contêineres, de acordo com a demanda de carregamento do navio sendo carregado ou até o limite da capacidade de estocagem de contêineres. Assim, as operações devem ser sincronizadas de tal forma que os contêineres trazidos ao terminal sejam depositados no pátio de contêineres de forma a sofrerem o mínimo de movimentos possíveis antes do embarque, ao mesmo tempo em que ocupem um tempo mínimo de armazenagem.

As dificuldades pertinentes podem ser observadas, por exemplo, a partir da programação do navio, das atividades de alocar navios aos berços, de planejar o sequenciamento de pórticos de cais, de planejar áreas de embarque e desembarque, de carga e descarga, de áreas de pátio e de planejar onde as entregas vindas do pátio ferroviário devem ser entregues no terminal.

As interfaces com os modos de transporte tendem a ditar o ritmo do sistema, como ilustrado na Figura 4.1. As taxas de recepção e entrega de contêineres afetam os fluxos da importação, da exportação e do transbordo. Conseqüentemente, afetam os principais indicadores de produtividade dos terminais. Existe uma necessidade de

coordenação de todas as partes que é fundamental para uma melhor distribuição dos picos de demanda de movimentação de contêineres.



**Figura 4.1.** Interfaces entre Áreas do Ambiente Portuário. Baseado em HENESEY (2004).

Observa-se que, existe uma dependência dos sistemas de transporte intermodal do processo, pelo qual os contêineres são transferidos entre o navio e a ferrovia. A relação entre pátios ferroviários e terminais de contêineres pode ser classificada de acordo com sua posição relativa ante o terminal marítimo, visto anteriormente no capítulo três como: na doca, dentro do limite do terminal e dentro da área aduaneira ou junto ao portão do terminal e fora da área aduaneira.

A análise dessas diferentes configurações de locais de troca de modo de transporte será objeto de tratamento no Modelo de Integração das operações entre pátio ferroviário e terminal de contêineres.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é estabelecer um modelo para a análise da transferência intermodal que contribua para a integração entre o pátio ferroviário de interface e o terminal de contêineres, identificando os fatores mais relevantes para a caracterização da transferência com conseqüente melhoria no desempenho do terminal de contêineres.

## 4.2 MÉTODOS POTENCIAIS PARA O PROBLEMA DA PESQUISA

Os terminais de contêineres têm sido estudados e representados por meio de vários enfoques e técnicas. Para melhor compreender as várias metodologias, torna-se necessário estabelecer os conceitos básicos de sistema, modelo e complexidade.

### 4.2.1 Conceitos Básicos

- **Sistema:** Encontram-se na literatura técnica diversas definições para sistemas. Neste trabalho, adota-se a concepção de PEREIRA (2009), que o define como “um conjunto determinado de elementos discretos (componentes ou subsistemas) interconectados ou em interação dinâmica, organizados e agenciados em função de um objetivo, fazendo o referido conjunto objeto de um controle”. Essa definição traz, ao mesmo tempo, inseridas as noções teórica e experimental perceptíveis de forma intuitiva, além de expressar as características de totalidade, objetivo comum e dinamismo próprio, intrínsecos a todos os sistemas, incluindo a regulação.

Os elementos do sistema possuem certas características ou atributos aos quais podem ser associados valores numéricos. Existem relações internas que condicionam as interconexões entre os elementos e relações externas, as quais não fazem parte do sistema, mas que ligam o sistema ao meio ambiente e com ele se relacionam. Além disso, o sistema é afetado pelas entradas (*inputs*) vindas do ambiente externo, as quais são transformadas no interior do mesmo, resultando em saídas (*outputs*). O comportamento dinâmico do sistema é definido pela sequência de entradas e saídas ao longo do tempo. O estado do sistema é a caracterização do sistema em um instante de tempo, ou seja, pelos valores numéricos ou lógicos dos atributos dos elementos do sistema.

- **Complexidade:** Em estudos sobre sistemas complexos, MAGEE e WECK (2004) usaram conceitos de taxonomia para classificar sistemas complexos em termos de similaridades e diferenças. Segundo MAGEE e WECK (2004), os sistemas complexos podem ser examinados por meio de muitos métodos como: grau de complexidade, área econômica, existência (física ou virtual), limite, origem, dependência do tempo, estados do sistema, envolvimento humano, a propriedade e o tipo funcional em relação ao que operam (matéria, energia, informação ou valores).

Em relação à complexidade, segundo SENGE (2006), encontram-se dois tipos de complexidade: de detalhes e a dinâmica. A complexidade de detalhes está associada com sistemas que possuem muitos componentes, enquanto a complexidade dinâmica está associada com sistemas que têm causas e efeitos separados no tempo e ou espaço. Nesta última, a principal dificuldade está em ver as conexões entre componentes do sistema e suas interações. Segundo VULLIERME (1965 *apud* PEREIRA 2009), a complexidade não é definida apenas pelo número de variáveis, mas pela variedade de níveis lógicos de interação entre elas.

Nesse sentido, tanto GIACHETTI (2010) como PEREIRA (2009) destacam que, em situações de sistemas com muitos componentes e ou significativas interações entre os componentes, a abordagem reducionista não permite obter o melhor resultado, como por exemplo, na análise de cadeias de suprimentos e sistemas de transportes.

- **Modelos:** A representação de um sistema real é um modelo que enfatiza alguns aspectos do sistema enquanto exclui outros (GIACHETTI, 2010). Segundo ESTEFAN (2008), dado um sistema, um modelo do sistema consiste na representação dos aspectos selecionados dentro do domínio de interesse do modelador.

Nesse aspecto, algumas definições para modelo, segundo INCOSE (*International Council on Systems Engineering*, 2011), são:

- Uma representação Física, Matemática ou Lógica de um sistema, fenômeno ou processo (DOD, 1994 *apud* INCOSE (2011));
- Uma representação de um ou mais conceitos que podem ser executados de forma física (FRIEDENTHAL *et al.*, 2008);
- A representação simplificada de um sistema do ponto de vista particular no tempo ou espaço com o objetivo de promover a compreensão de um sistema real (BELLINGER, 2004);
- Uma abstração de um sistema, construído para entendimento, comunicação, explanação ou projeto de aspectos de interesse (DORI, 2002).

#### 4.2.1.1 Tipos de Modelos

A formulação de um modelo tem por objetivo ampliar, por meio dele, o conhecimento existente sobre o sistema que representa. Portanto, um modelo pode incluir múltiplas

categorias de domínios e objetivos. O modelo pode buscar a análise, a especificação, o projeto e ou a verificação do sistema. Vários tipos de modelos de sistemas são usados para representar diferentes tipos de sistemas, para atender diferentes tipos de proposições.

Segundo ROUQUETTE e JENKINS (2010), existem muitas formas dos modelos serem classificados. Pode-se considerar os diferentes domínios ou áreas de interesse que representam como:

- Propriedades do sistema (confiabilidade, modelos estruturais ou térmicos, entre outros);
- Projetos e implementação de tecnologia (elétrica, mecânica, *software*, entre outros);
- Subsistemas e produtos (comunicações, gerenciamento de falhas, de distribuição de energia, entre outros);
- Aplicações do sistema como sistemas de informação, automotivos, aeroespaciais, entre outros.

Segundo GIACHETTI (2010), entre os muitos tipos de modelos, destacam-se os modelos analíticos, não analíticos e computacionais.

*Modelos analíticos* são modelos matemáticos e portanto permitem analisar e fazer previsões relacionadas às decisões sobre o sistema. Na solução de problemas usando modelos matemáticos, os sistemas são representados por variáveis, parâmetros e suas relações lógicas e algébricas. As variáveis podem ser endógenas ou exógenas (independentes, podendo ser controláveis ou não). Os parâmetros são quantidades constantes que influenciam os valores das variáveis endógenas. Relações algébricas e lógicas descrevem o modo pelos quais os parâmetros e variáveis se combinam no modelo, determinando valores das variáveis endógenas.

Modelos analíticos podem ser subdivididos em função da incerteza em *determinísticos*, nos quais todas as variáveis do modelo têm quantidades conhecidas, ou *estocásticos*, em que a incerteza de sistemas reais é representada por variáveis randômicas. Outra forma de subdivisão ainda pode ser se eles têm por objetivo a *geração* ou *avaliação* de soluções (GIACHETTI, 2010).

Modelos de *geração* buscam “gerar” a solução ótima para atender algum objetivo. Como exemplo de técnicas de geração de solução, tem-se técnicas de otimização

como a programação linear. Em problemas muito complexos, com muitas variáveis e com aspectos dinâmicos, a solução exata pode não ser obtida (CHWIF e MEDINA, 2010). Nesse caso, a busca está voltada para encontrar uma boa solução factível, como por meio de técnicas empíricas que desenvolvem algoritmos heurísticos. Esses algoritmos não podem obter a solução ótima, mas podem fornecer a solução factível e por isso são chamadas de técnicas subotimizantes. Entretanto, heurísticas tratam os problemas de forma independente. Entre esses se encontram os chamados Metas-Heurísticas que consistem em estratégias de pesquisa combinadas com algoritmos heurísticos com o objetivo de encontrar a melhor solução, como por exemplo, *Tabu-Search* (TS), *Simulated Annealing* (SA) e Algoritmos Genéticos (AG) (CHWIF e MEDINA, 2010).

Modelos de *avaliação* buscam modelar dados de entradas e avaliar as saídas como solução, simulando vários cenários possíveis (CHWIF e MEDINA, 2010). Segundo SHANNON (1975), a simulação procura representar o ambiente mais complicado do mundo real e dar a ideia da interação entre os vários subsistemas. Para GORDON (1969), é a colocação de um sistema não real, de acordo com as propriedades e características de comportamento de um sistema real, e representar o modelo. Depois do modelo desenvolvido, estudar as características e propriedades do sistema. O modelo é sensível a manipulações que seriam impossíveis, muito caras ou de execução impraticável nas entidades que representam (NAYLOR, 1968). Com a inclusão de vários parâmetros, estratégias operacionais ou de projeto, obtêm-se diferentes resultados para diferentes cenários estabelecidos, podendo-se escolher a melhor solução para os parâmetros definidos. Entretanto, nem sempre é praticável gerar todos os cenários possíveis, ou o tempo de desenvolvimento é muito grande e, além disso, a simulação não resolve problemas de otimização.

De acordo com GIACHETTI (2010), modelos de simulação são modelos *computacionais* que descrevem o sistema matematicamente como uma função do tempo. Exploram a capacidade dos computadores em processar informações de maneira rápida, podendo representar as variações do comportamento do sistema no tempo e normalmente são chamados de modelos de simulação. (Modelos podem ser classificados ainda em *dinâmicos* e *estáticos* – Os modelos dinâmicos descrevem o estado de um sistema variando no tempo, enquanto os estáticos representam o sistema em um instante).

A simulação computacional consiste em um modelo analítico que pode ser executado por um computador, dadas as condições iniciais para executar o modelo. Os diferentes tipos de simulações são baseados nas características: *estocástica* ou *determinística*; *estática* ou *dinâmica*; *discreta* ou *contínua*; *local* ou *distribuída* (LAW, 2007). Simulações *determinísticas*, dadas as condições iniciais, replicam o mesmo comportamento do sistema toda vez que o modelo é resolvido. Modelos de simulação *estocástica* usam variáveis randômicas e, para as mesmas condições iniciais, o comportamento do sistema muda cada vez que o modelo de simulação é resolvido. Os modelos podem ainda ser divididos de acordo com o tipo de simulação em: simulação de *eventos discretos* – quando assumem que o estado do sistema muda de modo discreto no tempo – ou *contínuo* – quando o estado do sistema muda continuamente em função do tempo (GIACHETTI, 2010).

Modelos *não analíticos* são modelos descritivos que representam uma visão estática do sistema do ponto de vista de tempo. Estes não podem ser simulados e portanto não são usados para análise quantitativa por não possuírem valores quantitativos. Entretanto, a análise qualitativa permite compreender os fluxos no sistema ou comparar diferentes estruturas. Tais modelos têm sido usados com frequência como entradas de modelos computacionais para análise (GIACHETTI, 2010). Entre os modelos não analíticos, podem-se citar os modelos indicativos simbólicos, os quais são modelos conceituais (abstratos) que procuram representar sob a forma visual estruturas complexas e esclarecer os processos que nelas ocorrem, bem como as funções que seus componentes executam, sendo modelos descritivos abstratos da realidade (PEREIRA, 2009). São muito úteis porque fornecem uma interpretação física a operações matemáticas abstratas.

Segundo CHWIF e MEDINA (2010), a simulação e a otimização têm sido usadas de maneira conjunta na tentativa de resolução de problemas complexos. Nesse caso, o termo SO (*Simulation Optimization*) é um problema de otimização em que a função objetivo ou as restrições ou ambas somente podem ser avaliadas pela simulação. O autor afirma ainda que, apesar das muitas vantagens, ainda apresenta limitações, mesmo com o avanço na capacidade de processamento computacional.

Além disso, CHWIF e MEDINA (2010) afirmam que muito poucos relatos têm sido encontrados, sobre otimização das características estruturais e das políticas operacionais de um sistema que podem ser estudadas em um modelo de simulação. Nesse caso, cada avaliação da função objetivo, poderia requerer alterações estruturais

no modelo e isso torna as técnicas tradicionais de otimização de variáveis pouco aplicáveis. Ou em outra situação, quando os métodos lidam com uma única função objetivo, embora exista mais de um objetivo – a função objetivo deveria conter pesos relativos para cada um dos objetivos.

Segundo CHWIF e MEDINA (2010), os sistemas reais apresentam uma maior complexidade devido à natureza dinâmica e aleatória. A programação do mundo real está exposta ao ambiente de incerteza. (Entre essas incertezas, algumas são de natureza estocástica, como por exemplo, tempos de processamento de máquinas, enquanto outras são menos previsíveis, como por exemplo, o atraso de trens e a quebra de máquinas).

Um modelo especial pode incluir aspectos descritivos e analíticos ou favorecer um ou outro aspecto. As relações lógicas de um modelo descritivo possibilitam que se façam análises e inferências sobre comportamento do sistema. Entretanto, a análise lógica fornece uma visão diferente da análise quantitativa dos parâmetros do sistema e ambos os modelos descritivos e analíticos representam domínios específicos.

#### **4.2.2 A Abordagem da Teoria de Sistemas**

Encontram-se muitos tipos de expressões para caracterizar o conhecimento de sistemas, em particular ciência de sistemas, conceitos de sistemas, abordagem sistêmica e Teoria de Sistemas.

De acordo com GIACHETTI (2010) e PEREIRA (2009), o trabalho de BERTALANFFY (1968), biólogo austríaco, entre outros pesquisadores, contribuiu para a criação da Teoria Geral de Sistemas. A proposição de BERTALANFFY trouxe a unificação de conceitos e técnicas de sistemas nos diferentes campos da ciência. Embora o caráter empírico das suas pesquisas, dois conceitos se destacaram: o de sistemas abertos e o de organismo, o qual pode ser comparado a um sistema organizado em suas partes que estão interligadas e desenvolvem uma ação contínua, podendo variar no tempo.

Essa contribuição levou a importância da visão do todo, em contraponto com a tendência de reducionismo e de especialização da ciência, em áreas isoladas. Esta afirmação permite estabelecer que o comportamento do sistema não pode ser explicado pelas suas partes constituintes e que as características do sistema são

resultantes da interação entre os seus componentes e também do ambiente, no caso de sistemas abertos.

Segundo MINGERS e WHITE (2009), muitos dos conceitos de “abordagem sistêmica”, que são agora pontos centrais em seus campos, foram inicialmente explorados desde os anos 1940, 1950 e 1960. Entre esses, PEREIRA (2009) destaca WIENER (1948), ASHBY (1956), FORRESTER (1956), ZADEH (1969), KLIR (1969), MESAROVIC (1971), KALMAN (1969), WYMORE (1967, 1993), entre outros.

MINGERS e WHITE (2009) identificaram como ponto comum entre as abordagens, que todas começam com a compreensão de que todo o conhecimento de sistemas é decorrente das representações simplificadas ou modelos, mas que as abordagens divergem ao enfatizar diferentes aspectos teóricos e de comportamentos de sistemas. Embora as muitas variações, as raízes comuns nos conceitos básicos de sistemas significam que sempre existe a possibilidade de conexão entre as abordagens e que isso é evidenciado pelo crescente interesse na combinação dessas.

Além disso, MINGERS e WHITE (2009) salientam que o número de aplicações tem sido alto e tem contribuído de modo amplo em várias áreas, especialmente em *layouts*, modelos integrados de sistemas de produção, logística, gestão da cadeia de suprimentos, qualidade, sistemas de manufatura avançados, gestão de projeto e sustentabilidade entre outros. Entende-se que transferência intermodal entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres pode ser uma aplicação cabível.

De acordo com PEREIRA (2009), a evolução até o momento atual apresenta a Teoria Geral de Sistemas embasada em um procedimento lógico-formal de natureza matemática e, portanto, abstrata, o que permitiu a grande difusão em todas as áreas do conhecimento científico. Assim, caracteriza-se por sua generalidade e sua natureza abstrata e por permitir relacionar as propriedades matemáticas dos sistemas sem levar em conta a natureza física dos componentes.

Essas características orientam o estudo segundo duas linhas: uma considera a Teoria de Sistemas como uma ciência estruturada axiomaticamente, baseada na noção de objeto abstrato – é a teoria matemática de sistemas e ratificada por estudiosos como KALMAN (1969), MESAROVIC (1971), ZADEH (1969) e KLIR (1969), só para citar alguns. A segunda utiliza conceitos e metodologia da teoria matemática de sistemas, mas baseada no objeto físico.

A TGS trata um sistema físico como uma coleção de objetos físicos ligados entre si por um número finito de interfaces. Entretanto, no caso de objeto abstrato, como em sistemas de transporte, devido à natureza matemática da TGS, o interesse está fundamentado na relação entre os atributos que constituem os componentes dos objetos que fazem parte do sistema. Nessa situação, os atributos são representados como variáveis ligadas entre si por relações matemáticas chamadas de relações terminais por ZADEH (1969).

#### 4.2.2.1 Noções de Objeto Abstrato e Sistema Abstrato

A teoria matemática desenvolvida por ZADEH (1969), baseada na noção de objeto abstrato, resultou em duas definições:

1ª Definição de ZADEH: *'um conjunto de variáveis (atributos), ligadas entre si por um conjunto de relações'*. Assim, um conjunto  $\alpha$  de  $m$  relações com  $n$  variáveis será do tipo:

$$\theta_k ( v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n ) = 0 \quad \text{onde } k = 1, 2, 3, \dots, m, \text{ isto é:}$$

$$\theta_1 ( v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n ) = 0$$

$$\theta_2 ( v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n ) = 0$$

$$\theta_m ( v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n ) = 0$$

Se essas variáveis forem expressas em função do tempo tem-se  $v_i ( t )$  e aplicando-se o mesmo as  $n$  variáveis, obtém-se o vetor  $\underline{v} ( t )$  tal que:

$$\underline{v} ( t ) \triangleq \begin{pmatrix} v_1 ( t ) \\ v_2 ( t ) \\ \vdots \\ v_i ( t ) \\ \vdots \\ v_n ( t ) \end{pmatrix}$$

Por outro lado, se as relações forem especificadas em termos de variáveis de entrada (causas) e variáveis de saída (efeitos), pode-se definir o espaço das funções de

entrada e saída e o espaço dos segmentos, onde as relações terminais tomam a forma de:

$$f_1 ( u_1, u_2, \dots, u_p, y_1, y_2, \dots, y_q ) = 0$$

$$f_2 ( u_1, u_2, \dots, u_p, y_1, y_2, \dots, y_q ) = 0$$

$$f_m ( u_1, u_2, \dots, u_p, y_1, y_2, \dots, y_q ) = 0$$

Ou comprimindo o conjunto das relações ( $\beta$ ) no formato vetorial, como:

$$f_k ( \underline{u}, \underline{y} ) = 0 \quad \text{onde } k = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\underline{u} ( t ) \triangleq \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_i \\ \vdots \\ u_p \end{pmatrix} \quad \underline{y} ( t ) \triangleq \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_q \end{pmatrix}$$

As relações  $\beta$  são chamadas de relações entrada - saída do objeto abstrato  $\theta$ .

2ª Definição de ZADEH: "Um objeto abstrato  $\theta$  é uma família de pares ordenados de funções do tempo".

$$\theta = \{ ( \mathbf{U}_{[t_0, t_1]}, \mathbf{Y}_{[t_0, t_1]} ) \} \quad [t_0, t_1] \in \mathbb{R}_+$$

Sendo:  $\mathbf{U}$  = vetor de entrada de  $\theta = \mathbf{U}_{[t_0, t_1]}$  e,

$\mathbf{Y}$  = vetor de saída de  $\theta = \mathbf{Y}_{[t_0, t_1]}$

Ou seja, uma coleção de pares de entrada - saída  $\theta = \{ ( \mathbf{U}, \mathbf{Y} ) \}$ .

Assim, segundo a condição de fechamento por segmentação:

$$\text{Se o par } ( \mathbf{U}_{[t_0, t_1]}, \mathbf{Y}_{[t_0, t_1]} ) \in \theta \Rightarrow \text{cada segmento de } ( \mathbf{U}_{[t_0, t_1]}, \mathbf{Y}_{[t_0, t_1]} ) \in \theta$$

Ou seja:

- O domínio de um objeto orientado  $\theta$  (2ª definição de ZADEH) por definição consiste em:

$$D (\theta) = \{ \underline{u} \mid ( \underline{u}, \underline{y} ) \in \theta \}$$

Assim,  $\underline{u}$  pertence ao domínio de  $\theta$ , se houver uma saída  $\underline{y}$  que com o par  $(\underline{u}, \underline{y})$  pertença a  $\theta$ .

- O contradomínio de um objeto orientado  $\theta$  é definido por:

$$R(\theta) \triangleq \{ (\underline{y} \mid (\underline{u}, \underline{y}) \in \theta) \}$$

Assim,  $\underline{y}$  pertence ao domínio de  $\theta$ , se houver uma entrada  $\underline{u}$  que com o par  $(\underline{u}, \underline{y})$  pertença a  $\theta$ .

De acordo com PEREIRA (2009), tais definições de objeto abstrato não significam que a cada entrada  $\underline{u} = \underline{u}_{[t_0, t_1]}$ , corresponde a somente uma saída  $\underline{y}$ , devido ao fato de não haver necessariamente uma correspondência biunívoca entre  $\underline{u}$  e  $\underline{y}$  em um objeto abstrato. Essa é a razão para que  $\theta \Delta \{ (\underline{u}, \underline{y}) \}$  não deve ser definido como uma função ou como um operador e sim como uma relação.

Esse entendimento permite caracterizar a relação funcional de um objeto abstrato como capaz de fornecer uma saída  $\underline{y}$  resultante da submissão de uma entrada  $\underline{u}$  e de uma determinada situação interna no instante da entrada, chamada de variável de estado  $\underline{x}$ , como será apresentado posteriormente.

Diante do exposto, apresentam-se as definições para sistema abstrato:

- 1ª definição de ZADEH para um sistema abstrato é: “Uma coleção de objetos abstratos:  $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_n$ , parcialmente interconectados e chamados de subsistemas do sistema. Os subsistemas podem ser orientados ou não, em número finito ou não e associados a um número finito ou infinito de variáveis.”;
- 2ª definição de ZADEH para sistema abstrato é: “Uma coleção de objetos abstratos:  $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_n$ , na qual algumas entradas ou saídas associadas com, por exemplo  $\theta_i$ , , podem ser constrangidas à igualdade, para todo instante  $t$ , com algumas das entradas ou saídas de outros objetos da coleção.”

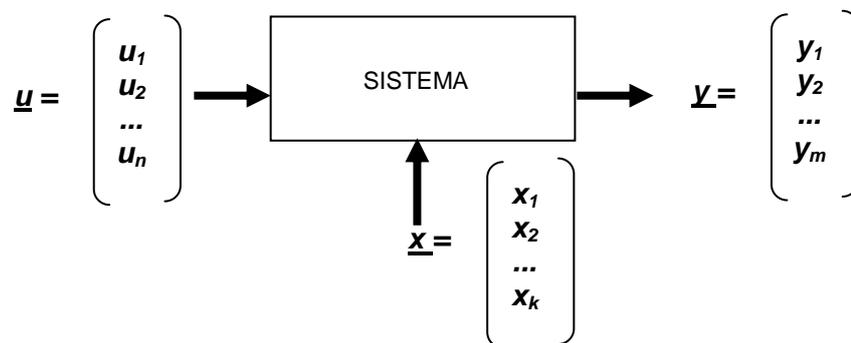
Ou ainda o sistema S é definido pelos conjuntos:  $S = \{ \theta, R \}$ , o qual é constituído de:

- Um conjunto de elementos identificados como atributos variáveis nos objetos;
- Um conjunto de relações entre os atributos;
- Um conjunto de relações entre os referidos atributos e o meio ambiente.

Assim, pode-se entender que um sistema é uma estrutura formada pelo conjunto de relações existentes pela natureza do problema, ligando as partes de um sistema entre si e ao todo.

#### 4.2.2.2 Estado do Sistema

Os elementos utilizados na representação de um sistema dinâmico, como da Figura 4.2, são a entrada ( $\underline{u}$ ) ou alimentação do sistema, a saída ( $\underline{y}$ ) ou resposta do sistema e o estado do sistema ( $\underline{x}$ ), na qual as entradas correspondem a excitações do sistema.



**Figura 4.2** Representação Esquemática de um Sistema (PEREIRA, 2009)

Cabe ressaltar aqui que a saída do sistema depende, em geral, da entrada presente e do atributo interno que caracteriza o sistema em função das ocorrências anteriores, ou seja, do estado do sistema (PEREIRA, 2009). O conceito intuitivo de estado (atual) de um sistema pode ser definido como:

- “a parte da história presente e passada desse sistema que é relevante para a determinação das suas saídas presentes e futuras”;
- “uma memória armazenadora de informações ou ainda um estoque de causas passadas acumuladas”.

Nesse sentido, PEREIRA (2009) afirma que o esperado de um sistema é que o conjunto de estados internos de um sistema seja suficientemente rico para conter e transportar a quantidade de informações a respeito da história, capaz de permitir a predição do efeito do passado sobre o futuro. Informações detalhadas sobre estado do sistema encontram-se em KALMAN (1969), as quais são consideradas, segundo uma definição interna que traz a noção de estado, e uma definição externa, tendo como base a relação entrada-saída.

Definição interna:

- Um conjunto  $T$ , conjunto dos tempos que pode ser contínuo ( $T = [0, \infty]$ ) ou ainda discreto ( $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ );
- Um conjunto  $U$  de valores de entrada  $U = \{ u(t), t \}, t \in T$ ;
- Um conjunto  $Y$ , conjunto de valores de saída  $Y = \{ y(t), t \}, t \in T$ ;
- Um conjunto  $X$ , conjunto não vazio dos estados do sistema;
- Um conjunto  $\Omega$  de funções admissíveis de entrada não vazio:  $\Omega = \{ \omega: T \rightarrow U \}$ ;
- Um conjunto  $\Gamma$  de funções de saída:  $\Gamma = \{ \gamma: T \rightarrow Y \}$ ;
- Uma função de Transição de Estado:  $\varphi: T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X$ ,

A função de transição de estado mostra que um Estado inicial  $x = x(T)$ ;  $x \in X$ , no instante inicial  $T \in T$ , passa pela ação de uma entrada  $\omega \in \Omega$  a um estado  $x(t)$ , no instante  $t \in T$ , dado por:  $x = \varphi (t; T; x, \omega) \in X$ .

Admitindo-se que  $(T, x)$  representa um evento, a função  $\varphi$  permite observar que esse evento se transforma sob a ação de  $\omega$ , definindo-se assim o sistema dinâmico pelo sétuplo:  $\theta = (T, X, U, Y, \Omega, \Gamma, \varphi)$  e uma função ou relação de saída como:

$$\eta: T \times X \rightarrow Y \quad \eta (t, x) = y \quad e \quad t \in T, x \in X, y \in Y$$

Todas essas, respeitando as respectivas propriedades das funções de entrada e das funções de transição de estado.

A definição externa parte do atendimento das propriedades requeridas para a definição interna, a qual se associa um conjunto  $A$ , indicativo de uma família de funções:

$F = \{ f_\mu : T \times \Omega \rightarrow Y, \mu \in A \}$ , onde cada membro de  $j$  é representado explicitamente pela função  $f_\mu (t, \omega) = y (t)$ , é a saída obtida no instante  $t$  e resultante de uma entrada  $\omega$ , para uma experiência  $\mu$  e cada  $f_\mu$  recebe o nome de função entrada/saída, respeitadas as respectivas propriedades.

#### 4.2.2.3 Objetivos e Procedimentos para a Abordagem Sistêmica

PEREIRA (2009) define como objetivos da TGS: “descrever e englobar, fazendo uso do formalismo matemático, o conjunto de sistemas encontrados na natureza”. Essa realidade levou ao surgimento da abordagem sistêmica e permitiu considerar um sistema em sua complexidade, em sua totalidade e dinâmica própria.

Segundo GIACHETTI (2010), os princípios da abordagem sistêmica são resultantes da definição de sistema, suas características e a ideia de estruturas com componentes e seus inter-relacionamentos e com o ambiente.

Para atingir os objetivos da TGS, esta se fundamenta em três postulados:

- O primeiro postulado trata da existência de uma lógica de sistemas e a existência de sistemas homeomorfos e das definições e proposições. Entre as proposições, destaca-se a que afirma que todo componente do sistema possui propriedades internas (resultantes da configuração interna) e propriedades externas (resultam do lugar que ocupam no sistema), a que declara que, se a complexidade de um sistema aumenta, as propriedades que o caracterizam dependem cada vez mais da estrutura externa e cada vez menos da natureza das suas partes;
- O segundo postulado converge para o homomorfismo dos sistemas, cujas principais definições são: que dois sistemas são homeomorfos quando têm estruturas com uma parte idêntica e que um sistema homeomorfo pode servir de modelo a outro mais complexo. Por outro lado, os sistemas são isomorfos quando têm a mesma estrutura. Essa definição representa a posição dos subsistemas, dentro do sistema em termos de suas interações.

As proposições relacionadas a esse postulado dizem que: se existir isomorfismo entre dois sistemas, as propriedades externas de seus elementos devem ser comparáveis; que as propriedades externas desses dois sistemas são mais comparáveis, quanto mais fraca for a estrutura interna das partes; e que as observações sobre um sistema complexo permitem prever o comportamento de um sistema isomorfo, pertencente a um domínio diferente do sistema observado;

- O terceiro postulado indica que se os sistemas pertencentes a diferentes áreas do conhecimento são isomorfos, possibilitam a representação dessa estrutura em uma linguagem comum, contribuindo para o estudo das organizações.

Os procedimentos básicos para a abordagem sistêmica, segundo PEREIRA (2009), compreendem:

- A decomposição do sistema em partes homogêneas: Busca identificar e definir seus subsistemas ou componentes;
- A caracterização dos subsistemas: Em função dos atributos que influenciam o comportamento de cada subsistema;

- O estabelecimento do modelo matemático de cada subsistema: Consiste nas equações de definição (estabelecem o comportamento do subsistema no sistema);
- O estabelecimento do modelo matemático das interfaces de constrangimento: Consiste em estabelecer as interações entre os subsistemas;
- Construção do Modelo Indicativo Simbólico do Sistema;
- Geração do Modelo Matemático.

Segundo PEREIRA (2009), a multidisciplinaridade da TGS permite que elementos econômicos ou sociais sejam inseridos no estudo do sistema, permitindo que o componente desses elementos possa ser representado com todas as reais características.

#### **4.2.2.4 Conceitos da Teoria da Modelagem Matemática**

O modelo de um sistema representa os aspectos do sistema e seu ambiente. Os diferentes tipos de modelos refletem as diversas propostas por meio de várias técnicas de modelagem. Algumas técnicas permitem a compreensão do comportamento do sistema, enquanto outras permitem o entendimento da estrutura do sistema.

O estudo de sistemas pode ser dividido em duas partes: teoria da modelagem e teoria do comportamento:

- A teoria da modelagem tem por objetivo o estabelecimento de modelos matemáticos de sistemas, a partir de modelos matemáticos de seus componentes e de suas interfaces de constrangimento, a partir do conhecimento da estrutura do sistema;
- A teoria do comportamento busca o estudo das propriedades das soluções dos modelos matemáticos dos sistemas.

O estudo da modelagem compreende os problemas: o da identificação de sistemas, da análise, da síntese, da representação e da simulação. Ou ainda, considera uma situação problema para melhor entendê-la e tomar decisões, analisar um problema específico e sintetizar um sistema para resolvê-lo ou criar e operar um sistema para oferecer um serviço.

**Identificação:** Consiste no estabelecimento de um modelo de um sistema físico em que são conhecidas as entradas e as saídas e, desconhecidas a estrutura interna do sistema.

Os modelos de interesse neste trabalho são os modelos de estrutura de sistema conhecidos e desenvolvidos à partir de cada uma das partes constitutivas e do modelo matemático das interconexões que ligam entre si essas partes.

**Análise:** O modelo de análise estuda as propriedades de um sistema de estrutura conhecida. A análise de um sistema dinâmico tem por objetivo o estabelecimento do modelo matemático de uma estrutura identificada. A solução compreende as fases de:

- Caracterização: Levantamento dos atributos pertinentes à função que o subsistema insere no contexto do sistema a que está inserido;
- Geração do modelo matemático: De modo geral, a geração do modelo matemático consiste em três etapas:

Etapa1: Estabelecimento das equações de definição de cada subsistema. No caso de sistemas físicos de acordo com a definição de ZADEH;

Etapa2: Determinação do modelo matemático das interfaces com as equações de estrangimento que considera as interconexões entre os subsistemas;

Etapa3: Geração do Modelo Matemático Global com o conjunto de equações que expressam por meio das suas variáveis, os atributos do sistema resultante dos seus subsistemas e interações entre eles.

**Síntese:** Consiste em três partes essenciais: a formulação do projeto (considera os objetivos, as especificações e as restrições do sistema), a aproximação (estabelece o modelo matemático do sistema capaz de satisfazer o projeto) e a realização física (implementar o modelo após testes de simulação).

**Representação:** Esta é uma abstração simplificada do sistema que tem por objetivo retratar apenas os aspectos relevantes que formam a estrutura essencial do sistema que permitam o estudo das propriedades das soluções relativas ao problema específico, objeto de consideração.

Os modelos indicativos simbólicos são modelos abstratos da realidade que têm por finalidade representar estruturas complexas e esclarecer os processos que nelas ocorrem de maneira visual. A principal vantagem está na possibilidade de representar graficamente operações matemáticas abstratas (PEREIRA, 2009).

Entre os principais aspectos da representação, destaca-se a escolha do tipo de representação (operadores, diferenciais, função ou matriz de transferência, modelo econométrico, equações de estado, entre outros) e as limitações características do tipo escolhido.

Ao estabelecer o Modelo Conceitual Simbólico e a interação entre os subsistemas em que pode ser decomposto o sistema real, o comportamento físico e matemático dos subsistemas não é uma atribuição pertinente da TGS (PEREIRA, 2009).

**Controle:** Ainda segundo PEREIRA (2009), na TGS e no estudo dos sistemas, o conhecimento das noções de controlabilidade e observabilidade é de grande importância, especialmente na análise e na síntese de sistemas. Tais noções serão apresentadas a seguir:

Seja um sistema contínuo invariante descrito pelas equações:

$\underline{X} = \underline{A}(t)x(t) + \underline{B}(t)u(t)$  e  $\underline{y} = \underline{C}(t)x(t) + \underline{D}(t)u(t)$ , sendo as matrizes  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$ ,  $\underline{C}$  e  $\underline{D}$  conhecidas, então:

As definições de controlabilidade consideram: uma fase  $[x_0, t_0]$  será dita controlável, se for possível encontrar um instante  $t_1 \geq t_0$  ( $t_1 < \infty$ ) e uma entrada  $\underline{u}(t)$  no intervalo  $[t_0, t_1]$  capaz de transferir a fase  $[x_0, t_0]$  em  $[x_1, t_1]$ .

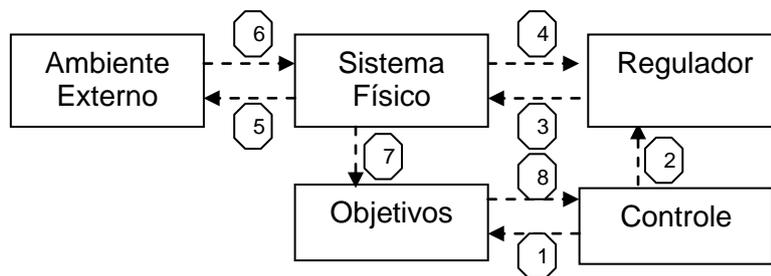
Nesse caso, se todo estado  $\underline{x}$  pertence ao estado  $\underline{X}$  dá uma fase controlável no instante  $t_0$  se dirá que o sistema é completamente controlável neste instante  $t_0$ .

O conceito de observabilidade considera: uma fase  $[x_0, t_0]$  observável, se o estado inicial  $\underline{x}_0$  pode ser identificado a partir do conhecimento da saída  $\underline{y}(t)$  e da entrada  $\underline{u}(t)$  no intervalo  $[t_0, t_1]$ .

Outro conceito importante a descrever neste trabalho é a diferença entre um sistema físico e um sistema de gestão. Pode-se identificar o sistema físico como o organismo que se quer gerir e que realiza as tarefas que constituem a finalidade do processo.

O sistema de gestão consiste em um conjunto de regras, de procedimentos e meios que permitem a aplicação de métodos ao sistema físico para a realização das tarefas, formando uma rede de controle, regulamentação, autorizações e permissões (GIACHETTI, 2010).

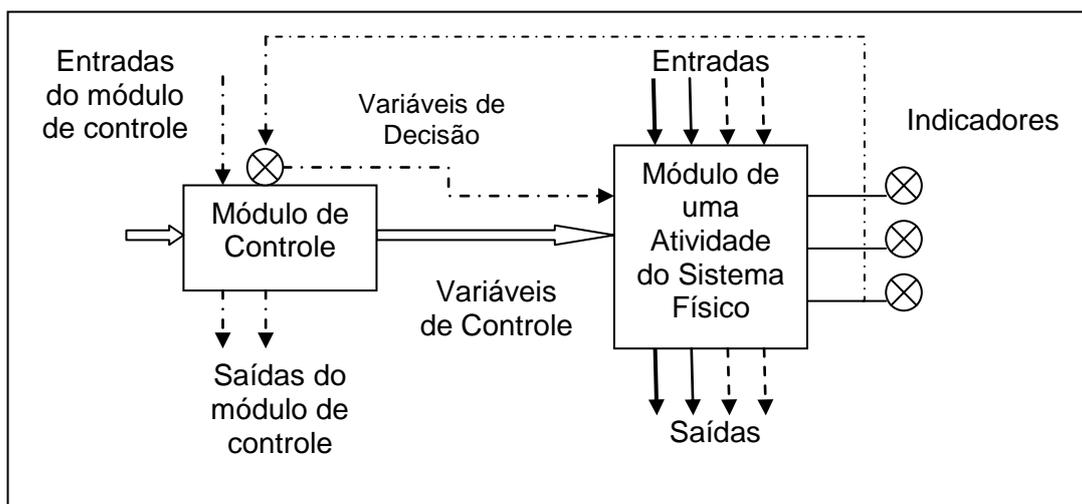
As noções de controle e regulamentação estão baseadas na ideia de sistema ultra-estável de ASHBY *apud* PEREIRA (2009), conforme a Figura 4.3:



**Figura 4.3** Representação de um Sistema Ultra-Estável (PEREIRA, 2009)

Na estrutura do sistema, o controle fixa os objetivos (1) que são materializados por um grupo de valores e vão reger o regulador (2) que entra em interação com o sistema físico (3 e 4) que também interage com o meio externo (5 e 6). Esses blocos tendem a realizar os objetivos procurando uma zona de funcionamento estável. Caso os objetivos sejam atendidos, o controle não irá intervir e o regulador corrige os desvios, se não, o controle entra em ação modificando as determinações do regulador ou os objetivos.

A representação de forma sistêmica do elemento de controle e suas relações com os demais elementos dos sistema podem ser feitas por meio da análise modular de sistemas. A representação simbólica de um sistema de controle está apresentada na Figura 4.4.



**Figura 4.4** Representação de um Sistema de Controle (PEREIRA, 2009)

Onde o módulo de atividade representa as transformações dos fluxos de entrada-saída correspondentes às atividades, como por exemplo, os equipamentos de transferência do pátio ferroviário. Por outro lado, o módulo de controle tem por objetivo gerenciar e regular as transformações operadas pelos módulos de atividades. São esses módulos que comunicam as informações e as diretrizes (objetivos, metas e finalidades) aos módulos de atividade.

Os módulos de atividades são dotados de fatores internos que se constituem em recursos processadores, como instalações, máquinas, mão de obra, regras, programações e procedimentos. Estes estão sujeitos as entradas principais, secundárias e operativas.

As entradas do módulo de atividade são:

- *Principais*: recursos a serem processados que são transformados pelo módulo;
- *Secundárias*: demais entradas necessárias para a realização da atividade;
- *Operativas*: as informações necessárias para a realização das atividades;
- *Informativas*: são úteis para melhorar a eficiência das atividades.

As saídas do módulo de atividade também podem ser decompostas em:

- *Principais*: representam os fluxos transformados;
- *Secundárias*: não representam a missão, mas resíduos das transformações;
- *Operativas*: informações processadas e que serão necessárias para os outros módulos;
- *Informativas*: são as informações que serão úteis para os outros módulos.

As entradas do módulo de controle consistem em:

- *Controle externo*: diretrizes definidas por um nível hierárquico superior na hierarquia do sistema e geralmente fixam os objetivos a serem atendidos (valores das variáveis essenciais e regras e restrições de controle);
- *Informativas internas*: informações sobre o funcionamento da atividade que transportam os elementos de controle interno do módulo tecnológico e de outra, os valores das variáveis essenciais;
- *Operativas*: informações necessárias ao módulo de controle para transformar as diretrizes recebidas (variáveis de controle externas);
- *Informativas externas*: informações úteis, mas não necessárias ao controle.

As saídas do módulo de controle são compostas de:

- *Variáveis de controle*: diretrizes transmitidas ao módulo de atividades que detalham, precisam e adaptam as diretrizes (variáveis de controle externas). A transformação entrada-saída se faz pelo cruzamento das variáveis de controle externas com as informações, recebidas pelo módulo de atividade e pelo meio exterior, por exemplo, um plano mensal de chegada de navios será transformado em um programa de carga/descarga de navios;
- *Variáveis de decisão*: possibilidades de ação sobre o módulo de atividade de forma discricionária dentro dos limites de decisão.

As entradas e saídas operacionais interessam aos componentes do sistema, enquanto as variáveis de decisão e de controle se superpõem as entradas e saídas propriamente do sistema.

Assim, a situação operacional do sistema físico segundo Zadeh, referem-se as entradas/ saídas, enquanto a representação ligada às decisões referem-se ao sistema de controle.

De acordo com PEREIRA (2009), as variáveis essenciais de um sistema medem o resultado da missão atribuída ao sistema, ou seja, medem o comportamento do sistema, permitindo o controle e o direcionamento do sistema. Essas podem ser de atividade, medindo a produção de bens e ou serviços, variáveis de custos e variáveis de eficiência que podem ser quantificáveis, mas não mensuráveis, como taxa de acidentes de trabalho, ou qualitativas, como atendimento às regras de segurança.

A determinação das variáveis permite que a estrutura do sistema seja descrita, segundo a abordagem sistêmica e de estruturação, segundo sistemas de controle. Outro aspecto a ser considerado na análise sistêmica é a decomposição do controle, segundo diferentes elementos que devem ser coordenadas por meio da troca de informações em vista dos objetivos globais.

Neste sentido, sistemas complexos que são particionados em subsistemas, as interações entre subsistemas necessitam ser coordenadas de modo que possibilitem o retorno ao problema global. Uma estrutura de controle, para as transformações entradas-saídas operadas no sistema, deve ser feita por processos de decisão. A decisão pode ser definida como o comportamento que permite o operador fazer uma escolha baseado em uma situação de informação incompleta, características de tomada de decisão humanas.

O conhecimento físico do subsistema e sua representação matemática devem ser estabelecidos antes do Modelo Conceitual Simbólico. Para definir os atributos, de acordo com a segunda definição de ZADEH (1969), apresentada no item 4.2.1.1, devem ser conhecidas as funções dos subsistemas no sistema com os respectivos domínios e contradomínios.

Na observação da complexidade da integração do pátio ferroviário e terminal portuário de contêineres, identifica-se a possibilidade de abordagem sistêmica, como o conceito de objeto abstrato, em que a preocupação principal é com as interações entre as entradas e saídas dos componentes, embora não se especifique a natureza dos atributos.

Assim, o propósito de identificar os atributos mais relevantes do Sistema Integrado, formado pelo sistema Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres, necessita de um método para auxiliar a escolha dos atributos mais relevantes para caracterizar os componentes do sistema integrado e que permitam indicar esta relevância em relação às possíveis configurações da transferência.

#### **4.2.3 Método de Decisão Multicritério**

Segundo FIGUEIRA *et al.* (2005), a decisão está diretamente relacionada à pluralidade de pontos de vista e tem inspirado a reflexão de muitos pensadores desde os tempos antigos. Filósofos como Aristóteles, Platão e Tomás de Aquino discutiram a capacidade dos seres humanos de decidir. Aspectos da decisão também foram colocados por Inácio de Loyola (1556) e Benjamim Franklin (1772), principalmente aqueles relacionados à comparação de diferentes pontos de vista.

A complexidade parece ser a grande característica do ambiente atual de atuação de quem toma decisões. Caracterizado pela variedade de fatores, informações e objetivos que influenciam a realização de metas e a coerência das análises. Problemas complexos de tomada de decisão necessitam explicitamente considerar vários pontos de vista. Assim, a análise e escolha, nesse ambiente de complexidade, requerem uma forma mais ampla de visualizar os problemas, indo além da clássica relação binária sim ou não.

A abordagem clássica de problemas complexos busca gerar um valor máximo ou mínimo para uma única função objetivo. Entretanto, essa abordagem torna-se restrita quando o decisor precisa considerar simultaneamente vários objetivos e critérios subjetivos para tomar uma decisão entre diferentes alternativas. Diante disso, segundo CHECKLAND (1972), outras abordagens desenvolveram novos padrões caracterizados por:

- A busca de soluções alternativas aceitáveis e não necessariamente ótimas;
- O uso de dados qualitativos e quantitativos de forma integrada com julgamentos subjetivos, permitindo a redução da necessidade de dados;
- A simplicidade e a transparência das situações de conflito;
- Considera a participação das pessoas no processo decisório de modo ativo;
- Permitir a aceitação de incertezas como inerente ao processo;

Esses padrões criaram condições para o desenvolvimento de métodos de apoio à decisão e, entre estes, os métodos multicritério. FIGUEIRA *et al.* (2005) afirmam que muitas metodologias multicritério são oriundas da Pesquisa Operacional. Tomando a modelagem matemática como base, procuram estruturar e analisar problemas auxiliando a decisão. Essas metodologias partiram da identificação que as decisões do mundo real se caracterizam por critérios conflitantes e, portanto, utilizam recursos da psicologia quantitativa, a qual trabalha com processos cognitivos e escalas para representar a hierarquia com relação a aspectos subjetivos.

GOMES *et al.* (2002) salientam que um dos aspectos mais relevantes das metodologias multicritério é o reconhecimento da subjetividade como um fator inerente aos problemas de tomada de decisão, aliado ao tratamento analítico por meio de juízos de valor. Ainda, o autor afirma que a escala mais adequada dentro da psicologia quantitativa varia entre cinco mais ou menos dois, fato este considerado em questionários, normalmente variando entre um e sete ou nove.

Segundo GOMES *et al.* (2004), os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) possuem a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes (quantitativas e qualitativas), possibilitando a transparência e a sistematização do processo de tomada de decisão. Essa característica auxilia a tomada de decisão em que são considerados múltiplos fatores conflitantes.

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão têm por objetivo indicar ações para a solução de problemas. Nesse sentido, possuem o enfoque da prescrição das

decisões, em contraponto ao enfoque da descrição das decisões (CLEMEN e REILLY, 2001). Para tanto, supõem que o decisor é racional ao tratar de problemas caracterizados por questões quantitativas e qualitativas. Essa abordagem envolve diversos aspectos de análise e a compreensão de que a solução encontrada é a mais satisfatória, embora possa não ser a solução ótima.

A maioria dos problemas de decisão são multi-objetivo / multicritério. Isso implica que a tomada de decisão envolve todo tipo de *trade-off* entre dados qualitativos e quantitativos. Entretanto, o problema não é uma simples troca, sendo necessário avaliar em termos quantitativos e compará-los em seus diferentes critérios. Assim, uma das maiores dificuldades encontradas nos problemas de decisão tem sido, por exemplo, avaliar as alternativas, com base em seus benefícios, custos, oportunidades e riscos.

#### **4.2.3.1 Conceitos Básicos**

A teoria da decisão, vista como uma área especializada da PO (Pesquisa Operacional) é o processo de especificar um problema, identificar alternativas e critérios, avaliar e selecionar a alternativa preferencial entre as alternativas disponíveis (CHEN, 2005). Segundo GASS (2005), devido à Pesquisa Operacional ser a ciência de tomada de decisão, os pesquisadores têm desenvolvido um grande número de métodos para resolver problemas de análise de decisão.

A SJDM (*Society for Judgment and Decision Making*) define teoria da decisão como: “uma área do conhecimento relacionada às técnicas analíticas de diferentes graus de formalidade de projeto para auxiliar quem toma decisão a escolher em um conjunto de alternativas, observando as possíveis consequências”.

Nesse contexto, BEN-AKIVA *et al.* (1985) caracterizam a escolha como um conjunto formado pelos elementos: tomador de decisão; as alternativas; os critérios das alternativas e as regras de decisão.

O problema é modelado com a finalidade de auxiliar o decisor por meio da estruturação das alternativas e aspectos a serem considerados. As alternativas consistem em um número finito de possibilidades de escolha relacionadas com cada critério. Estes representam as características do sistema com diferentes níveis de importância (peso do critério) na alternativa.

As alternativas devem representar soluções viáveis e familiares ao decisor e devem ser mutuamente excludentes, além de exaustivas (incluir todas as possibilidades), (BEN-AKIVA *et al.*,1985). Os critérios das alternativas consistem em variáveis consideradas preponderantes para o processo de tomada de decisão e são avaliadas por meio de escala cardinal (variáveis quantitativas) ou ordinal (variáveis qualitativas).

O juízo de valor é feito pelo decisor ao considerar as alternativas possíveis e classificar aquelas que melhor atendem ao objetivo. Este pode ser uma pessoa ou um grupo de trabalho (homogêneo ou não). No caso de grupos não homogêneos (com diferentes níveis de conhecimento ou objetivos), estes podem ser ponderados pelo analista.

Segundo BEN-AKIVA *et al.*, (1985), a atratividade de cada alternativa pode ser expressa por meio de um vetor de valores dos critérios que, quando reduzido a um índice, permite a comparação entre alternativas.

De acordo com ROY e BOUYSSOU (1993), em um problema multicritério de decisão as problemáticas abordadas podem ser:

- Problemática  $\alpha$ : escolha das melhores alternativas;
- Problemática  $\beta$ : classificação das alternativas e ou definição de ordem de preferência;
- Problemática  $\gamma$ : ordenação das alternativas da melhor para a pior;
- Problemática  $\delta$ : descrição das alternativas.

CHEN (2005) apresenta as várias maneiras de se classificar os problemas de tomada de decisões em:

- Pela informação disponível: decisão sob certeza, decisão sob risco e decisão sob incerteza;
- Pelos tipos de informação utilizados nas avaliações (objetivos – métodos quantitativos e modelos matemáticos; subjetivos – modelos qualitativos como Fuzzy e métodos quantitativos e qualitativos usados de forma combinada);
- Pelo número de decisores: apenas um ou um grupo;

- Pelo grau de importância entre os decisores. O grupo pode ser homogêneo (a opinião de todos tem o mesmo peso) ou heterogêneo (pesos diferentes);
- Pelas propriedades do problema: podem ser caracterizadas como multiobjetivos.

Nesse sentido, conforme RODRIGUES *et al.* (2001), o conjunto de soluções consideradas em qualquer sistema decisório relativo à seleção de alternativas de transporte é discreto e conhecido *a priori*. As restrições são introduzidas no sistema decisório, na fase de identificação das alternativas capazes de atender minimamente aos objetivos predefinidos para o sistema. Assim, as restrições estão implicitamente consideradas no sistema de decisão, uma vez que estas direcionam a identificação das alternativas a serem consideradas na etapa de identificação.

#### **4.2.3.2 Tipos de Métodos de Análise de Decisão**

Diferentes métodos de resolução do problema de decisão multicritério têm sido descritos e aplicados nas diversas áreas do conhecimento (FIGUEIRA *et al.*, 2005) e (BELTON e STEWART, 2002). Estes têm sido classificados de acordo com o tratamento das preferências em métodos de agregação a um critério único de síntese e métodos de subordinação de preferências, também conhecidos como representantes do pensamento da escola americana e da escola francesa, respectivamente.

**Métodos de Agregação a um Critério Único de Síntese** - Entre os muitos representantes, tem-se: MAUT – *Multi Attribute Utility Theory* (KEENEY e RAIFFA, 1976), TODIM (*Tomada de Decisão Interativa Multicritério*) e AHP – *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 1980, 1987, 1994, 2008).

A ideia consiste na agregação dos diferentes critérios em uma única função de síntese. Pressupõe que o decisor conhece a utilidade da pontuação das alternativas e dos pesos dos diferentes critérios que devem ser analisados e interpretados. As preferências dos decisores são representadas por uma função de utilidade multicritério. Segundo GOMES (2004), a função de utilidade ou preferência são representações matemáticas do julgamento humano, traduzido em uma escala verbal ou numérica. A função tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios e auxiliar a escolha do decisor.

**Métodos de Subordinação de preferências** - Entre esses destacam-se: ELECTRE – *Elimination et Choix Traduisant La Réalité* (ROY *et al.*, 1993) e PROMÉTHÉE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (BRANS e MARESHAL, 2005).

Consistem em construir uma relação de sobreclassificação que representa as preferências estabelecidas pelo decisor e explorá-las a fim de ajudar a resolver seu problema. Pressupõe que as preferências não são evidentes ao decisor, necessitando dar suporte ao mesmo para estruturar a situação e esclarecer as consequências dos diferentes pesos do problema. A subordinação ou *outranking* é estabelecida por meio de relações binárias entre escolhas. Ou seja, compara argumentos prós e contras à hipótese de que a ação “a” é *no mínimo tão boa quanto* “b”, o que equivale a dizer que “a” é *não pior que* “b”, o que permite o tratamento da incomparabilidade entre ações, (ROY *et al.*, 1993).

Segundo ROY *et al.* (1993), na comparação entre duas alternativas, o decisor pode encontrar as seguintes situações em que uma alternativa é preferida a outra com preferência forte (sem hesitação); com preferência fraca (com hesitação); uma alternativa é indiferente a outra ou ainda uma alternativa é incomparável a outra.

Embora não exista uma função de utilidade, existem preferências dos decisores, pressupostas não definidas por parte do decisor, no início do processo de decisão. A utilização de métodos de subordinação em vez da teoria da utilidade tem ocorrido em função da dificuldade ou da impossibilidade de se estabelecer uma função de utilidade e pela facilidade de se estabelecer comparações *a priori* e *a posteriori* (GOMES, 2004).

Segundo BANA E COSTA *et al.* (2001), os métodos baseados na teoria da utilidade utilizam modelos simultaneamente descritivo e prescritivo, estando associados à credibilidade, contudo, os métodos de subordinação estão baseados em modelos construtivistas e, portanto, associados à intensidade das preferências.

Neste trabalho, o método escolhido será o AHP, o qual será apresentado a seguir. A escolha pelo método AHP se dá devido à simplicidade, à clareza, à base matemática e ao caráter normativo ou descritivo e por ser uma metodologia já estabelecida, com muitas aplicações práticas e publicações científicas.

## Processo de Análise Hierárquica (AHP)

O Processo de Análise Hierárquica é uma metodologia flexível de tomada de decisão que auxilia na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa quando aspectos qualitativos e quantitativos devem ser considerados.

O princípio do processo é decompor o problema em níveis hierárquicos, facilitando assim a sua compreensão e avaliação. A aplicação deste método permite organizar hierarquicamente problemas complexos, envolvendo vários critérios e vários decisores, sendo um processo flexível, que usa a lógica, ao mesmo tempo, que a intuição.

O processo consiste em uma teoria de medição relativa de escalas absolutas de critérios, apoiada na opinião de cada julgador especialista, em medições existentes e estatísticas necessárias para a tomada de decisão.

Segundo GOMES *et al.* (2004), os elementos fundamentais do AHP são:

- **Critérios e propriedades:** conjunto finito de alternativas comparado em função de conjunto finito de propriedades;
- **Correlação Binária:** comparação de dois elementos baseados em certa propriedade e consiste em uma comparação binária, na qual cada elemento pode ser preferível ou indiferente a outro;
- **Escala fundamental:** a cada elemento, associa-se um valor de prioridade sobre os outros elementos lidos em uma escala numérica de números positivos e reais;
- **Hierarquia:** conjunto de elementos ordenados, segundo a preferência, e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

Por meio deste método, é possível classificar as partes ou variáveis, segundo uma ordem hierárquica, atribuir valores numéricos aos julgamentos subjetivos à importância relativa de cada variável e sintetizar os julgamentos a fim de determinar as variáveis que têm maior ou menor prioridade sobre os outros de forma a auxiliar a seleção da solução mais adequada. Segundo ALMEIDA (2002), o método AHP envolve basicamente três etapas: Estruturação da hierarquia; Julgamentos comparativos e Síntese das prioridades.

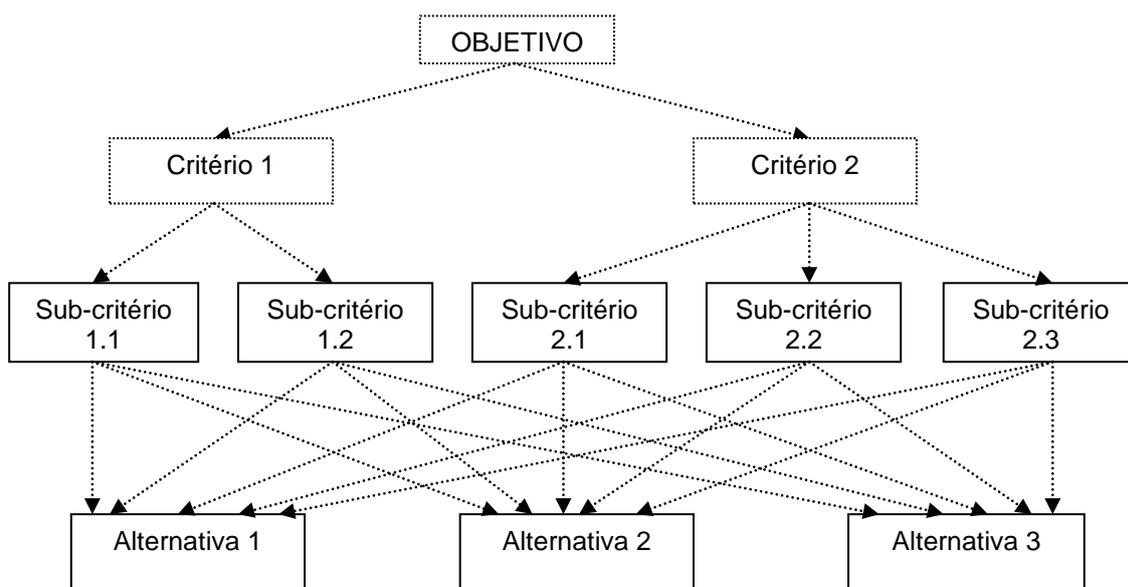
A *Estruturação da Hierarquia* tem como base o estabelecimento do objetivo global e a decomposição do sistema em vários níveis de hierarquia, o que possibilita a

visualização do sistema e, portanto, a representação de um problema complexo por meio de níveis hierárquicos. Dessa forma, também permite o estudo das interações desses componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema.

A geração dos objetivos, critérios e alternativas depende dos objetivos escolhidos para decompor a complexidade do sistema. Os elementos que formam a hierarquia, previamente selecionados devem ser organizados de forma descendente, em que o objetivo principal deve estar no primeiro nível da hierarquia, em um nível abaixo os critérios e por último as alternativas.

Uma hierarquia deve representar a análise dos elementos mais importantes na situação e nas suas relações. Dessa forma, é necessário um método que determine o poder com que os vários elementos em um nível influenciam os elementos no próximo nível, de maneira que seja possível calcular os impactos relativos dos elementos do nível mais alto sobre os objetivos gerais. Ou seja, deseja-se encontrar a influência que cada alternativa exerce sobre cada um dos critérios utilizados e de cada critério sobre o objetivo geral. Assim, pode-se então determinar qual é o poder de cada alternativa sobre o objetivo geral, gerando uma escala de importância dessas alternativas.

A estruturação da hierarquia assume graficamente a forma de um diagrama de árvore invertida, representado na Figura 4.5, composto pelos níveis: Objetivo da decisão; Critérios; Subcritérios (se houver) e Alternativas.



**Figura 4.5** Estrutura de Decisão Hierárquica em Quatro Níveis. Baseado em RODRIGUES (2001).

Em suma, para a estruturação de uma hierarquia, deve-se ter em mente que os objetivos finais estão no topo, sendo abaixo as forças limitadoras dos fatores, os objetivos dos fatores e, por fim, os vários resultados possíveis, ou seja, os cenários. Os cenários determinam as probabilidades de se atingir os objetivos, os objetivos influenciam os fatores, os fatores guiam as forças que, finalmente, causarão impacto nos objetivos finais.

Para medir os impactos que os elementos do nível mais baixo exercem sobre o objetivo geral, comparam-se os pares de alternativas disponíveis com relação a cada critério utilizado. Também, os critérios são comparados par a par, de acordo com sua importância, para atingir o objetivo geral.

A comparação pode ser fundamentada em uma escala de intensidade de importância com valores variando entre 1 e 9, segundo SAATY (1980), onde 1, 3, 5, 7, e 9 indicam importância igual, moderada, forte, muito forte e extremamente importante respectivamente e 2, 4, 6 e 8 são valores de compromisso entre os valores acima. O valor 1 é designado quando as duas alternativas comparadas contribuem igualmente para o objetivo, o valor 3, quando uma alternativa é considerada fracamente mais importante que a outra, segundo o critério considerado, e assim sucessivamente. SAATY (1980) apresenta várias razões para que a escala de 1 a 9 seja utilizada, destacando alguns estudos nessa área. Esses estudos mostram que o ser humano tem uma capacidade limitada de discriminação entre alternativas, o que sugere que não se deve utilizar uma escala sem um limite superior.

O método AHP fornece um vetor de pesos que expressa a importância relativa dos vários elementos. Inicia-se medindo o grau de importância do elemento de um determinado nível no nível inferior pelo processo de comparação par a par, realizado pelo decisor. A medição dos julgamentos é feita utilizando a escala de valores variando de 1 a 9. Nessa fase, os axiomas da teoria são transparentes. Se o decisor não tiver uma resposta para a situação, quer dizer que a pergunta não é significativa, ou as alternativas não são comparáveis.

Assim, os axiomas são:

- A comparação recíproca, em que o decisor deve ser capaz de fazer comparações e mostrar a intensidade de suas preferências;

- A preferência deve satisfazer a condição de reciprocidade: se A for x vezes mais preferível a B, então B é 1/x vezes preferível a A.

As comparações par a par combinadas com a estrutura hierárquica são fundamentais para a dedução de medidas. Isso quer dizer que os pares de comparação são utilizados para ter a estimativa de escala fundamental unidimensionais, em que os elementos de cada nível são medidos pela utilização do autovetor associado ao maior autovalor da matriz de comparação paritária.

Os julgamentos comparativos entre os critérios  $C_i$  e  $C_j$  são representados por  $a_{ij}$ . Esses valores são colocados em uma *matriz A* de ordem  $n \times n$ , cujos elementos representam a importância relativa de um elemento  $i$  sobre um elemento  $j$ .

A síntese do processo é feita, comparando todos os pares de critérios. Obtém-se a matriz com as importâncias relativas de cada critério frente a outro. Em uma comparação de  $n$  variáveis, tem-se  $n(n-1)/2$  comparações pareadas que podem ser sintetizadas na matriz da Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Matriz de Comparações Pareadas. Baseado em SAATY (1980)

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$
$C_1$	1	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$
$C_2$	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$	...	$a_{2n}$
$C_3$	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	...	...
...	...	...	...	...	...
$C_n$	$1/a_{1n}$	...	...	...	1

Os elementos  $a_{ij}$  são definidos pelas seguintes condições:

- se  $a_{ij} = x$ , então  $a_{ji} = 1/x$ ; Equação (1)
- se uma alternativa  $C_i$  é julgada de igual importância relativa que outra  $C_j$ , então  $a_{ij} = 1$  e  $a_{ji} = 1$  e especificamente  $a_{ii} = 1$  para todo  $i$ , ou seja, um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio. Portanto, a diagonal principal de uma matriz tem de consistir em números um (SAATY, 1991).

A matriz normalizada (obtenção de soma de pesos igual a um) expressa a importância relativa de cada critério. Esse processo resulta na obtenção de um autovetor de prioridades. A normalização, segundo SAATY (1994), pode ser efetuada por diversos métodos. O método mais recomendado consiste em:

- Somar os elementos em cada coluna e formar os recíprocos dessas somas;
- Dividir cada recíproco pela soma dos recíprocos;
- Multiplica-se a matriz pelo vetor da solução estimada, encontrando um vetor coluna;
- Dividindo-se as componentes correspondentes do segundo vetor pelo primeiro encontrado, a solução deve ser somada e tirada a sua média (*max*, chamado o autovalor máximo ou principal), que pode ser usada em estimativa de consistência como um reflexo da proporcionalidade das preferências.

De forma matemática, o principal autovetor é calculado e, quando normalizado, torna-se o vetor de prioridades. O teorema matemático que fundamenta o cálculo do autovetor principal para uma matriz primitiva  $A$  é:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{A^n e}{|A^n|} = cw \quad \text{onde } |A^n| \equiv e^T A e$$

Onde:  $c$  = constante;

$w$  = autovetor correspondente a  $\lambda_{max}$ ;

$n$  = dimensão da matriz  $A$ .

Esse teorema determina que as somas das linhas normalizadas da potência limitadora de uma matriz primitiva resultarão no autovetor desejado. Assim, o modo de cálculo para obter esse vetor é aumentar a matriz para potências que sejam sucessivamente elevadas ao quadrado cada vez. As somas das linhas são calculadas e normalizadas.

Os elementos chamados de  $a_{ij}$  são representados pela razão  $w_i / w_j$  onde  $w_1, w_2, \dots, w_n$  são os pesos numéricos que refletem os julgamentos. No caso em que os julgamentos sejam meramente os resultados de medidas, as relações entre os pesos  $w_i$  e os julgamentos  $a_{ij}$  são:

$$\lambda_{max} = n \quad \text{e} \quad a_{ij} = w_i / w_j \quad (\text{para } i, j = 1, 2, \dots, n)$$

Sendo:  $n$  o número de elementos a serem comparados;

$\lambda_{max}$  o autovetor de A;  
 $w$  o vetor de prioridades, têm-se:

As relações aritméticas entre os pesos  $w_i$  e os julgamentos  $a_{ij}$ , conforme RODRIGUES *et al.* (2001), são representados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** Matriz das Relações Aritméticas entre os Pesos e os Julgamentos.  
 Baseado em SAATY (1980)

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	...	C <sub>n</sub>
C <sub>1</sub>	$w_1/w_1$	$w_1/w_2$	$w_1/w_3$	...	$w_1/w_n$
C <sub>2</sub>	$w_2/w_1$	$w_2/w_2$	$w_2/w_3$	...	$w_2/w_n$
C <sub>3</sub>	$w_3/w_1$	$w_3/w_2$	$w_3/w_3$	...	...
...	...	...	...	...	...
C <sub>n</sub>	$w_n/w_1$	...	...	...	$w_n/w_n$

Na situação ideal,  $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in}$  são equivalentes a  $w_i/w_1, w_i/w_2, \dots, w_i/w_j, \dots, w_i/w_n$ . Ou seja, se o primeiro elemento for multiplicado por  $w_1$ , o segundo por  $w_2$ , e assim por diante, obtêm-se:

$$(w_i / w_1) w_1 = w_i; \quad (w_i / w_2) w_2 = w_i; \quad (w_i / w_j) w_j = w_i; \quad (w_i / w_n) w_n = w_i$$

Ou seja, caso os juízos emitidos pelo decisor sejam consistentes. Sendo assim, deverá ser encontrado o vetor para satisfazer a Equação 2 e pela Equação 3 obter o autovetor.

$$Aw = \lambda_{max} \times w \tag{Equação (2)}$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1 \dots n} \left\{ \frac{V_i [Aw]_i}{w_i} \right\} \tag{Equação (3)}$$

Onde A = a matriz consistente; n é a dimensão da matriz e w é o peso correspondente ao julgamento.

A consistência de uma matriz positiva recíproca é equivalente a requerimentos de que o seu autovalor máximo  $\lambda_{max}$  deveria ser igual a n. Quanto mais próximo  $\lambda_{max}$  for de n, mais consistente será o resultado. Onde  $\lambda_{max}$  é o maior valor do autovetor do par comparado da matriz. O índice de consistência é dado pela Equação 4.

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação (4)}$$

Dessa forma,  $(\lambda_{max} - n)$  é um indicador de consistência. A é consistente se e somente se  $(\lambda_{max} \geq n)$ .

Também é possível estimar um desvio de consistência pela diferença de  $(\lambda_{max} - n) \geq (n / n - 1)$ . A medida da má consistência em um determinado problema pode ser estimada comparando-se o valor de  $(\lambda_{max} \geq n / n - 1)$  com valores escolhidos de julgamentos aleatórios e seus recíprocos correspondentes nas posições reversas em uma matriz do mesmo tamanho.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação (5)}$$

Essa relação é chamada de Razão de Consistência (RC) da Equação 5. Essa razão permite avaliar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos dos fatores. Quanto maior o valor de RC, maior a inconsistência.

O limite de inconsistência para aceitação dos julgamentos é de 10%. Os valores de RC maiores que 0,10 orientam para a revisão com uma nova rodada de julgamentos para reduzir a faixa de inconsistência até o índice de aceitação e validação do processo (SAATY, 1994).

O índice randômico (IR) é definido como o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente em função de valores escolhidos de julgamentos aleatórios e seus recíprocos correspondentes nas posições reversas de uma matriz de mesma ordem.

O IR é um índice aleatório calculado para matrizes de ordem  $n$  pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos Estados Unidos (GOMES *et al.*, 2004). Alguns dos valores de IR estão na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3** Valores de Índice Randômico. Baseado em GOMES *et al.* (2004)

$n$	2	3	4	5	6	7
IR	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

#### 4.2.4 O MÉTODO ESCOLHIDO

GOMES *et al.* (2002) definem que a escolha do método a ser empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferência e do tipo de resposta que se deseja alcançar. Assim, o objetivo de priorizar os atributos que melhor caracterizem a transferência intermodal e que também indiquem a sua importância entre os locais da transferência, caracterizado no capítulo três, visa a uma hierarquia, sofrendo a influência de vários agentes de decisão que vai refletir em muitos aspectos técnicos, econômicos e sociais. Cada um desses aspectos será considerado como critério na avaliação.

Segundo RODRIGUES *et al.* (2001), as características do ambiente de tomada de decisão em transporte, especialmente em processos de avaliação de planos, projetos e políticas públicas de longo prazo, estão fortemente associadas aos métodos de auxílio à decisão e que, portanto, métodos de Análise Multicritério de Auxílio à Tomada de Decisão possuem grande potencial de contribuição no processo de avaliação de alternativas na área de transportes.

Embora as questões da intermodalidade de transportes venham sendo estudadas, encontrou-se um espaço de pesquisa que trate a transferência intermodal como um sistema integrado. Assim, como método de escolha para tratar o problema da transferência intermodal, utilizam-se os fundamentos da Teoria de Sistemas e da modelagem de um sistema com estrutura conhecida, mas cujas variáveis de entradas e saídas são priorizadas por meio da AHP.

A aplicação do AHP tem ocorrido em várias áreas do conhecimento. Em função da facilidade de compreensão, a implementação pode ser feita usando planilhas eletrônicas como o Excel, componente do Office. Além disso, encontram-se programas computacionais específicos para aplicação do Processo de Análise Hierárquico. Entre eles, tem-se:

- Expert Choice (<http://www.expertchoice.com>);
- Superdecision (<http://www.superdecision.com>);
- WINPRE (Workbench for Interactive Preference Programming) (<http://www.hut.fi/Units/Systems.Analysis>).

Neste trabalho, adotou-se o Expert Choice devido á facilidade de acesso e à disponibilidade de manuais explicativos e versatilidade de compatibilidade com versão sistema operacional do computador usado.

As principais características do AHP para aplicação neste trabalho são:

- Por se tratar de uma pesquisa acadêmica, procurou-se evitar a necessidade de muitos contatos subsequentes com os avaliadores;
- Processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido;
- Aplicabilidade em situações que envolvem julgamentos subjetivos;
- Permitir uma visão abrangente do processo e dos agentes envolvidos;
- Possibilita a resolução de problemas específicos pela hierarquização e avaliação das alternativas.

Com o objetivo de realizar a análise hierárquica para selecionar os atributos que caracterizam os componentes do sistema e que contribuam para a integração entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres, entre as características do problema abordado, pode-se citar:

- A caracterização da configuração da transferência intermodal necessita considerar critérios objetivos e subjetivos;
- A tomada de decisão pode envolver vários decisores com objetivos antagônicos;
- Os sistemas representam ativos de longa duração e, portanto, as decisões são também de longo prazo e alto impacto;
- Existem níveis de importância diferentes entre critérios;
- Existem conflitos entre os critérios.

#### **4.3 DECISÕES DE PROJETO E PROCEDIMENTOS DA PESQUISA**

A principal abordagem para o projeto de um sistema consiste em múltiplas atividades ou etapas, as quais devem ser desenvolvidas de forma interativa.

Nesta pesquisa, o projeto funcional está fundamentado nas operações executadas pelos sistemas terminal de contêineres e pátio ferroviário, enquanto o projeto técnico considera as características da infraestrutura física.

De um modo geral, o projeto de um terminal de contêineres parte das informações relativas às estimativas de volumes a serem processados pelo terminal, os parâmetros típicos, como área disponível, programação de navios e demais considerações específicas do local, a definição das instalações e identificação dos fluxos e ligações e equipamentos de manuseio (transferência e transporte), como descritos no item 3.2.

A análise das funções que o terminal de contêineres deve executar constitui a base para as respostas do problema considerado. A partir dessas considerações, o estudo foi feito com foco na análise da configuração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres.

Nesse contexto, o levantamento bibliográfico, as visitas técnicas e as entrevistas, foram usadas como diretrizes para definir o escopo de cada atividade com o processo de projeto, a informação necessária para o projeto e tomada de decisão, os modelos que podem ser aplicados em cada etapa (capítulos quatro e cinco) e as regras e julgamentos das pessoas envolvidas no projeto e na tomada de decisão (capítulo seis).

Os questionamentos que caracterizam o projeto funcional, ou seja, os problemas e as necessidades do ambiente de um terminal de contêineres e suas interfaces foram apresentados nos itens dois e três e também nos capítulos seguintes.

A grande maioria dos projetos de expansão de terminais de contêineres tem o foco em sistemas técnicos que resultem em soluções de capacidade. Nesse sentido, os questionamentos e soluções têm sido conceituados e especificados. O alvo neste estudo não é o projeto de um terminal mais eficiente, mas analisar a transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres e identificar a importância dos atributos em relação aos locais de transferência para terminais novos ou a expansão que possam atender a novas necessidades sem perder a eficiência e a confiabilidade.

Entende-se que a melhor compreensão da configuração da transferência pode contribuir com uma melhor integração entre os sistemas pátio ferroviário e terminal portuário e, portanto, no atendimento do objetivo do sistema global.

### 4.3.1 Proposições da Pesquisa

Como diretrizes para a definição dos modelos mais adequados para a resolução do problema da pesquisa, adotaram-se:

- O pressuposto que a abordagem do problema, usando a Teoria de Sistemas pode contribuir para a maior compreensão das necessidades do sistema e da pesquisa, bem como do comportamento e da confiabilidade dos sistemas e subsistemas componentes, em termos dos objetivos do sistema global;
- Assumiu-se que a aplicação de um método que considere os julgamentos dos especialistas e *stakeholders* envolvidos na operação e em projeto pode aumentar a qualidade do modelo;
- Assumiu-se que as considerações de variáveis qualitativas e quantitativas em um ambiente de incerteza pode permitir a aplicação em outras áreas de decisão de projeto de um novo terminal de contêineres ou da sua expansão e ou de operações.

### 4.3.2 Estrutura Analítica da Pesquisa

A principal contribuição deste trabalho é o estabelecimento de um método que auxilie a compreensão do sistema em análise. A abordagem formal para um modelo de análise pode permitir a construção de um modelo mais representativo da realidade.

Propôs-se a abordagem do problema em três etapas, como ilustrado na Figura 4.6:

- Pesquisa bibliográfica: A primeira etapa tratou da pesquisa bibliográfica, da formulação dos objetivos do modelo e as características funcionais;
- Aplicação da AHP: Escolha dos atributos após o estabelecimento dos elementos componentes, por meio do Método de Análise Hierárquica. Busca-se identificar os pesos dos critérios que caracterizam os elementos, segundo a avaliação dos especialistas. O objetivo é escolher os atributos que caracterizem as entradas e saídas dos subsistemas.
- Aplicação da TGS: Uma última etapa consistiu na definição das variáveis de entrada e saída dos subsistemas, a partir dos atributos identificados por meio dos critérios priorizados no método AHP, o estabelecimento do Modelo de Integração e a representação por meio do Modelo Conceitual Simbólico.

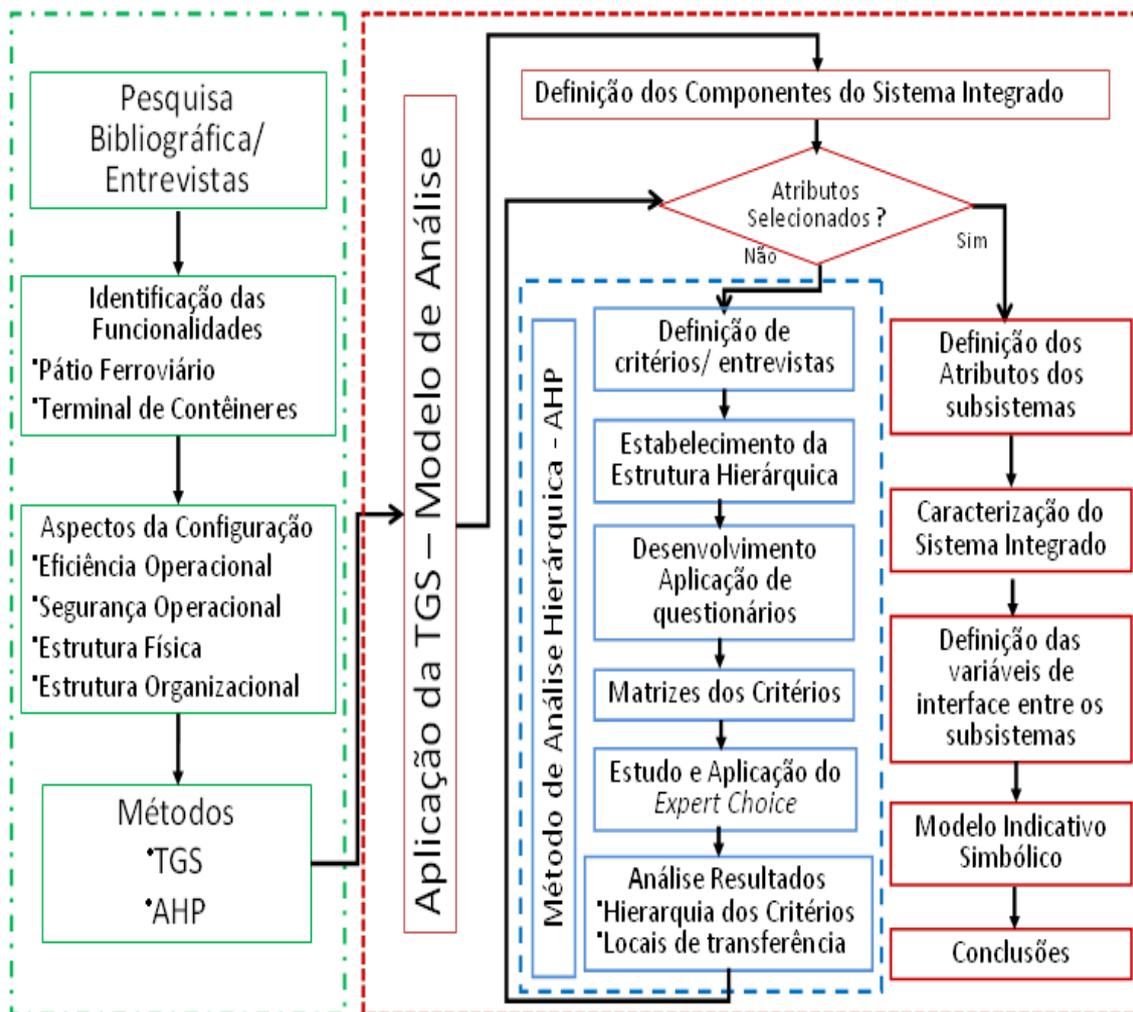


Figura 4.6 Estrutura Analítica da Metodologia da Pesquisa. Elaboração Própria.

#### 4.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A caracterização de um Sistema Integrado, por meio das funções desempenhadas pelos dois sistemas, pátio ferroviário e terminal portuário de contêineres, que represente a configuração intermodal, apresenta-se com a complexidade própria desses sistemas. A Teoria de Sistemas, em função das suas características intrínsecas, como identificado na pesquisa científica, embora venha recebendo outras denominações desde o seu estabelecimento, mostra-se adequada para a proposta de um modelo de análise. Este deve conter os componentes da transferência, em função das atividades desempenhadas para a transferência intermodal e possa ser caracterizados pelos atributos representados por variáveis de entrada e saída.

A configuração intermodal entre o pátio ferroviário e o terminal portuário de contêineres reflete diretamente no processo de tomada de decisão e identificação dos fatores de influência que, de acordo com a pesquisa teórica efetuada neste trabalho, deve ser analisada não somente baseada em modelos racionais de escolha.

A utilização da AHP permite avaliações de características subjetivas, a partir da seleção, classificação e ordenamento dos aspectos importantes para avaliar a configuração intermodal e escolher os atributos dos componentes dos sistemas e finalmente permitir a construção do Modelo de Integração da configuração intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário.

## **5. O MODELO DE INTEGRAÇÃO**

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um modelo que contribua com uma maior integração entre um pátio ferroviário e um terminal portuário. A partir da identificação das funções integradas, o projeto de um novo terminal ou a remodelagem de um terminal existente necessita estruturar o problema de caracterização da configuração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário que atenda ao terminal portuário de contêineres. Descreve-se, assim, a necessidade de construção do Modelo de Integração, o tipo de modelo proposto, bem como os conceitos básicos adotados na modelagem matemática apresentada.

Devido à intensidade de uso e para evitar a repetição dos termos Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêineres, neste trabalho, eventualmente serão adotadas as siglas PF e TC, respectivamente, para Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêineres.

### **5.1 A NECESSIDADE DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO**

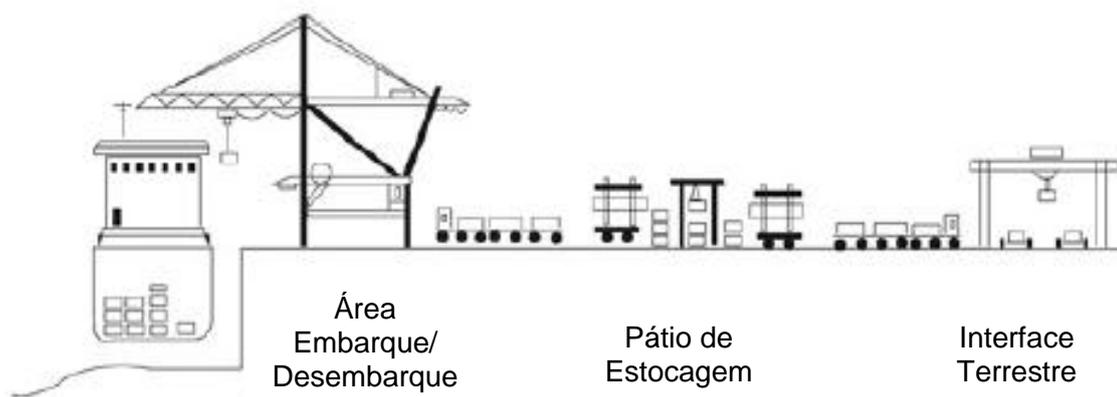
Ambientes complexos como o de transferência intermodal entre pátios ferroviários e terminais portuários de contêineres são caracterizados por tomada de decisão, envolvendo múltiplas informações quantitativas e qualitativas, dados imprecisos ou incompletos, vários agentes, públicos e privados, objetivos políticos e pessoais. O ambiente formado por sistemas complexos e dinâmicos, compostos por várias tecnologias e agentes torna a decisão ainda mais difícil, pois uma alteração qualquer em um componente afeta as formas de planejamento e da operação do sistema como um todo.

Essa conjuntura, aliada aos objetivos de economicidade, flexibilidade e competitividade de mercado, em que os recursos financeiros são restritos em termos de investimento e de manutenibilidade das operações, requer a avaliação das alternativas que possam melhor contribuir com a integração intermodal. Assim, quanto mais abrangentes forem as informações, melhores chances de sucesso têm o tomador de decisão.

Dessa maneira, a qualidade da tomada de decisão em termos de alocação de recursos está intrinsecamente ligada às informações e ao conhecimento do sistema de forma ampla. Um modelo que contribua para aumentar o conhecimento do sistema

deve considerar e incluir as diferentes visões dos atores envolvidos e ser tratado de forma sistêmica.

Nos principais terminais de contêineres, todas as atividades são iniciadas e estão concentradas no atendimento aos navios e tem a estrutura semelhante à representada na Figura 5.1. Segundo OTTJES *et al.* (2007), a prioridade de atendimento do terminal de contêineres está concentrada na descarga e no carregamento dos navios.



**Figura 5.1** O Sistema Terminal de Contêiner Típico. Fonte: MÔNACO *et al.* (2009).

Os contêineres de “importação” são encaminhados para a área de influência terrestre, onde também são coletados os contêineres de “exportação”. Como consequência, os processos de descarga e de carga no porto ditam o ritmo das operações de todas as atividades logísticas.

Dentro dessa visão, a capacidade de manuseio do terminal depende, inicialmente, da demanda e do número e da capacidade de guindastes de cais disponíveis. As demais capacidades, como de estocagem do pátio, distâncias e capacidades de transporte interterminal e de acessos terrestres, são dependentes da capacidade do cais e, portanto não podem provocar atrasos nos processos de atendimento ao navio.

Na prática, segundo WONG (2008), um atraso na programação do trem pode afetar seriamente as operações do terminal portuário. Então, pode-se inferir que, se as operações do porto e do pátio ferroviário intermodal podem ser sincronizadas e, portanto, menos incertas, a demanda por área de estocagem no pátio do terminal portuário será menor. Isso pode auxiliar a reduzir os problemas de falta de espaço de estocagem nos terminais de contêineres.

No caso do modo ferroviário, uma forma de reduzir a demanda por capacidade de estocagem de pátios de terminais de contêineres é fazer as entregas em trens unitários, adiando o momento de entrega de contêineres até o último momento possível, a partir do conhecimento da data de chegada do navio. Nesse caso, o pátio ferroviário atua como um estoque regulador, transferindo a demanda por espaço do pátio de contêineres para o pátio ferroviário. A partir daí, o equilíbrio dos fluxos pode ser obtido com o uso de tecnologias de informação. Estas permitem uma maior integração entre o operador do terminal portuário e o operador ferroviário desde o conhecimento da data de chegada do navio e a data limite para a chegada de contêineres de exportação. Esse conhecimento pode ser usado em um sistema de agendamento de entrega de contêineres e de maneira mais eficiente ainda, no caso de navios porta-contêiner que trafegam em rotas certas (navios *liners*).

Outra possibilidade é a transferência de contêineres do trem, diretamente para a área de embarque/desembarque do TC, por meio de um serviço de traslado (*shuttle*) do último pátio ferroviário para o terminal de contêineres. Esse procedimento permite suprimir uma operação de transferência e reduzir a necessidade de manuseio e de equipamentos de movimentação interna e espaço do pátio de contêineres. Como consequência, pode-se reduzir o nível de incerteza da disponibilidade de área para contêineres no pátio, embora possa ser necessário desenvolver a capacidade de transferência da área de serviços de manuseio e formação de trens do pátio ferroviário.

Todavia, algumas considerações devem ser feitas como:

A primeira delas é que, o procedimento de entrega direta à área de embarque pode ser válido para contêineres que não necessitam de inspeções aduaneiras como, por exemplo, no caso de transporte doméstico ou de contêineres que são inspecionados em pátio intermodal no interior (EADI – Estações Aduaneiras do Interior ou Portos Secos) ou em área no retroporto, atendidas por serviço de inspeção aduaneira. No caso de contêineres com origem ou destino em pátios não alfandegados, eles necessitam desse serviço dentro do terminal portuário.

A segunda consideração que se faz é que, com o atendimento do navio diretamente por ferrovia, ao mesmo tempo em que reduz o tempo de manuseio e o espaço de estocagem, aumenta também o nível de dependência do trem e de equipamentos de

cais. O que pode ser relevante, por exemplo, no caso de uma quebra de equipamento no acesso ao berço, podendo inviabilizar o atendimento ao navio por um período bastante longo, além de necessitar de equipamentos de movimentação de pátios de contêineres.

Outra questão que deve ser considerada é a adequação do projeto físico da linha ferroviária em relação ao tamanho do trem e o tamanho do cais (determina o limite do número de contêineres), devido aos comprimentos das linhas dos acessos, das dimensões do cais, do espaçamento entre linhas e da área necessária para movimentação de carga e descarga de vagões do trem. Além da área para manobra do trem, principalmente em termos de raio mínimo de curvas e rampas máximas das vias (tais considerações são importantes para a manutenção da velocidade de tráfego) (AREMA, 2008).

O operador do terminal, para coordenar todas as partes, atua em um ambiente com fatores controláveis e incontroláveis. De acordo com BICHOU (2008), exerce controle nos fatores, como por exemplo:

- Tempos de serviço do porto e de filas de navios esperando. Prioridades de sequenciamento de navios aos berços de atracação;
- Desenvolvimento da capacidade e expansão. Configuração e *layout* do terminal;
- Procedimentos do terminal (inclusive segurança). Programação de turnos de trabalho;
- Manuseio e estocagem de cargas. Tipo, tamanho e manutenção de equipamentos. Roteamento e empilhamento de contêineres. Alocação de equipamentos e veículos de transporte;
- Sistemas de gerenciamento de berço e pátio. Sistema de tecnologia da informação e gerenciamento. Serviço ao cliente e qualidade do serviço.

Enquanto os fatores que não são controláveis pelo operador do terminal são:

- Restrições meteorológicas. Regulamentações ambientais e de segurança entre outras;
- Padrão de mercado, tipo de tráfego e variedade. Procedimentos de negócios de clientes;
- Tipo e tamanho de navio. Modelo e frequência de navios e serviços de transporte terrestre. Padrão de chegadas de navios, caminhões e trens. Plano de estivagem do navio;

- Tipo, dimensões e *status* do contêiner. Organização logística terrestre.

Com o objetivo de aumentar a eficiência, normalmente o operador do terminal busca as variáveis mais relevantes entre os fatores controláveis. Entretanto, as influências dos fatores incontroláveis na decisão também devem ser consideradas. Na primeira situação, tem-se, por exemplo, o problema de tomada de decisão sobre a configuração e as expansões da capacidade (BICHOU, 2009). Estes são fatores controláveis, no nível de planejamento de longo prazo, mas que nos níveis mais operacionais estão sujeitos às variações de fatores incontroláveis que não estão sob o controle do gerenciamento do terminal.

Uma segunda situação, de acordo com BICHOU (2009), é quando o operador do terminal possui algum nível de controle sobre os fatores incontroláveis, como por exemplo, quando o operador portuário também opera um centro logístico interligado com as instalações intermodais. Operadores de linhas marítimas e ou operadores de terminais também são capazes de influenciar o padrão de tráfego e frequência de serviço no sentido de favorecer um determinado porto. Portanto, a definição e a seleção das variáveis que representem os fatores controláveis e incontroláveis devem estar de acordo com os objetivos de gestão do terminal.

Além dessas considerações operacionais, o operador do terminal deve planejar os ajustes para adequar o terminal às demandas futuras. Tais ajustes implicam em decisões de investimento, com frequência relacionada à configuração. Todas essas decisões implicam na análise da configuração, não somente do ponto de vista da estrutura física, mas também da estrutura organizacional e da segurança. O planejamento pode ser um novo terminal, a expansão de um terminal existente ou o aumento de capacidade de manuseio de um terminal. Para essa tomada de decisão, é necessário determinar quais fatores melhor caracterizam a configuração da transferência em análise. A decisão de investimento em novas configurações, baseada na informação dos atributos mais relevantes para o atendimento dos objetivos, pode contribuir com a eficiência e a segurança do terminal de contêineres.

Tais problemas, encontrados em terminais de contêineres, têm atraído muitos pesquisadores, em função da importância prática e teórica de transportes. Muitas variações têm sido consideradas, sendo a grande maioria voltada para uma área específica do terminal e poucos trabalhos voltados para a análise dos fatores de

relevância das operações de transferência intermodal e dos locais da transferência. Nesse sentido, destaca-se a necessidade de ampliar a visão do sistema, além dos navios em berços, e entender como os processos, do lado da interface terrestre, também podem contribuir com um melhor desempenho do terminal portuário e do atendimento ao navio.

Na visão holística do sistema global, o questionamento que se faz está relacionado às variáveis que melhor representem a configuração do sistema integrado, considerando múltiplos fatores relacionados com as estruturas:

- Física, no sentido de localização do Pátio Ferroviário: longe do terminal de contêineres, próximo ao terminal de contêineres ou dentro do terminal, e características das vias de ligação e equipamentos;
- Organizacional: como gerenciar os múltiplos interesses de muitos agentes muitas vezes conflitantes.

Além disso, como considerar os fatores estruturais ao mesmo tempo em que a eficiência e a segurança das operações sejam garantidas? Na complexidade do ambiente de transporte, critérios qualitativos e quantitativos, com frequência, podem estar inter-relacionados com atitudes e percepções dos muitos agentes. Portanto, uma estrutura lógica para representar a complexidade e a vagueza das percepções e auxiliar a decisão se faz necessária. Este estudo tem o objetivo de tratar esse problema.

Considerando as características de complexidade e a incerteza que envolve a decisão da configuração entre os sistemas PF e TC, a metodologia proposta tem ainda por finalidade estabelecer os níveis de decisão, a hierarquização dos pontos de vista dos agentes envolvidos e os instrumentos para a decisão dos atributos da configuração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres.

A identificação dos fatores que caracterizam a transferência intermodal entre o PF e o TC deve permitir a seleção dos atributos que mais contribuam para a integração entre um pátio ferroviário e um terminal portuário. E, com isso, a caracterização do Sistema Integrado.

O principal componente dessa metodologia é a consideração das incertezas do terminal portuário e dos julgamentos de vários agentes, como fator determinante para

essa decisão no modelo proposto (item 5.3), que vem a ser uma inovação importante da tese.

Assim, a metodologia proposta neste trabalho tem por objetivo estabelecer o Modelo de Integração que represente os componentes mais relevantes da configuração da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres conceituais.

## **5.2 O TIPO DE MODELO PROPOSTO**

O modelo proposto nesta tese consiste em um modelo híbrido, baseado nos conceitos da Teoria de Sistemas e Método de Análise Multicritério para auxiliar a tomada de decisão das variáveis que caracterizam as entradas e saídas dos subsistemas componentes do Sistema Integrado em um determinado estado.

Conforme BOVY *et al.* (2006), a ciência de transportes investiga as características do sistema e seus subsistemas modais. Essas características se referem ao projeto, uso, manutenção e operações do sistema e seus elementos. A operação e o desempenho do sistema de transporte requerem a tomada de decisão de forma permanente. A qualidade das decisões depende do conhecimento das funções e do tipo de decisão no horizonte de tempo.

Segundo PEREIRA (2009), um modelo deve estar condicionado à função do subsistema no sistema. Assim, o modelo é a representação das funções que são solicitadas serem executadas no sistema. Devido aos objetivos exigidos para o funcionamento do sistema, os subsistemas são caracterizados pelos atributos pertinentes à função do subsistema nesse sistema. Esses atributos não são, necessariamente, o conjunto de todas as variáveis endógenas que poderiam ser considerados no subsistema, mas apenas aquelas capazes de proporcionar uma interação real entre entradas e saídas dos subsistemas, compatível com o objetivo global do sistema objeto de estudo.

De acordo com o INCOSE (*International Council on Systems of Engineering*, 2011), modelos de sistemas podem ser modelos híbridos entre descritivos e analíticos. Eles com frequência abordam vários domínios que podem ser integrados para garantir uma representação consistente e coesiva do sistema. Além disso, um modelo de sistema

compreende múltiplas visões, tais como planejamento, necessidades, projeto, implementação, desenvolvimento, estrutura, dados de entrada e saída.

Um caminho para simplificar sistemas muito complexos é permitir algum grau de incerteza na sua descrição. Isso implica em agregar de forma adequada ou resumir várias entidades do sistema em um bloco. As informações obtidas desse sistema simplificado são menos precisas, mas sua relevância para o sistema original é totalmente mantida. Em outras palavras, a informação perdida pela necessidade de reduzir a complexidade do sistema a um nível gerenciável é traduzida em termos de incerteza. Nesse sentido, a incerteza pode ser vista como falta de conhecimento *a priori*, referente ao resultado de uma ação ou ao efeito de uma condição (KLIR *et al.*, 1988).

Os sistemas Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêineres constituem-se em um sistema de estrutura conhecida. Portanto, para se contribuir com o estudo da integração entre um PF e TC, faz-se necessário o estabelecimento de um modelo de análise do sistema, conforme os conceitos vistos no item 4.2.2.4, referentes ao estudo da modelagem.

Além disso, a multiplicidade de atributos para a caracterização dos subsistemas trouxe o problema de escolha e de ordem de relevância entre os atributos. Essa necessidade levou à aplicação de um método de decisão multicritério, a AHP. Esta tem sido largamente usada e se mostrado adequada, com utilização de vários critérios para que a escolha final atenda a demandas específicas. A metodologia de análise multicritério padroniza ou sistematiza o processo de tomada de decisão.

### **5.3 O MODELO DE INTEGRAÇÃO**

O Modelo proposto faz uma extensão dos conceitos de ZADEH para sistemas complexos de engenharia, em que considera as entradas/ saídas para um dado estado do sistema. Por isso, não se trata de uma aplicação do modelo de ZADEH. A principal inovação deste trabalho está nessa simplificação.

Para a caracterização do Modelo de Integração, faz-se uma alteração na concepção do modelo de entradas e saídas de ZADEH. Embora utilize o 2º conceito de sistema de ZADEH, neste trabalho, simplifica-se a caracterização do subsistema, escolhendo os atributos capazes de definir a função do subsistema no sistema. Daí o interesse

nas entradas e saídas, ou seja, nos conceitos de domínio e contradomínio de objeto abstrato apresentados no capítulo quatro.

Dessa maneira, a TGS foi usada para a descrição da constituição do sistema e o método AHP foi usado dentro da TGS por permitir as entradas qualitativas e a divisão do problema em partes constitutivas de menor complexidade. Assim, pode-se dizer que os objetivos da TGS e da AHP são diferentes e ao mesmo tempo complementares, sendo o da TGS de interação, enquanto o da AHP da natureza.

O estabelecimento de um modelo matemático de um sistema real, segundo PEREIRA (2009), conduz aos modelos indutivos e dedutivos. A variabilidade do sistema em modelos indutivos é expressa em função de cada componente isolado e, em modelos dedutivos, é expressa de forma implícita pela variabilidade do conjunto do sistema.

Para um modelo indutivo, as propriedades do sistema são deduzidas a partir do conhecimento detalhado das propriedades dos componentes e da determinação das interações elementares entre os mesmos.

O estabelecimento de um modelo indutivo quase sempre leva a uma formulação matemática considerada pesada. Isso se deve ao fato de que todas as propriedades de cada componente não têm a mesma importância em comparação com as propriedades do sistema. Assim, se certo conjunto de propriedades do sistema completo é representado por um modelo cuja precisão tenha sido fixada, então muitas propriedades de componentes isolados podem ser desprezadas e, portanto, diminui-se a complexidade do modelo final.

A dificuldade de tal método reside na determinação do conjunto mínimo de propriedades do sistema, necessárias para levar em conta a variabilidade dos componentes.

No caso da TGS, o estabelecimento do modelo matemático de um sistema está sujeito a duas exigências básicas: a finalidade a que se destina o modelo e a precisão com que se deseja obter o modelo. A partir dessas exigências, o modelo deve ser adequado ao comportamento e à natureza do sistema (PEREIRA, 2009).

O conhecimento detalhado das propriedades dos componentes do PF e TC e das suas interações elementares permite identificar a estrutura do sistema. Fundamentando-se

na TGS, o problema de análise de um sistema de estrutura conhecida tem por objetivo o estabelecimento do modelo matemático do Sistema Integrado. As etapas componentes de um modelo de análise, de um modo geral são a de caracterização e a de geração do modelo, conforme detalhado no capítulo quatro.

A etapa de caracterização consiste no levantamento dos atributos pertinentes à função que o subsistema insere no sistema em análise. A caracterização dos subsistemas é feita pelas funções e por meio dos atributos. Enquanto a geração do modelo consiste no estabelecimento das equações de constrangimento, cujo conjunto de equações expressa por meio de suas variáveis, os atributos da integração do sistema por meio das interações entre eles e representados no Modelo Conceitual Simbólico.

Na teoria de Zadeh, conhecendo-se os atributos de cada componente, as equações de definição e as equações de interação entre componentes, pode-se estabelecer o modelo matemático representativo do comportamento dinâmico do sistema físico. Por outro lado, para sistemas complexos de transporte, não se consideram as equações de definição usadas no problema de análise de sistemas físicos.

Nesses sistemas, depois de definidos os atributos mensuráveis dos subsistemas que integram o sistema, estabelecidas as entradas e observadas as saídas, dispõe-se do comportamento individualizado de cada sistema. A partir disto, estabelecem-se os elementos de correlação entre saídas e entradas dos subsistemas, para um dado estado, interconectados para a realização de um objetivo.

O modelo estruturado dessa forma constitui-se em uma abordagem sistêmica para analisar a integração entre os sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres e fundamenta-se na TGS, a qual estabelece as interações entre os subsistemas, enquanto a AHP permite hierarquizar os atributos que qualificam os subsistemas que compõem o sistema no modelo.

Considerando a necessidade de simplificação, a proposta foi desmembrada em três etapas, que correspondem respectivamente a:

- **Etapa 1:** O estudo do problema e a identificação das funções relevantes entre os diferentes sistemas do PF e do TC. Essa etapa fundamentou-se na pesquisa bibliográfica, em visitas a terminais portuários e pátios ferroviários e nas entrevistas;

- **Etapa 2:** A caracterização do sistema por meio do levantamento dos atributos pertencentes à função que os subsistemas inserem no Sistema Integrado (composto pelo sistema PF e TC). Para a seleção dos critérios que melhor contribuem com a configuração para a transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres, utilizou-se como Método de Decisão Multicritério (MCDM) o método da Análise Hierárquica de Processo;
- **Etapa 3:** A concretização do Modelo de Integração dos dois sistemas por meio dos elementos componentes que representam as características funcionais do sistema global e suas inter-relações.

Considerando-se que a TGS tem uma natureza representativa, discreta e não normativa, então, os componentes do sistema são relevantes do ponto de vista da composição do sistema pela natureza de sua interação, em vez da natureza dos elementos constituintes da interação. Segundo PEREIRA (2009), a TGS não tem por objetivo o estudo do sistema, mas a forma de interação e, portanto, com a descrição do sistema.

Ao tratar-se de um sistema de estrutura conhecida, torna-se necessária a identificação dos atributos que o caracterizam. Assim, os subsistemas constituintes e suas interações são identificados pelas funções que executam no sistema, sendo as funções caracterizadas pelos seus atributos.

A necessidade de definição das entradas e saídas dos subsistemas da TGS requer o conhecimento da constituição dos elementos básicos de cada componente. Por outro lado, os critérios considerados na AHP, sinalizam os atributos que devem ser mensuráveis para atender a condição de subsistência do subsistema no sistema por meio das interações entre as entradas e as saídas.

O ambiente com muitos atributos promove muita complexidade. Como consequência, é necessário identificar as entradas que representam esses atributos. Diante disso, o modelo precisa identificar: quais são os atributos inerentes ao sistema de transporte considerado? E, em função desses atributos, quais as entradas e saídas são consideradas dentro do domínio e contradomínio?

Partindo-se da premissa que os atributos podem ser melhor definidos por meio da AHP (são ponderáveis) e incorporados às características internas do subsistema, a definição das entradas e saídas dos subsistemas componentes, com a AHP, pode ser mais representativa no Sistema Integrado.

Trata-se de uma simplificação, uma vez que as entradas e saídas caracterizam os subsistemas com determinados atributos. Pode-se entender um atributo como um *status quo* interno do subsistema, resultante de muitas variáveis quantificáveis e, que cada característica corresponde a uma entrada.

Assim, a TGS favoreceu a concepção e a chegada ao modelo real proposto, pois a finalidade da TGS é dar uma forma conceitual simbólica das interações entre os subsistemas componentes do Sistema Integrado. Por se tratar de um sistema de estrutura conhecida, a forma de representação do modelo do Sistema Integrado requer o conhecimento das características operacionais do sistema.

Os atributos que caracterizam a função podem não ter uma representação matemática, mas têm a representação funcional resultante das interações entre os subsistemas da transferência intermodal em que ocorrem.

A representação matricial, em função da complexidade do PF e do TC, não especifica a natureza dos atributos, mas a interação entre entradas e saídas dos subsistemas.

A vantagem dessa representação reside no fato que, em uma linguagem holística e genérica, é suficiente para o estabelecimento do modelo conceitual simbólico que se caracterizam os componentes dos sistemas PF e TC por meio dos atributos suscetíveis de permitir a identificação da função de cada subsistema no conjunto.

A utilização dessa abordagem descritiva se justifica por estar em acordo com os conceitos preconizados pela TGS. Além disso, a formulação do modelo matemático final exigiria um tratamento quantitativo, cujos dados não foram possíveis obter.

### **5.3.1 Aplicação da Teoria Geral de Sistemas**

A Teoria Geral de Sistemas tem influenciado de modo crucial o desenvolvimento de teorias nos mais diversos campos do conhecimento, como: ciência da computação, teoria da informação, teoria autômata, inteligência artificial, redes neurais artificiais,

ciência cognitiva, modelagem computacional, simulação, sistemas dinâmicos, entre outros (MINGERS e WHITE, 2009).

Assim, a consideração da Teoria Geral de Sistemas como um método potencial para a abordagem da primeira etapa do problema se deve as suas características de interdisciplinaridade e possibilidade do problema ser visto segundo os aspectos de um sistema, como: os limites de contorno da organização, como um todo composto de elementos, as conexões e relações de dependência entre essas conexões, os diferentes níveis e forma de controle, a identificação do objetivo do sistema, entre outros (PEREIRA, 2009).

Nesse sentido, a integração entre o pátio ferroviário e o terminal portuário pode ser vista como um sistema técnico cujo processo de transformação principal é o reposicionamento de contêineres em diferentes veículos de transporte ou locais do pátio, ao mesmo tempo em que os critérios de eficiência e de confiabilidade sejam mantidos.

Para tanto, considerou-se os objetivos dos sistemas pátio ferroviário e terminal de contêineres para determinar o Sistema Integrado e os objetivos dos subsistemas na interação com o sistema global. Para a identificação das interações de cada subsistema, foi necessário definir as funções de cada subsistema do pátio ferroviário que possibilitem uma ação eficaz do terminal de contêineres a partir da ação do pátio ferroviário.

A identificação dos subsistemas componentes e das inter-relações entre eles permite determinar os principais fluxos físicos de contêineres e de equipamentos de transporte e os fluxos de informações e autorizações de transferência. Essa compreensão auxiliou no direcionamento das possibilidades de estudos sobre o sistema integrado.

A modelagem proposta inclui uma representação dos atributos por meio dos seus componentes físicos, fluxos e outros fatores que caracterizem o ambiente físico e organizacional, quais sejam do ponto de vista do pátio ferroviário como do terminal de contêineres.

Além de refletir a estrutura física do sistema, o modelo busca retratar a estrutura organizacional, tanto do pátio ferroviário como do operador do terminal de contêineres. Esse aspecto foi observado por meio das entrevistas e, em função da maneira pela

qual as pessoas reagem a diferentes situações, como tomam decisões. O componente comportamental foi colocado dentro do modelo na forma das decisões que devem ser determinadas pela observação direta de processos reais de decisão no sistema e das ponderações das preferências vivenciadas pelos especialistas.

### **5.3.2 Aplicação de Método de Análise Multicritério**

A caracterização das funções dos subsistemas por meio dos atributos requer a escolha entre múltiplos critérios. Além disso, como as funções da transferência intermodal entre o Pátio Ferroviário e o Terminal de Contêineres envolvem a decisão do local onde pode ocorrer a transferência. O método também contribui para identificar a importância do atributo em relação ao local da transferência intermodal. Como instrumento para auxiliar essa questão, propõe-se o desenvolvimento de um modelo baseado nos conceitos de *AHP*.

RODRIGUES *et al.* (2001) afirma que o *AHP* é um dos métodos mais adequados para o apoio à tomada de decisão em planejamento de transportes, bem como em avaliação de alternativas de ação de investimentos em infraestrutura.

A metodologia proposta *AHP* tem sido usada para resolver problemas de seleção, por exemplo, do porto, do equipamento de cais ou da medida de desempenho mais adequados NAZARI (2005), SONG *et al.* (2004), ONUT *et al.* (2010), SEYED *et al.* (2009), DING *et al.* (2011), CALDEIRINHA (2011), entre outros. Ou seja, essa metodologia tem sido aplicada em situações em que exista alto grau de interdependência entre vários critérios para a escolha das alternativas.

O problema de decisão da escolha dos atributos da configuração de transferência proposto nessa pesquisa apresenta características de interdependência e também de subjetividades nos parâmetros de julgamento. Nesse cenário, a aplicação da *AHP* é devido a sua capacidade de reconhecer as imprecisões dos julgamentos.

O Modelo de Integração, entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres, representa a importância das variáveis de entrada e saída e da configuração da transferência, segundo a hierarquia definida pelos especialistas. Portanto, o problema de estabelecimento da configuração da transferência intermodal, em um projeto de um novo terminal de contêineres ou em estudos de expansão de capacidade em um

terminal existente, necessita da identificação das variáveis que possam melhor contribuir com a caracterização do Sistema Integrado.

As técnicas tradicionais exigem custos elevados na coleta de dados quantitativos, os quais nem sempre podem ser disponibilizados, além de não permitirem a inclusão de variáveis qualitativas, como segurança e confiabilidade na análise das alternativas.

Dessa forma, considera-se que o problema abordado neste trabalho tenha uma natureza holística e, portanto, de acordo com SAATY (1980), “necessita que ele seja dividido em áreas de assuntos menores, dentro das quais diferentes grupos de especialistas determinam quanto cada área afeta o problema total”.

Assim, o trabalho proposto considera como parte integrante do modelo determinar a hierarquia dos atributos dos subsistemas componentes da transferência intermodal e a relevância destes em relação ao local da transferência, utilizando o Processo de Análise Hierárquica.

#### **5.4 ESTABELECIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO**

Para estabelecer os componentes do Sistema Integrado foi necessária a identificação das funções executadas pelos sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres, conforme descrito no capítulo dois desta tese. Essa atividade fundamentou a primeira etapa do Modelo do Sistema Integrado. A segunda e terceira etapa do Modelo são apresentadas no próximo item.

##### **5.4.1 Objetivo do Sistema Integrado**

O objetivo do Sistema Integrado, formado pelo Pátio Ferroviário e pelo Terminal Portuário de Contêineres, é o atendimento da demanda de movimentação de contêineres. As relações entre os componentes são representadas pelos fluxos de entrada e saída. Estes representam conjuntos de informação, veículos (trens e navios) e contêineres, vindos do meio ambiente externo e são gerenciados pelos respectivos módulos de controle. O processo de atendimento tem como marco a chegada do navio e nesse sentido os sistemas se organizam em torno de objetivos menores específicos como:

**Pátio Ferroviário:** a entrega e a coleta de contêiner no terminal de contêineres; a recepção de contêineres vindos de pátios interiores com destino ao terminal, ou do terminal com destino ao interior; a estocagem temporária de vagões com contêineres; a transferência de contêineres entre trens e linhas de estocagem; a formação de trens para o TC.

**Terminal de contêineres:** Recepção e alocação de navios em berços; carga e descarga de contêiner do navio; a transferência de contêineres entre pátio de estocagem e área embarque/desembarque no navio; a estocagem de contêineres para exportação (vindos do pátio ferroviário); a estocagem de contêineres de importação (vindos do navio); a transferência de contêineres entre trens e pátio de estocagem; a recepção/entrega de contêineres do pátio ferroviário.

#### **5.4.2 Os Fluxos entre os Sistemas**

A partir dos objetivos listados acima, pode-se identificar as funções executadas pelos elementos dos sistemas Pátio Ferroviário (PF) e Terminal Portuário de Contêineres (TC) que servirão de base para a caracterização dos subsistemas e das suas interações.

Para isso, identificaram-se as atividades desempenhadas por cada componente pertencente ao PF e ao TC que estão voltadas para esse objetivo. Entre as atividades, pode-se representar aquelas que têm origem externa aos sistemas PF e TC, nesta tese chamadas de atividades de interface externa, e aquelas que têm origem interna aos sistemas PF e TC e a seus subsistemas componentes.

Os fluxos dos contêineres entre os elementos são representadas por meio das ocorrências, das localizações nas instalações e dos tipos de equipamentos e são resumidos na Tabela 5.1. Nessa tabela, pode-se identificar os módulos de atividades específicas executadas pelo PF e pelo TC, voltadas para a transferência intermodal, respectivamente, em:

- **Pátio Ferroviário (PF):** Recepção e Inspeção de Trem, Decomposição de Trem em Pátio de Manobras, Formação de Trem, Trem Saindo do Pátio Ferroviário, Controle do PF;

- **Terminal de Contêineres:** Pátio de contêineres, Área de Embarque/Desembarque, Navio, Trem saindo do TC, Controle do TC.

**Tabela 5.1** Fluxos de Contêineres nos Sistemas e entre Sistemas

Sistema	Ocorrências	Instalações - locais	Equipamentos
PF / TC			
PF / Pinterior	Chegada / Saída de trem PF	Portão acesso, inspeção.	Equipamentos de verificação, identificação
PF / PF	Transferência no pátio / Formação de trem	Linhas, desvios	Locomotiva; Equipamento de transferência de PF
PF / TC	Saída do PF para TC	Linhas entre o terminal e o pátio; desvios	Locomotiva
PF/TC	Carga / Descarga de trem na área de estocagem do TC	Locais de transferência (na doca / no pátio, fora do terminal)	Equipamentos de Pátio de Contêineres
TC / TC	Estocagem terminal	Áreas de estocagem	Equipamentos de Pátio de Contêineres
TC / TC	Transferência entre Embarque / Desembarque – Área de estocagem do TC	Vias de circulação do TC	Equipamentos de deslocamento horizontal
TC / TC	Descarga / Carga navio	Comprimento e largura do cais.	Equipamentos de Cais
TC / TExterno	Chegada / Saída navio	Acesso marítimo	Equipamentos de comunicação, sinalização

Fonte: . Elaboração própria.

#### 5.4.3 Atividades nos Sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres

As atividades de interfaces e dos componentes do sistema Pátio Ferroviário, e do sistema Terminal de Contêineres são apresentadas a seguir respectivamente nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4.

**Tabela 5.2** Atividades de Interface entre os Sistemas PF e TC.

<b>Interfaces</b>	<b>Atividades</b>	
<b>PF/Área Interior</b>	- Chegada de Trem ao PF vindo do interior	- Saída de trem do PF para o interior
<b>PF e TC</b>	- Chegada de Trem ao PF vindo do TC	- Saída de trem para o TC
	- Entrada de trem no TC para transferência no Pátio de Contêineres	- Saída de Trem do TC para o PF
	- Entrada de trem para transferência na Área de Embarque/Desembarque	
<b>TC/Área Aquaviária</b>	- Entrada de navio no TC	- Saída de navio

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 5.3** Atividades dos Componentes do Sistema PF.

<b>Subsistema / Descrição das Atividades</b>	
<b>SS1</b>	Recepção e Inspeção de Trem
	Recepção / Inspeção de vagões com contêineres, vindo de pátios do interior.
	Recepção / Inspeção de vagões com contêineres, vindo do TC.
	Contêineres em vagão liberado para seguir para TC ou para ser depositado no pátio de manobras.
	Contêineres em vagão liberado para trem de saída do PF para o interior
<b>SS2</b>	Decomposição de Trem em Pátio de Manobras ou Serviço
	Contêineres em vagões para serem classificados e depositados nas linhas de estocagem no pátio de manobras.
	Saída de Contêineres em vagões do pátio de manobras para formar trens.
<b>SS3</b>	Formação de Trem
	Vagões com ou sem contêineres sendo apanhados nas linhas de classificação e agrupados para formar trens.
	Vagões com ou sem contêineres agrupados em trem na linha de formação.
<b>SS4</b>	Saída de Trem do Pátio Ferroviário
	Trem formado no pátio, liberado para seguir para o TC.
	Trem liberado para seguir direto para o TC ou para pátio do interior.
	Trem saindo do pátio para o interior ou para o TC

Fonte: Elaboração própria.

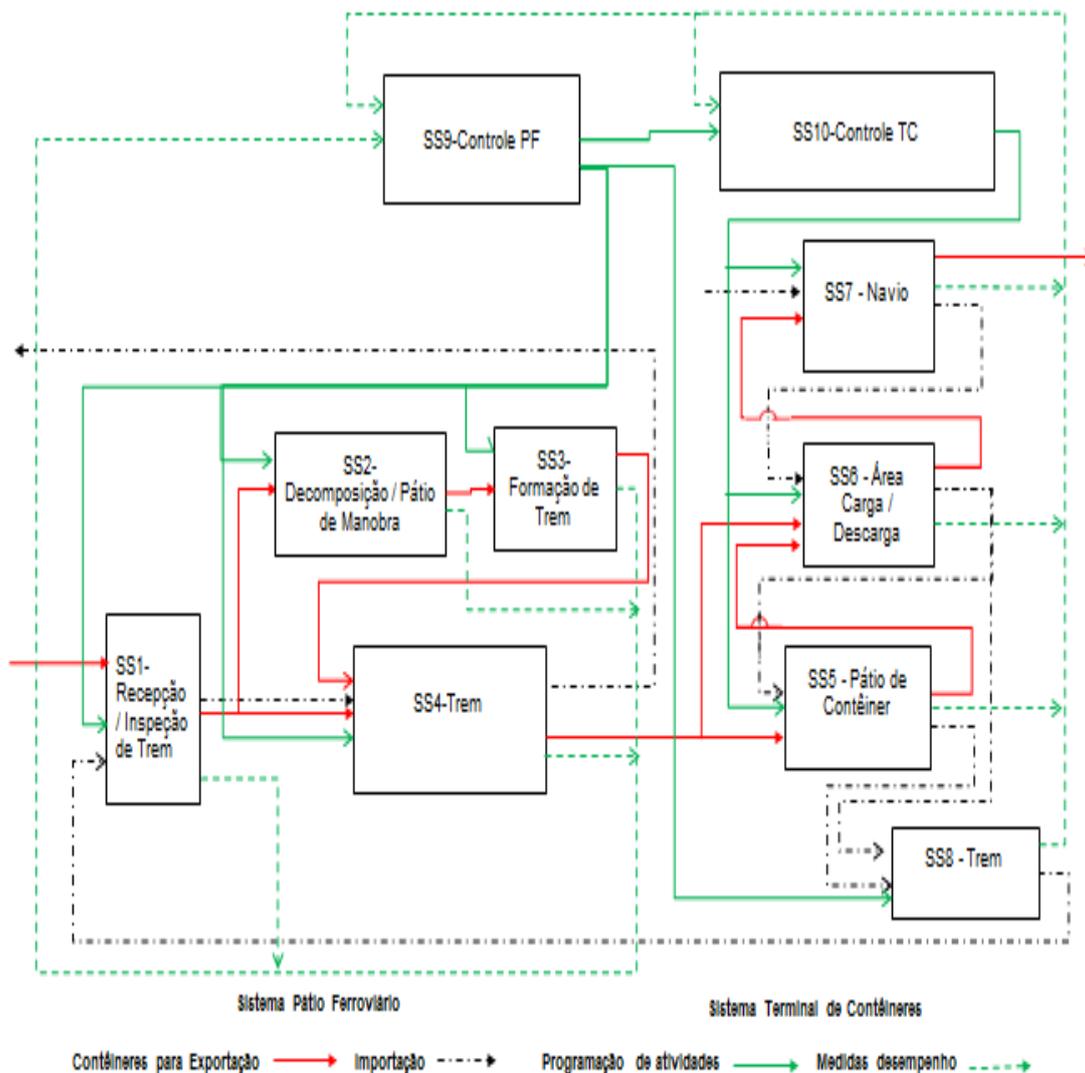
**Tabela 5.4** Atividades dos Componentes do Sistema TC.

Subsistema / Descrição das Atividades	
SS5	Pátio de contêineres
	Entrada de contêiner (exportação) vindo do trem (SS4).
	Entrada de contêiner (importação) vindo da área de desembarque (SS6).
	Contêiner seguindo para área de embarque (berço) (SS6).
	Contêiner saindo para composição ferroviária (SS8).
SS6	Área de Embarque / Desembarque
	Chegada de contêiner (exportação) vindo do pátio de contêiner (SS6).
	Chegada de contêiner (exportação) vindo do PF (SS4).
	Contêiner (importação) sendo desembarcado do navio (SS7).
	Contêiner saindo para o pátio de contêineres ou para o trem.
	Contêiner sendo embarcado no navio.
SS7	Navio
	Navio entregando contêiner (importação) na área de desembarque.
	Navio recebendo contêiner (exportação) da área de embarque.
	Carga / Descarga de contêiner na área de embarque.
	Saída de navio com contêiner.
SS8	Trem saindo do Terminal
	Contêiner (importação) saindo da área de desembarque em trem para o PF.
	Contêiner (importação) saindo do pátio de contêineres em trem para o PF.
	Saída de trem do TC para o PF.

Fonte: Elaboração própria.

As atividades nesses componentes são gerenciadas pelos respectivos módulos de controle do Sistema PF e do Sistema TC. Esses módulos têm por função gerenciar as entradas e saídas dos subsistemas baseados nas informações de chegada e ou saída de veículos, planos de carga / descarga de navios, identificação de contêineres em trens, navios e pátios e ou equipamentos e respectivas localizações e posições. Estes também comunicam as informações e os objetivos, as metas e as finalidades aos componentes do sistema.

A Figura 5.2 representa o resultado da aplicação da primeira etapa do modelo no qual são destacadas as áreas funcionais e as ligações componentes dos fluxos entre o PF e o TC.



**Figura 5.2** Interações entre Componentes do Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêineres para a Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

A partir da representação dos fluxos entre os módulos de atividades e de controle definidos na Figura 5.3, foi possível identificar os subsistemas considerados como aqueles que executam as funções pertinentes á transferência intermodal.

As informações e as medidas de desempenho dos componentes que permitem os módulos de controle programar as tarefas de cada componente e emitir autorizações

de operações internas aos componentes e de ligação entre os mesmos serão tratadas no próximo capítulo.

## **5.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO**

Para problemas de decisão que tratam da escolha da configuração entre pátios ferroviários e terminais de contêineres, poucos trabalhos foram encontrados e, que se tenha tido acesso, nenhum trabalho com a extensão dos conceitos de ZADEH em sistemas complexos de engenharia juntamente com o uso da AHP para a escolha das variáveis de entrada e saída dos componentes do Sistema definido pela TGS.

A principal contribuição dessa abordagem é o tratamento do problema envolvendo outras variáveis, em vez do custo, difíceis de serem obtidas, e a inclusão de variáveis linguísticas no processo de tomada de decisão dos critérios. Outras contribuições importantes são a possibilidade de considerar os vários interesses entre os agentes envolvidos, além de permitir captar o conhecimento informal, intrínseco nas operações.

Além dessas, o registro dos níveis de importância dos critérios de decisão auxilia o processo de documentação, contribui com a transparência dos processos de decisão e facilita o processo de aprendizagem mútua entre os agentes e operadores envolvidos ao longo do tempo.

Em função da complexidade do sistema integrado, observa-se que um melhor entendimento dos componentes dos sistemas PF e TC e de suas interações voltadas para a integração intermodal pode contribuir para a identificação dos fatores preponderantes dessa estrutura. Portanto, evidencia-se a validade da modelagem do problema como um modelo de análise.

## **6. APLICAÇÃO DO MODELO DE INTEGRAÇÃO**

Este capítulo apresenta a aplicação do modelo do sistema integrado da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres. O objetivo da aplicação é identificar as entradas e saídas que caracterizam os atributos dos subsistemas componentes do sistema com a AHP e construir o modelo de análise baseado nos conceitos da Teoria de Sistemas. Por fim, explicitar as etapas e os passos do Modelo de Integração proposto.

### **6.1 APLICAÇÃO DA AHP**

Para estruturar o Sistema Integrado com os subsistemas componentes, faz-se necessário escolher os critérios que melhor representem a transferência intermodal.

A complexidade da decisão e os muitos atores envolvidos requerem a definição dos fatores mais preponderantes para o sistema atingir o seu objetivo. O método escolhido para essa abordagem é o Método de Análise Hierárquica, o qual será aplicado a seguir. Busca-se, desse modo, uma simplificação por meio da identificação das variáveis relevantes para o problema da transferência intermodal entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres para posteriormente escolher as variáveis de entrada e saída que caracterizam o Sistema Integrado.

#### **6.1.1 O Objetivo do Modelo AHP**

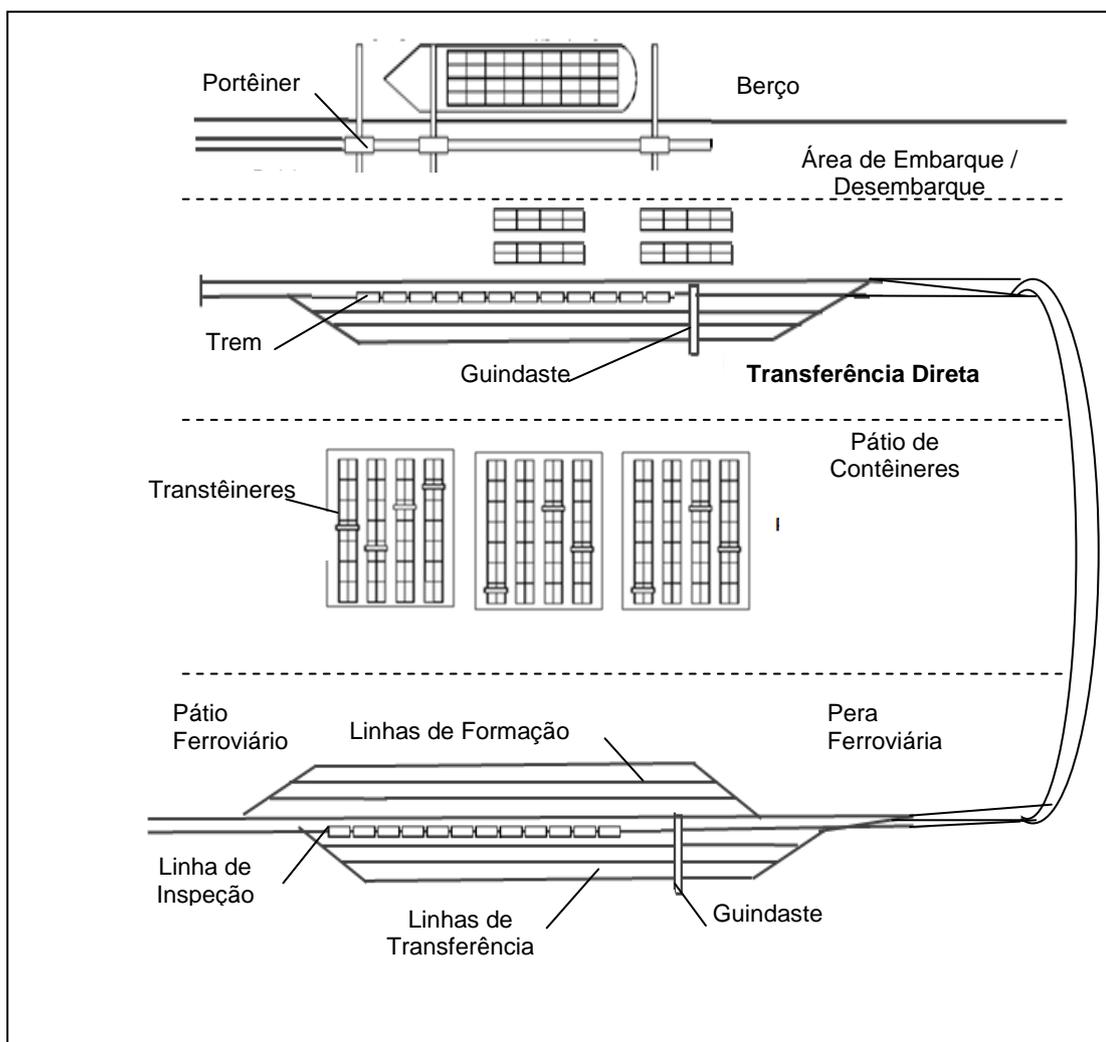
O objetivo do modelo é identificar os pesos dos critérios da transferência intermodal entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres e associar a importância desses critérios e ou subcritérios com três possibilidades de locais de transferência. A hierarquia dos critérios permite identificar aqueles que melhor contribuem com o desempenho da transferência intermodal e, portanto, com uma maior integração entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres.

O terminal de contêineres pode ser visto como uma estrutura multietapas e com interações competitivas entre contêineres para dois ambientes limitantes (as áreas do pátio de contêineres e as áreas do berço), como representados nas Figuras 6.1 e 6.2, sendo trazidos e levados por trens localizados no pátio ferroviário e por navios situados no berço de atracação.

### 6.1.2 Os Locais da Transferência Intermodal

A decisão da configuração da transferência, do ponto de vista da estrutura física, incluiu três possibilidades:

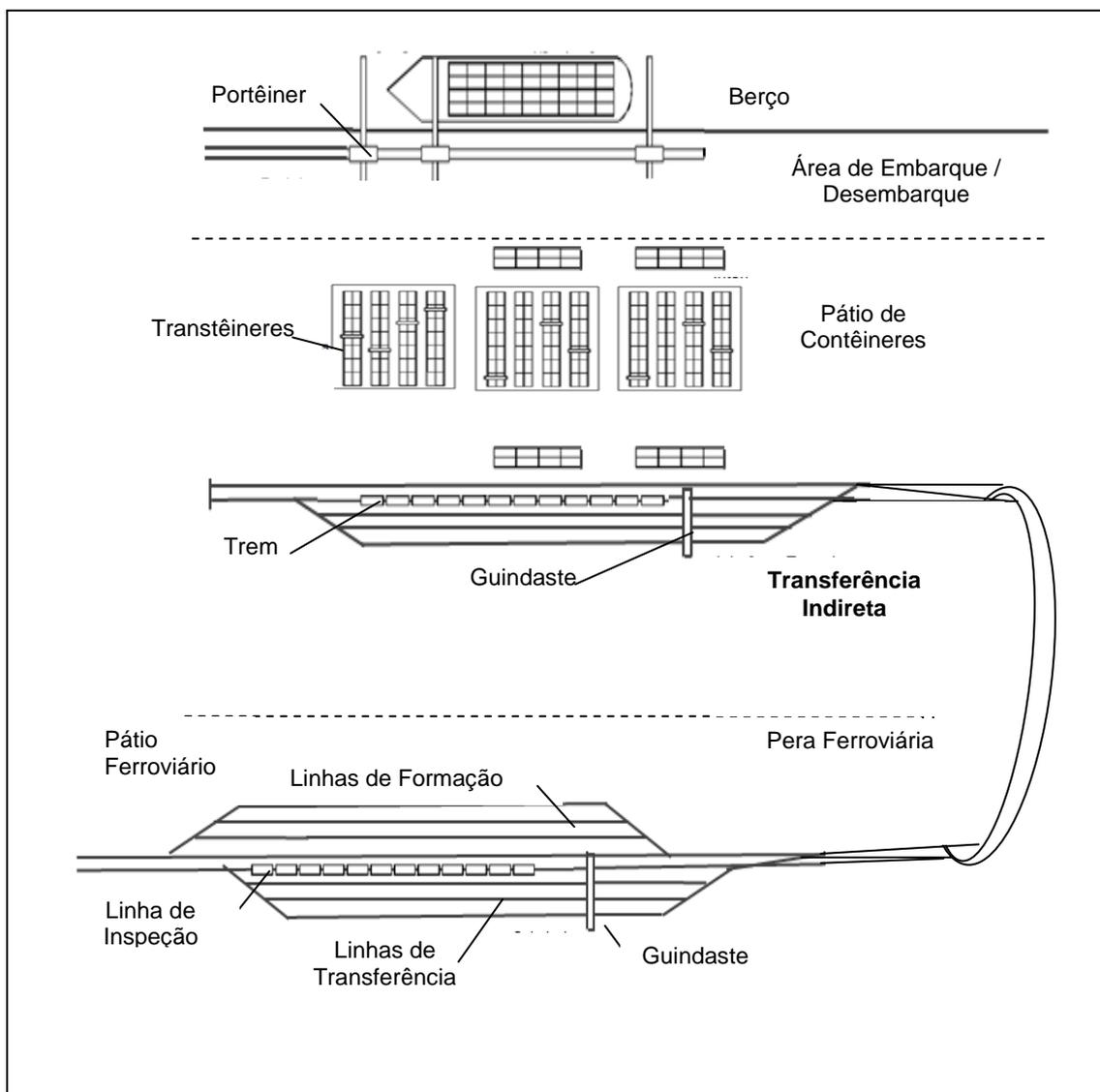
- A **transferência direta**: entre o pátio ferroviário e o navio (*on dock*), como no exemplo da Figura 6.1. Nessa situação, o trem segue até o cais para deixar ou apanhar contêineres sem serem estocados no pátio de contêineres do TC. Assim, a transferência acontece na doca, a qual é provida de linhas para estocagem temporária e equipamentos de transferência de contêineres;



**Figura 6.1.** Transferência Direta entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.

Fonte: Elaboração própria.

- A **transferência indireta**, mas dentro da área de alfândega: entre pátio ferroviário e o pátio de contêineres (*near dock*), como demonstrado na Figura 6.2. Nessa alternativa, o pátio ferroviário é ligado ao TC na linha de recepção do pátio de contêineres. Assim, a transferência acontece no pátio do Terminal de Contêineres com equipamentos de pátio, onde os contêineres são estocados para posteriormente serem deslocados até a área de embarque/desembarque e o inverso no sentido da importação. A localização do pátio ferroviário dentro da área atendida por serviços aduaneiros pode permitir, por exemplo, maior agilidade na liberação dos contêineres para exportação, no pátio ferroviário, antes de seguirem para embarque no navio;



**Figura 6.2.** Transferência Indireta entre Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.

Fonte: Elaboração própria.

- A **transferência indireta**, como na opção anterior, mas o pátio ferroviário está situado fora da área de alfândega podendo ser um terminal intermodal ou não: Essa possibilidade é similar à alternativa da transferência de contêineres entre o trem e o pátio de estocagem de contêineres. Entretanto, a localização do pátio ferroviário fora da área de serviços aduaneiros faz com que os contêineres do trem que chega ao portão do Terminal de Contêineres ainda necessitem de liberação alfandegária.

### 6.1.3 Determinação dos Critérios de Avaliação

Geralmente o custo é o fator determinante para a tomada de decisão. Especialmente nas transferências intermodais, estas implicam em custos operacionais, administrativos e burocráticos que são incluídos no total do frete, impactando na competitividade.

Por outro lado, a redução de custos está baseada em outros fatores, como a melhoria da eficiência do sistema por meio do melhor uso das infraestruturas, tecnologias e modelos de gestão que permitam uma maior confiabilidade da integração. Assim, a escolha da configuração da transferência está apoiada sobre o julgamento de importâncias de características que contribuam para o cumprimento dos objetivos de aumento da competitividade entre portos e terminais.

Em NOTTEBOOM *et al.*, (2009), as medidas consideradas importantes para a análise do desempenho dos portos são a eficiência, a propriedade dos portos e terminais, a dimensão, o transbordo, o investimento e a atuação como porto concentrador. Para CULLINANE *et al.*, (2004), as medidas consideradas determinantes são a eficiência e o tempo de operações, o que também pode ser representado pela eficiência.

A definição dos critérios de julgamento utilizados neste estudo fundamentou-se na pesquisa bibliográfica e em entrevistas realizadas com um operador portuário, um operador ferroviário e um especialista em projetos portuários. O resultado apontou como critérios determinantes para a transferência intermodal: Estrutura Física, Estrutura Organizacional, Eficiência Intermodal e Segurança Operacional. Dada a amplitude e a complexidade de cada critério, procurou-se também identificar os componentes de cada critério por meio das referências bibliográficas. Os componentes são:

- **Estrutura Física (EF):** Representa a capacidade da infraestrutura física da ligação intermodal (SAANEN, 2004). Tem por objetivo identificar o grau de importância da infraestrutura na configuração da transferência:
  - **Características da via (EF1):** Representa a distância entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres, o número de linhas e o espaço entre elas, o número de desvios e o estado de conservação;
  - **Equipamento de transferência de carga/descarga (EF2):** Número e tipo de equipamentos do terminal de contêineres e do pátio ferroviário e capacidades operacionais;
  - **Área de estocagem no Terminal de Contêineres (EF3):** Tamanho do pátio medido em TEU;
  - **Área de estocagem no Pátio Ferroviário (EF4):** Tamanho do pátio de estocagem medido em TEU. Considera-se equivalente ao número de vagões tipo plataforma.
  
- **Estrutura Organizacional (EO):** Esse critério procura expressar as novas tendências de negócios, traduzidas em termos de verticalização de empresas e ou alianças entre os diferentes agentes. Nesse ambiente, destaca-se a crescente participação, por exemplo, dos armadores, atuando também como operadores de terminais portuários e de exportadores com foco na cadeia de transportes (BAUCHET, 1998 e VAN DER HORST *et al.*, 2010).
  - **Níveis de gestão (EO1):** Pretende identificar a influência da tendência de novas formas de gestão de negócios entre empresas, as quais se identificaram como: independente, compartilhada e ou a mesma. Exemplo: O gerenciamento pode ser público, público-privado ou totalmente privado e ou compartilhamento de recursos e ou espaços;
  - **Níveis de propriedade (EO2):** Tem por objetivo identificar a influência da gestão de negócios entre empresas, as quais se identificaram como verticalizada, parcialmente verticalizada, horizontalizada. Exemplo: Uma empresa verticalizada é aquela que detém a propriedade do terminal, do navio e de trens e vagões;
  - **Nível tecnológico de equipamentos (EO3):** Consiste em diferentes tecnologias de equipamentos que devem ser adaptadas para a movimentação

de diversos tipos de cargas entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres, como por exemplo, a automação de máquinas. Este busca identificar se o nível tecnológico dos equipamentos pode impactar a transferência;

- **Sistema de Gestão da informação integrado (EO4):** Tem por objetivo identificar a influência de sistemas de gestão da informação, como sistemas de troca eletrônica de dados e de portos sem papel no desempenho da transferência intermodal.
- **Eficiência Intermodal (EI):** A eficiência representa o desempenho do terminal em processar contêineres (BICHOU, 2009 e SAANEN, 2004). Busca identificar a importância na configuração da transferência intermodal:
  - **Taxas portuárias e ferroviárias (EI1):** Envolvem fundeio, amarração, movimentação no terminal, taxas de carga / descarga, de transbordo, de segurança, de estoque em trânsito e taxas de transporte ferroviário e de impostos aduaneiros. Pretende identificar a importância destas na configuração da transferência intermodal;
  - **Volume de contêineres (EI2):** Quantidades de unidades em TEU por terminal ou conjunto de berços. Busca identificar a importância do volume de contêiner nos tempos de transferência intermodal;
  - **O sentido dos fluxos (EI3):** Quantidades de unidades por sentido (importação e exportação). Tem por objetivo identificar se o sentido do fluxo de contêiner influencia a transferência intermodal;
  - **O número de navios (EI4):** de contêineres que frequentam o terminal. Busca identificar a importância do número de navios na caracterização da transferência intermodal.
- **Segurança Operacional (SO):** A segurança foi desmembrada em subcritérios relacionados ao trabalho, ambiental, de equipamentos e confiabilidade da operação (PEREIRA, 2009 e DHILLON, 2007). Tais subcritérios têm por objetivo identificar níveis de influência entre padrões de controle de segurança, políticas de risco ambiental e pessoal, perigo de trânsito e procedimentos para resolução de conflitos:

- **Segurança do trabalho (SO1):** Considera-se a influência das atividades em relação ao número de acidentes. Esse subcritério tem por objetivo identificar a relação entre a segurança do trabalho e o local da transferência;
- **Segurança ambiental (SO2):** Inclui-se a influência das atividades em relação aos impactos ambientais. Esse subcritério tem por objetivo identificar a importância da segurança ambiental em relação às operações de transferência;
- **Segurança de equipamentos (SO3):** Trata-se da influência dos equipamentos na operação e na manutenibilidade. Esse subcritério busca situar a importância da segurança de equipamentos na transferência intermodal;
- **Confiabilidade da operação (SO4):** Garantia de funcionamento de forma global, identificado, em função dos tempos de atendimento e da transferência, cumprimento de prazos, incluindo a segurança de funcionamento.

A Tabela 6.1 representa as relações entre os critérios e subcritérios considerados.

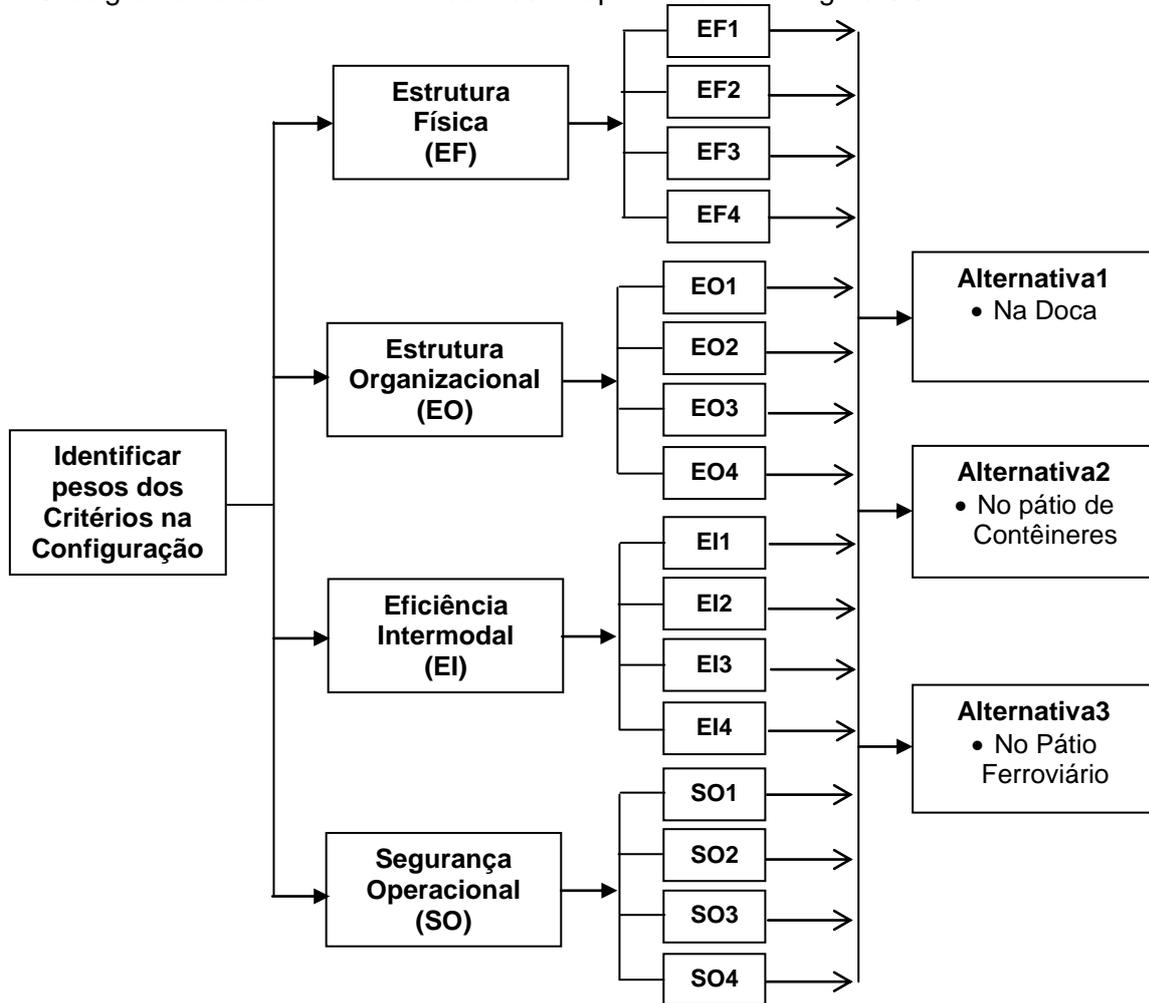
**Tabela 6.1** Relações de Interdependência entre Critérios e Subcritérios.

<b>Critério</b>	<b>Subcritério</b>	
<b>EF - Estrutura Física</b>	EF1	Características da via
	EF2	Equipamento de Transferência de carga/descarga
	EF3	Área de Estocagem no Terminal (TC)
	EF4	Área de Estocagem no Pátio Ferroviário (PF)
<b>EO - Estrutura Organizacional</b>	EO1	Níveis de Gestão (Independente, Compartilhada, Mesma)
	EO2	Níveis de Propriedade (Verticalizada, Parcialmente verticalizada, Horizontalizada)
	EO3	Nível Tecnológico de Equipamentos
	EO4	Sistema de Informação Integrado (EDI)
<b>EI - Eficiência Intermodal</b>	EI1	Taxas Portuárias e Ferroviárias
	EI2	Volumes de Contêineres
	EI3	Sentido dos Fluxos (importação/ exportação)
	EI4	Número de Navios
<b>SO - Segurança Operacional</b>	SO1	Segurança do Trabalho
	SO2	Segurança dos Equipamentos
	SO3	Segurança Ambiental
	SO4	Confiabilidade da Operação

Fonte: Elaboração própria.

### 6.1.4 Estrutura do Modelo AHP

O diagrama da estrutura do modelo está representado na Figura 6.3.



**Figura 6.3.** Estrutura da Rede do Modelo de Seleção AHP. Fonte: Elaboração própria.

## 6.2 AVALIAÇÃO DOS FATORES DA INTEGRAÇÃO INTERMODAL

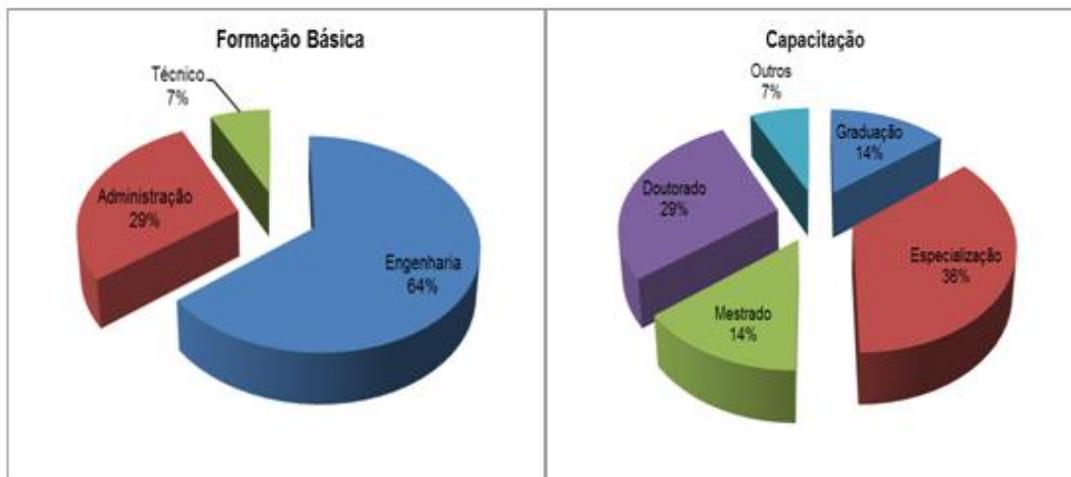
Os fatores identificados como determinantes por meio de entrevistas, juntamente com a pesquisa bibliográfica, serviram de base para propor as alternativas e os critérios de avaliação para estabelecer a estrutura da hierarquia.

### 6.2.1 Caracterização e Dados da Aplicação

Para o preenchimento dos questionários de avaliação das alternativas e dos critérios, conforme Anexo I, Inicialmente trinta especialistas de diversas regiões do Brasil, foram consultados pessoalmente e ou por meio de correspondência eletrônica. A

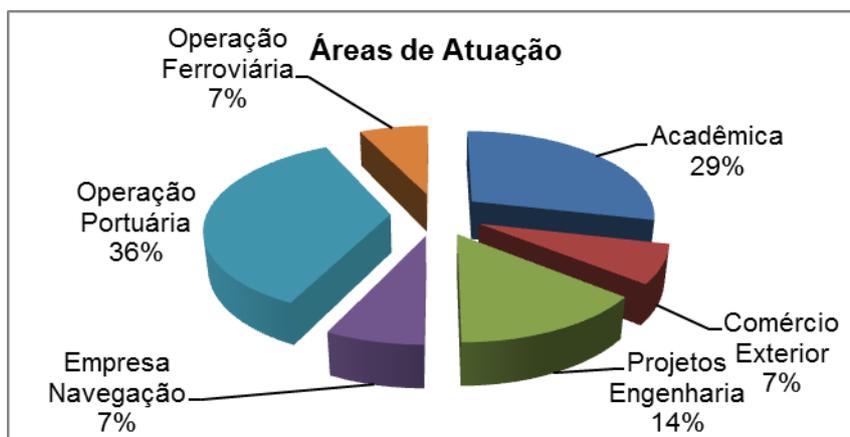
escolha foi feita em função da congruência da área de atuação com os objetivos da pesquisa, porém, com ângulos de observação diferentes. Desse total, quinze especialistas responderam e foram entrevistados. Entre esses as respostas de doze especialistas estiveram dentro do limite de consistência considerado válido de 0,10

Os perfis dos especialistas quanto à formação básica e à capacitação são apresentados na Figura 6.4.



**Figura 6.4** Caracterização dos Especialistas Consultados. Fonte: Elaboração própria.

As áreas de atuação profissional dos especialistas estão distribuídas na Figura 6.5. Entre os especialistas em operações portuárias, quatro atuam em portos da Região Sudeste (Espírito Santo, Rio de Janeiro, Itaguaí e Santos) e um no Nordeste (Ceará).



**Figura 6.5** Áreas de Atuação dos Especialistas Consultados Fonte: Elaboração própria.

A coerência do questionário apresentado no Anexo I foi avaliada com a verificação de 4 axiomas do método AHP. São eles (SAATY, 1987):

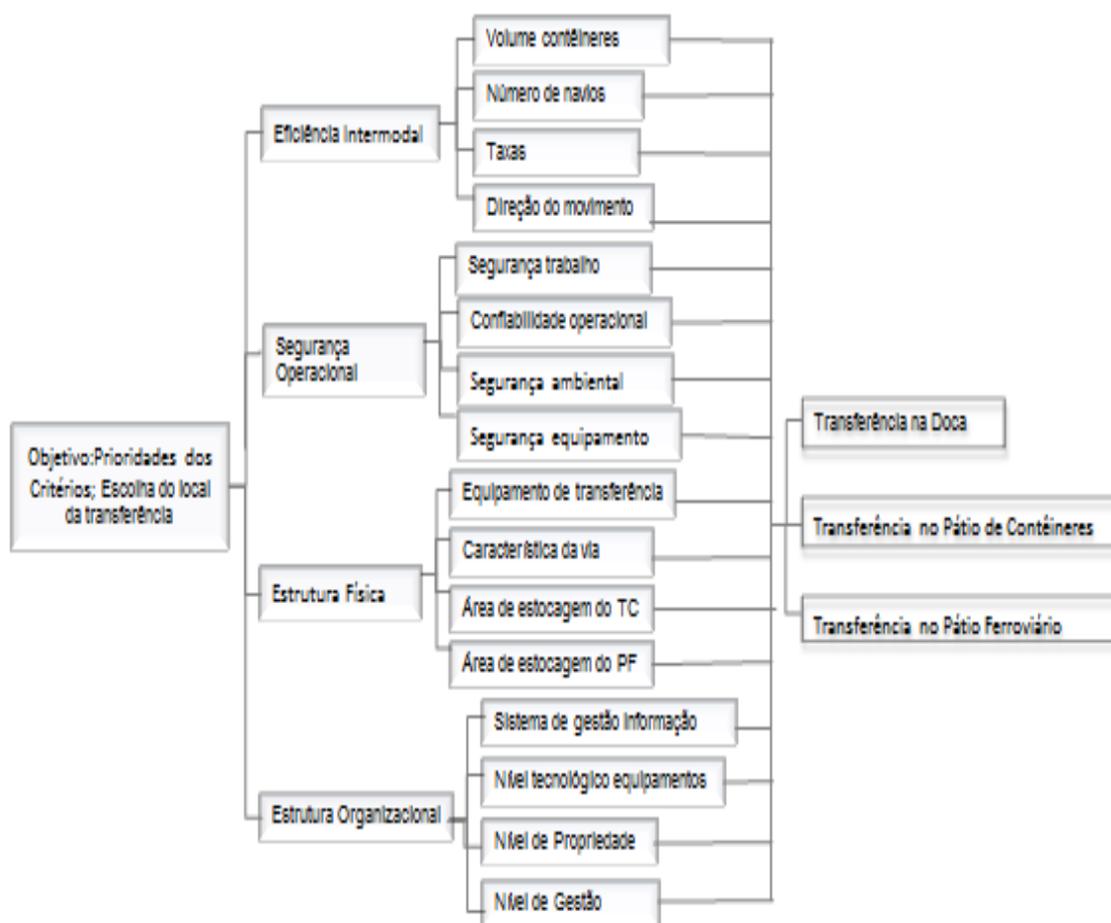
- **Comparação recíproca** - O decisor deve ser capaz de fazer comparações e manifestar a intensidade de suas preferências, sendo que estas devem satisfazer a condição de reciprocidade: se  $A$  é  $X$  vezes mais preferível que  $B$ , logo,  $B$  é  $1/X$  vezes mais preferível que  $A$ . Se isso não ocorre, a pergunta utilizada é confusa ou incorreta;
- **Homogeneidade** - As preferências são representadas por uma escala limitada. Esse axioma, portanto, restringe o limite superior da escala. Na prática, o limite superior é igual a 9. Se o decisor não pode fornecer uma resposta, então ou a pergunta não é significativa ou as alternativas não são comparáveis;
- **Independência** - Quando as preferências são declaradas, assume-se que os critérios são independentes das propriedades das alternativas. Desse modo, os pesos dos critérios devem ser independentes das alternativas analisadas;
- **Expectativa** - Para tomar uma decisão, supõe-se que a estrutura hierárquica seja completa. Se isso não ocorre, então o decisor não está usando todos os critérios e/ou todas as alternativas avaliáveis ou necessárias para encontrar suas expectativas racionais e, dessa forma, a decisão está incompleta.

No intuito de construir o conhecimento sobre os elementos do modelo, aumentar a precisão da análise e reduzir as inconsistências das avaliações, os julgamentos dos especialistas considerados foram obtidos diretamente por meio de entrevistas e analisados separadamente.

Após a estruturação do modelo, iniciou-se a fase de avaliação com a comparação de todos os elementos da hierarquia. Por meio da multiplicidade de comparações, o desempenho de cada par de alternativas foi analisado em relação aos critérios estabelecidos. As comparações aos pares foram obtidas pelo preenchimento de questionários, durante entrevista, na qual cada decisor apresentou seu julgamento, estabelecendo a relação de importância entre os elementos da hierarquia de acordo com seu interesse especial.

Após essa etapa, as matrizes dos critérios da hierarquia foram construídas para a avaliação das alternativas segundo cada critério, a partir dos pesos relativos dos critérios, segundo sua importância, bem como padronizadas as respostas e testadas a consistência.

No desenvolvimento dessa fase, foi utilizado o *software Expert Choice (versão Trial Student)* para analisar as alternativas de configuração e valoração dos critérios. De acordo com a estrutura hierárquica definida, foram inseridos no programa o nome do modelo, a meta, os critérios e subcritérios, conforme representado na Figura 6.6.



**Figura 6.6** Estrutura Hierárquica com Objetivo, Critérios e Subcritérios. Fonte: Aplicação do *Expert Choice*.

### 6.2.2 Determinação dos Pesos dos Critérios

O processo de construção das matrizes foi feito usando o *software Expert Choice*, usando os conceitos da AHP. O objetivo foi encontrar os pesos dos critérios e subcritérios para gerar as prioridades dos atributos para a transferência intermodal entre o PF e o TC, de acordo com o grau de importância dado pelos especialistas.

Dessa forma, foi estabelecida a hierarquia dos critérios em função das alternativas de configurações de transferência intermodal.

As respostas dos especialistas foram tratadas em duas etapas:

- As respostas de cada especialista foram submetidas de forma individual ao *Expert Choice* e verificada a consistência.
- Com os resultados obtidos com *Expert Choice* calculou-se as médias dos vetores de prioridades resultantes de cada matriz de todos especialistas, considerados como válidos. Estes resultados são apresentados no item 6.2.3.

Com o objetivo de exemplificar os procedimentos de cálculo do AHP, calculou-se a média das notas dos especialistas e submeteram-se esses valores ao *Expert Choice*. Os resultados obtidos e as etapas de cálculo do AHP são apresentados no Anexo II. Tomando por base o exemplo apresentado no referido anexo, os demais cálculos foram feitos segundo o mesmo procedimento.

### **6.2.3 Prioridades Obtidas**

A partir das avaliações dos decisores, foram inseridos no programa *Expert Choice* os valores dos níveis de preferências dos pares de alternativas em relação a cada critério. Para cada conjunto de comparações inerentes a um critério, o programa forneceu um valor para a Razão de Consistência. Os valores obtidos para todos os conjuntos de comparações efetuadas foram inferiores a 0,10 e, portanto, considerados válidos.

Os resultados individuais e os resultados obtidos com a média das notas dos especialistas são apresentados no Anexo III, enquanto os resultados obtidos com as médias dos vetores de todos os especialistas são apresentados no item 6.2.3.1 para validar a aplicação do AHP.

Os resultados dos valores individuais dos especialistas, comparados com os valores médios, são representados na Figura 6.7.

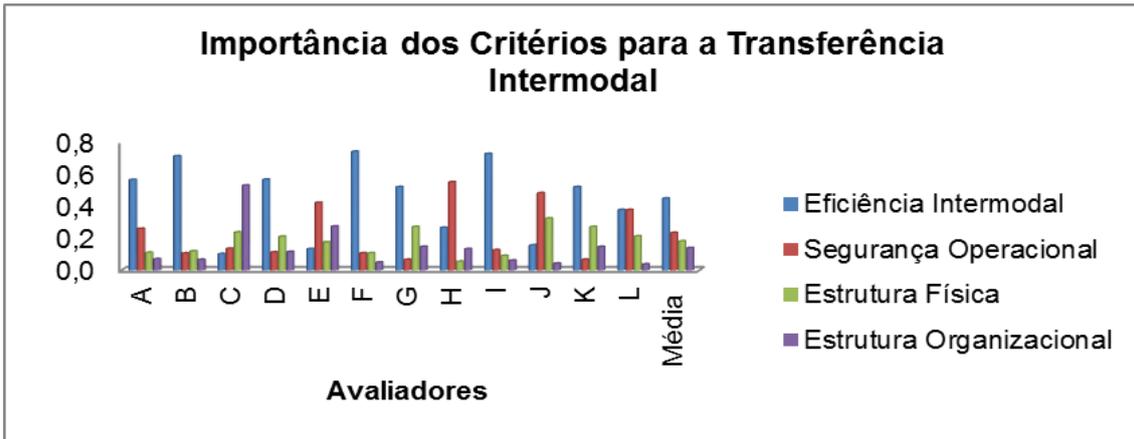


Figura 6.7 Avaliações Individuais e Média dos Critérios. Fonte: Elaboração própria.

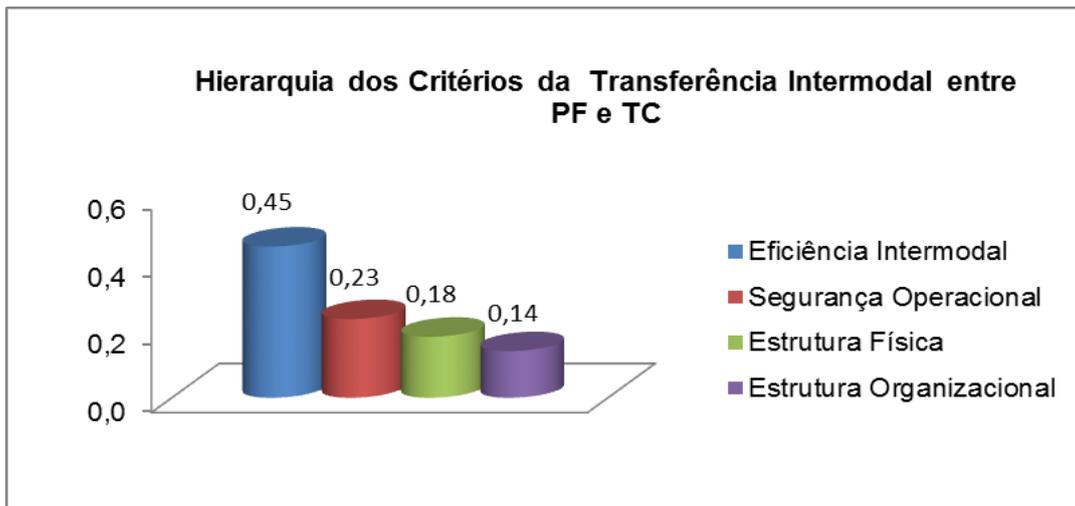
### 6.2.3.1 Critérios e Subcritérios

Os resultados das hierarquias são representados a seguir por meio da Tabela 6.2 e Figuras 6.8 e 6.9, permitindo uma análise visual da importância de cada critério e subcritério de avaliação para a transferência intermodal. Estes foram gerados a partir das médias das hierarquias individuais dos avaliadores e considerados válidos por apresentarem valores de inconsistência menores que 0,10.

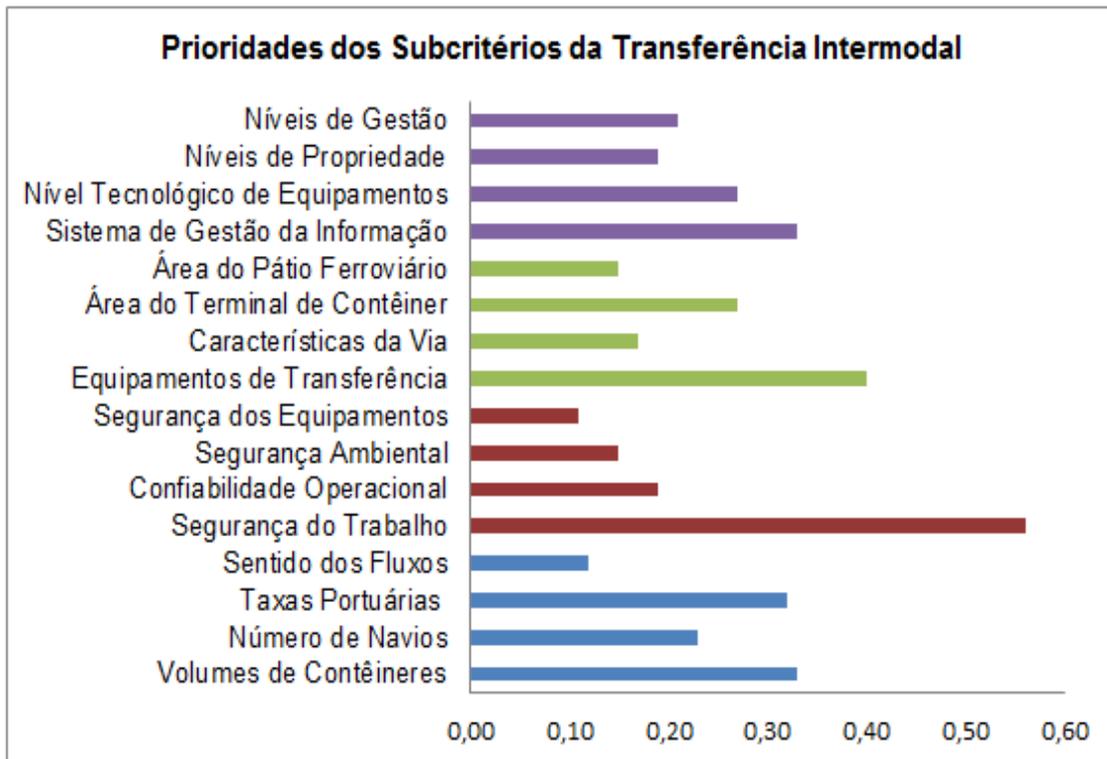
Tabela 6.2. Hierarquia dos Critérios e Subcritérios da Transferência Intermodal.

Critérios	Prioridades	Subcritérios	Prioridades
Eficiência Operacional	0,45	Volumes de Contêineres	0,33
		Número de Navios	0,23
		Taxas Portuárias	0,32
		Sentido dos Fluxos	0,12
Segurança Operacional	0,23	Segurança do Trabalho	0,56
		Confiabilidade Operacional	0,19
		Segurança Ambiental	0,15
		Segurança dos Equipamentos	0,11
Estrutura Física	0,18	Equipamentos de Transferência	0,40
		Características da Via	0,17
		Área do Terminal de Contêiner	0,27
		Área do Pátio Ferroviário	0,15
Estrutura Organizacional	0,14	Sistema de Gestão da Informação	0,33
		Nível Tecnológico de Equipamentos	0,27
		Níveis de Propriedade	0,19
		Níveis de Gestão	0,21

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.



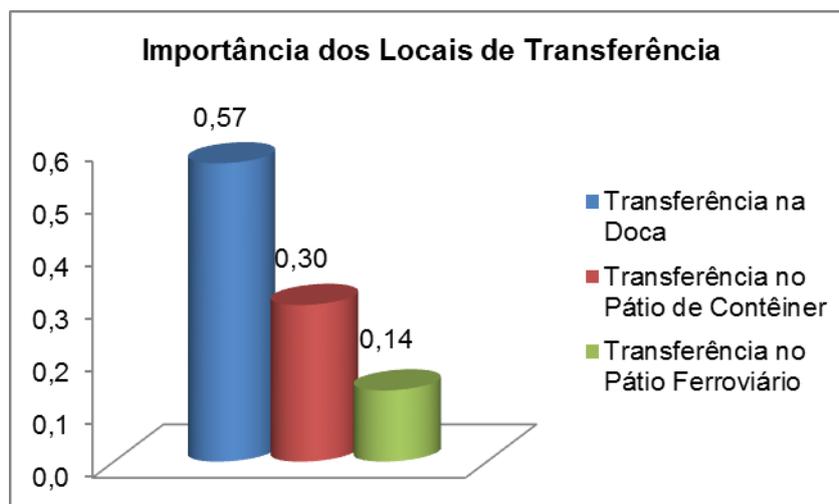
**Figura 6.8** Critérios da Transferência Intermodal entre PF e TC. Fonte: Elaboração própria.



**Figura 6.9** Subcritérios da Transferência Intermodal entre PF e TC. Fonte: Elaboração própria.

O questionamento sobre a transferência intermodal em relação aos locais alternativos buscou identificar a posição dos especialistas sobre a criticidade ou importância da

operação quando a transferência ocorre na doca, no pátio de contêiner ou no pátio ferroviário. Os resultados são conforme a Tabela 6.3 e Figura 6.10



**Figura 6.10** Importância dos Locais na Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.3** Importância dos Critérios nos Locais das Transferências.

	Eficiência Intermodal	Segurança da Operacional	Estrutura Física	Estrutura Organizacional
Transferência na Doca	0,57	0,57	0,53	0,61
Transferência no Pátio de Contêiner	0,32	0,32	0,27	0,25
Transferência no Pátio Ferroviário	0,11	0,11	0,20	0,14

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.

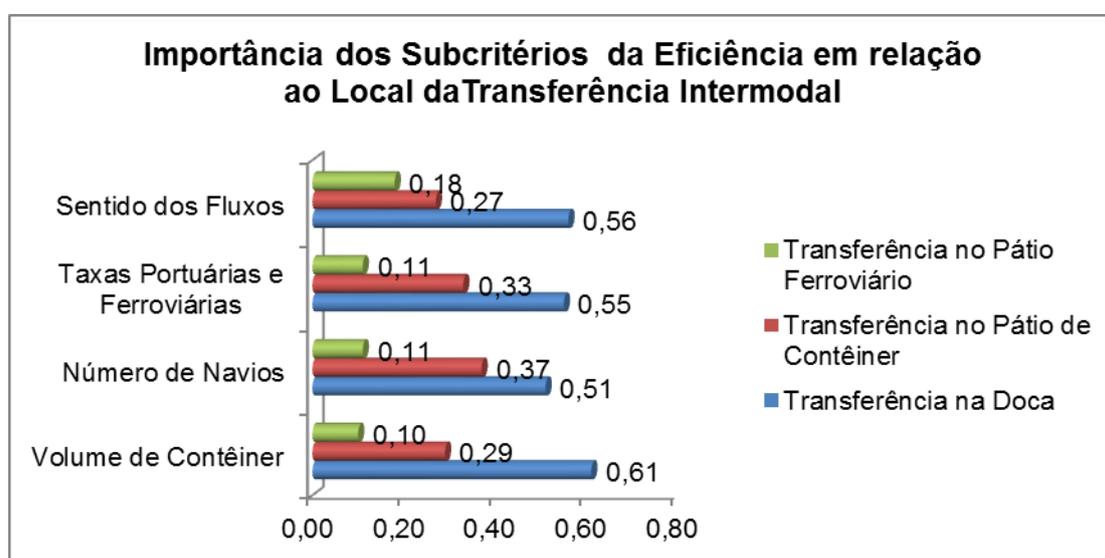
### 6.2.3.2 Em relação aos Locais da Transferência Intermodal

As importâncias de cada subcritério em relação aos locais da transferência intermodal são representadas a seguir. As figuras e as tabelas resumem as importâncias desses em relação aos locais alternativos da transferência intermodal, sendo a Eficiência Intermodal, a Segurança Operacional, a Estrutura Física e a Estrutura Organizacional, representados respectivamente nas Figuras 6.11 a 6.15 e nas Tabelas 6.4 a 6.7.

**Tabela 6.4** Importância dos Subcritérios da Eficiência Intermodal nos Locais das Transferências entre PF e TC.

<b>Eficiência Intermodal</b>	<b>Volume de Contêiner</b>	<b>Número de Navios</b>	<b>Taxas</b>	<b>Sentido dos Fluxos</b>
Transferência na Doca	0,61	0,51	0,55	0,56
Transferência no Pátio de Contêiner	0,29	0,37	0,33	0,27
Transferência no Pátio Ferroviário	0,1	0,11	0,11	0,18

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.

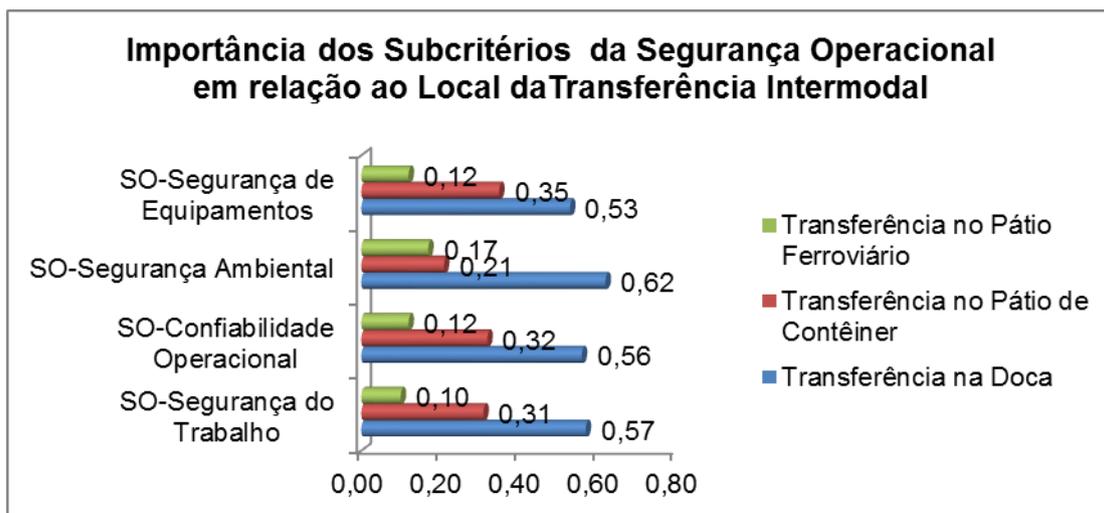


**Figura 6.11** Subcritérios da Eficiência Intermodal e os Locais da Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.5** Importância dos Subcritérios da Segurança nos Locais das Transferências entre PF e TC.

<b>Segurança Operacional</b>	<b>Trabalho</b>	<b>Confiabilidade</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Equipamentos</b>
Transferência na Doca	0,57	0,56	0,62	0,53
Transferência no Pátio de Contêiner	0,31	0,32	0,21	0,35
Transferência no Pátio Ferroviário	0,1	0,12	0,17	0,12

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.

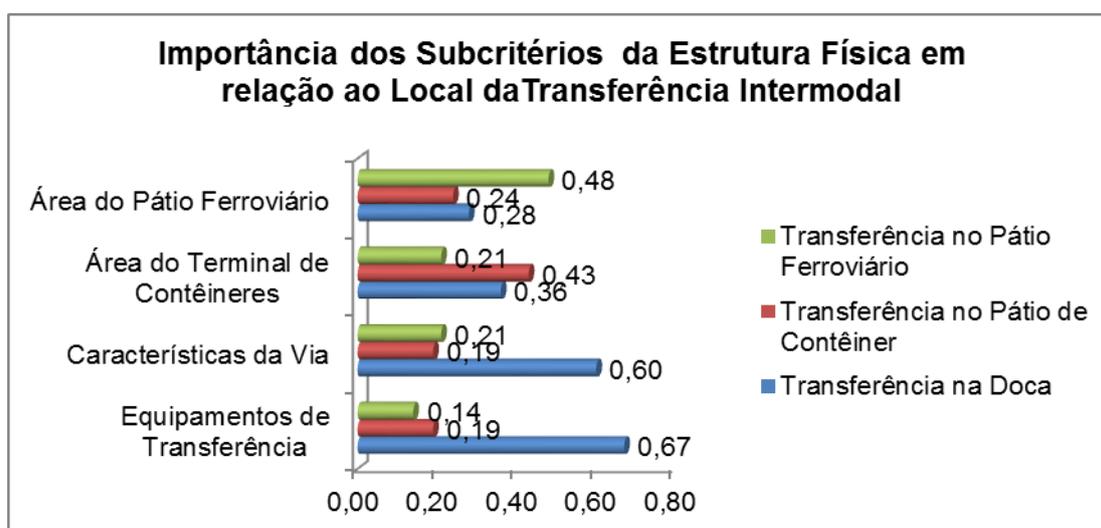


**Figura 6.12** Subcritérios da Segurança Operacional e os Locais da Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.6** Importância dos Subcritérios da Estrutura Física nos Locais das Transferências entre PF e TC.

Estrutura Física	Equipamentos Transferência	Características da Via	Área do Terminal Contêiner	Área do Pátio Ferroviário
Transferência na Doca	0,67	0,6	0,36	0,28
Transferência no Pátio de Contêiner	0,19	0,19	0,43	0,24
Transferência no Pátio Ferroviário	0,14	0,21	0,21	0,48

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.

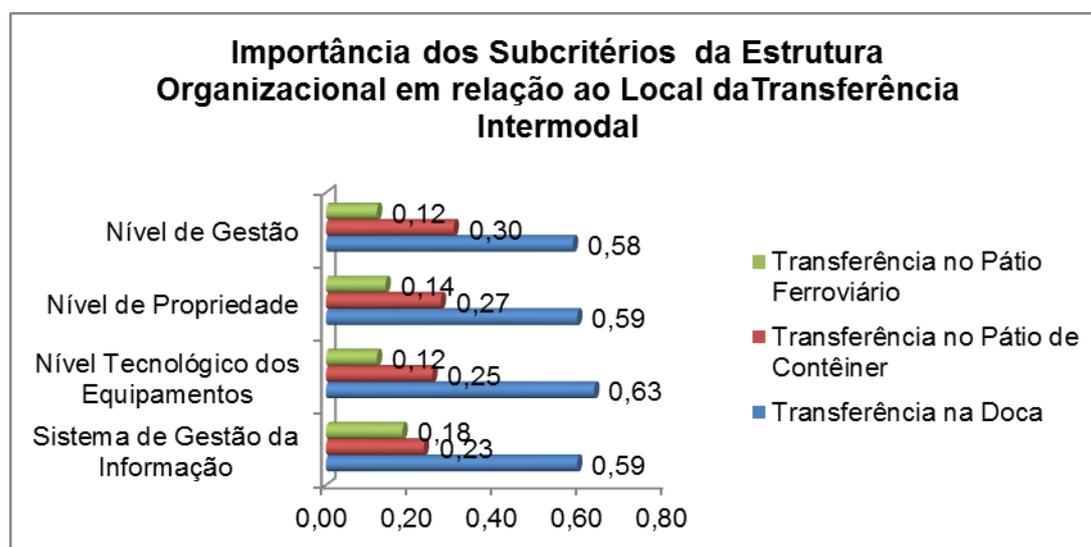


**Figura 6.13** Subcritérios da Estrutura Física e os locais da Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.7** Importância dos Subcritérios da Estrutura Organizacional nos Locais das Transferências entre PF e TC.

Estrutura Organizacional	Sistema de Gestão Informação	Nível Tecnológico Equipamentos	Nível de Propriedade	Nível de Gestão
Transferência na Doca	0,59	0,63	0,59	0,58
Transferência no Pátio de Contêiner	0,23	0,25	0,27	0,3
Transferência no Pátio Ferroviário	0,18	0,12	0,14	0,12

Fonte: Elaboração própria, à partir dos resultados obtidos com o *Expert Choice*.



**Figura 6.14** Subcritérios da Estrutura Organizacional e os Locais da Transferência Intermodal. Fonte: Elaboração própria.

#### 6.2.4 Análise dos Resultados

O programa *Expert Choice* fornece um escore de decisão para cada alternativa. Trata-se da valoração global de cada alternativa, considerando os pesos dos critérios e os níveis de importância das alternativas em relação aos critérios que foram inseridos no modelo. As opções que apresentam os maiores escores de decisão representam a preferência ou nível de significância maior para o conjunto de decisores.

A complexidade e a subjetividade do julgamento dos avaliadores são consideradas por meio do método AHP. Assim, a decisão final, mesmo depois da introdução dos

julgamentos e da obtenção das prioridades das alternativas, pode ser questionada. Deve-se levar em conta que, de um modo geral, um modelo sempre vai representar uma parte da realidade.

O principal objetivo ao usar a AHP neste trabalho foi identificar a hierarquia dos critérios e subcritérios em relação à transferência intermodal entre o PF e o TC. As pontuações obtidas refletem o *status quo* do ambiente portuário de um modo genérico do ponto de vista do espaço da pesquisa.

Os resultados obtidos em relação aos critérios foram apresentados na Tabela 6.2 e nas Figuras 6.8 e 6.9. Observa-se que os critérios Eficiência Intermodal e Segurança Operacional representaram 68 % de importância em relação à transferência intermodal. Dentro do critério Eficiência Intermodal, os subcritérios Volume de Contêineres e Taxas Portuárias e Ferroviárias representam 65 % de importância, conforme a Figura 6.9. Por outro lado, no critério Segurança Operacional, somente o subcritério Segurança do Trabalho responde por 56 % de importância, seguido do subcritério Confiabilidade Operacional, com 19 %, conforme a Figura 6.9.

A relevância do critério Eficiência Intermodal e os subcritérios Volume de Contêineres e Taxas refletem as preocupações dos agentes envolvidos com as capacidades de manusear contêineres dentro dos princípios da economicidade.

Os critérios relacionados às Estruturas Física e Organizacional juntos representam 32 % da importância na transferência intermodal, conforme a Figura 6.8, sendo 18 % para o critério Estrutura Física e 14 % para Estrutura Organizacional.

Há destaques, entretanto, entre os subcritérios da Estrutura Física com o subcritério Equipamentos de Transferência, que participa com 40 %, seguido pela Área do Terminal de Contêiner, com 27 %, conforme a Figura 6.9.

O fato da Área do Terminal de Contêineres destacar-se como um aspecto importante, acredita-se estar associada às restrições de expansão portuária devido às localizações da maioria dos portos,

No critério Estrutura Organizacional, o destaque se dá com o subcritério Sistema de Gestão da Informação, com 33%, seguido do Nível Tecnológico dos Equipamentos, com 27 %, como representado a Figura 6.9.

A questão do Sistema de Gestão da Informação, julgado como bastante pertinente no critério Estrutura Organizacional, retrata a importância deste para integrar os diferentes atores.

Em relação ao destaque tanto do subcritério Equipamentos como do subcritério Nível Tecnológico de Equipamentos, acredita-se que estes refletem a crescente preocupação dos gestores com a capacidade de equipamentos associada ao crescente volume de transportes e o nível tecnológico destes. Observa-se que, de um modo geral, tais considerações sobre equipamentos nos portos brasileiros são cada vez mais importantes, em função dos equipamentos existentes no momento das concessões e dos arrendamentos à operadores privados, viabilizados após a Lei dos Portos.

O principal objetivo desta aplicação foi a identificação e hierarquia dos critérios. Além disso, verificou-se a importância dos critérios em relação às três alternativas de configuração espacial da transferência Intermodal. As alternativas são apresentadas em ordem decrescente de prioridade. Segundo a Figura 6.10, o local com maior ordem é a Transferência na Doca, seguida da Transferência no Pátio de Contêineres e a menor ordem é a Transferência no Pátio Ferroviário. Conforme a Tabela 6.3, a importância da transferência na doca é destacada em relação a todos os critérios.

Da mesma maneira, em quase a totalidade dos subcritérios, a transferência na doca é apontada com criticidade preponderante, conforme as Figuras, 6.11, 6.12, 6.13 e 6.14. A exceção ocorre com os subcritérios Área do Pátio ferroviário e Área do Terminal de Contêineres, quando o local de transferência é no Pátio Ferroviário ou no Terminal de Contêineres, respectivamente.

Entende-se que esses resultados refletem a preocupação dos agentes com a complexidade das operações de transferência na doca. Isso também explica a influência da configuração espacial no desempenho da transferência intermodal, bem como a importância da estrutura gerencial para a integração.

Os critérios de avaliação definidos na aplicação da AHP para a hierarquia dos atributos da transferência intermodal associados às três alternativas de localização da transferência permitiram a definição das variáveis a compor o Sistema Integrado proposto neste trabalho.

### 6.3 GERAÇÃO DO MODELO DO SISTEMA INTEGRADO

O Modelo de Integração resulta da agregação das funcionalidades dos subsistemas componentes do sistema Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres. Esse sistema compreende os sistemas Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêiner, vistos de forma integrada, de acordo com as variáveis de entrada/saída que melhor definem as funções desempenhadas pelos dois sistemas baseados na hierarquia dos critérios definidos pela AHP.

Os critérios foram avaliados, segundo a prioridade na AHP, e cada critério foi subdividido em quatro subcritérios também hierarquizados por meio da AHP, cujos respectivos percentuais de importância foram:

- **Eficiência Intermodal** (45): Volumes de Contêineres (33), Taxas Portuárias e Ferroviárias (32), Número de Navios (23) e Sentido dos Fluxos (12);
- **Segurança Operacional** (23): Segurança do Trabalho (56), Confiabilidade Operacional (19), Segurança Ambiental (15) e Segurança de Equipamentos (11);
- **Estrutura Física** (18): Equipamentos de Transferência (40), Área do Terminal de Contêineres (27), Características da Via (17) e Área do Pátio Ferroviário (15);
- **Estrutura Organizacional** (14): Sistema de Gestão de Informação (33), Nível Tecnológico de Equipamentos (27), Nível de Gestão (21) e Nível de Propriedade (19).

De acordo com os movimentos físicos de contêineres, é possível representar os módulos de atividades voltados para a transferência intermodal entre PF e TC e gerenciadas pelos subsistemas controle do PF e do TC. Por outro lado, as características dos módulos de atividades componentes dos sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres com a determinação dos seus fluxos permitem descrever o Sistema Integrado. Pela representação sistêmica, pode ser feita a descrição das entradas e saídas dos subsistemas componentes do Sistema Integrado.

Por meio das interações entre componentes, é possível identificar-se os subsistemas como agregados do sistema que contenham apenas os atributos capazes de caracterizar a função no Sistema Integrado em que representam os sistemas Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres.

Dessa maneira, para cada subsistema, são realizados os seguintes procedimentos:

- Caracterização;

- Variáveis de Entrada: Escolha das variáveis de entrada relativas ao subsistema nessa função;
- Variáveis de Saída: Designação das saídas possíveis do subsistema em função das entradas e de um determinado estado interno do subsistema.

Após a aplicação dos procedimentos acima para todos os subsistemas, é possível o estabelecimento das relações de constrangimento do Sistema Integrado.

### 6.3.1 Caracterização dos Subsistemas

A caracterização consiste na determinação dos atributos pertinentes da função dos subsistemas no sistema. Nesse ponto, adota-se uma simplificação do segundo conceito de ZADEH para a caracterização dos subsistemas, escolhendo-se os atributos entre os critérios e subcritérios definidos com a AHP. Os atributos dos subsistemas do PF, do TC e suas interações com o ambiente são apresentados respectivamente nas Tabelas 6.16, 6.17 e 6.18.

**Tabela 6.8** Atributos dos Subsistemas do Sistema PF.

Atributos	Subatributos	Sistema PF				
Eficiência Operacional	Volumes de Contêineres	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Número de Navios					SS9
	Taxas	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Sentido dos Fluxos	SS1				SS9
Segurança Operacional	Segurança do Trabalho	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Confiabilidade Operacional	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Segurança Ambiental	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Segurança dos Equipamentos					SS9
Estrutura Física	Equipamentos de Transferência	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Características da Via	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Área do TC					
	Área do PF	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
Estrutura Organizacional	Sistema de Gestão da Informação	SS1	SS2	SS3	SS4	SS9
	Nível Tecnológico de Equipamentos		SS2	SS3	SS4	SS9
	Níveis de Propriedade	SS1	SS2	SS3		SS9
	Níveis de Gestão					SS9
Recepção e Inspeção de Trem	SS1			Saída de Trem	SS4	
Decomposição de Trem	SS2			Controle do PF	SS9	
Formação de Trem	SS3			Área de Interface Terrestre	AIT	

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.9** Atributos dos Subsistemas do Sistema TC.

<b>Atributos</b>	<b>Subatributos</b>	<b>Sistema TC</b>				
Eficiência Operacional	Volumes de Contêineres	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Número de Navios	SS5	SS6			SS10
	Taxas	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Sentido dos Fluxos		SS6	SS7	SS8	SS10
Segurança Operacional	Segurança do Trabalho	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Confiabilidade Operacional					SS10
	Segurança Ambiental		SS6	SS7	SS8	SS10
	Segurança dos Equipamentos	SS5				SS10
Estrutura Física	Equipamentos de Transferência	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Características da Via		SS6			SS10
	Área do TC	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Área do PF	SS5			SS8	
Estrutura Organizacional	Sistema de Gestão da Informação	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Nível Tecnológico de Equipamentos	SS5	SS6	SS7	SS8	SS10
	Níveis de Propriedade					SS10
	Níveis de Gestão					SS10
Pátio de Contêineres	SS5	Trem do TC			SS8	
Área de Embarque/ desembarque	SS6	Controle do TC			SS10	
Navio	SS7	Área de Interface Aquaviária			AIA	

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.10** Atributos da Interface entre os Sistemas PF e TC.

<b>Atributos</b>	<b>Subatributos</b>	<b>Interfaces</b>		
Eficiência Operacional	Volumes de Contêineres	PF/AIT	PF/TC	TC/AIA
	Número de Navios			TC/AIA
	Taxas	PF/AIT	PF/TC	TC/AIA
	Sentido dos Fluxos			TC/AIA
Segurança Operacional	Segurança do Trabalho	PF/AIT	PF/TC	TC/AIA
	Confiabilidade Operacional	PF/AIT	PF/TC	
	Segurança Ambiental	PF/AIT		TC/AIA
	Segurança dos Equipamentos	PF/AIT	PF/TC	
Estrutura Física	Equipamentos de Transferência	PF/AIT	PF/TC	TC/AIA
	Características da Via	PF/AIT		TC/AIA
	Área do TC		PF/TC	TC/AIA
	Área do PF	PF/AIT	PF/TC	
Estrutura Organizacional	Sistema de Gestão da Informação	PF/AIT	PF/TC	TC/AIA
	Nível Tecnológico de Equipamentos		PF/TC	TC/AIA
	Níveis de Propriedade	PF/AIT		
	Níveis de Gestão		PF/TC	
Interface Pátio Ferroviário e Terminal de Contêineres		PF/TC		
Área de Interface Terrestre		AIT		
Área de Interface Aquaviária		AIA		

Fonte: Elaboração própria.

À partir da identificação das atividades desempenhadas pelos subsistemas e dos fluxos de contêineres e da hierarquia dos critérios do modelo AHP, foi possível caracterizar os subsistemas. Isso permitiu a escolha das variáveis de entrada relativas ao subsistema nessa função e a designação das saídas possíveis dos subsistemas à partir de determinadas entradas e de um determinado estado interno do subsistema.

### **6.3.2. Entradas e Saídas do Sistema Integrado**

As entradas e saídas dos sistemas Pátio Ferroviário e Terminal Portuário, de um modo geral são conjuntos de informação, veículos (trens e navios), contêineres e documentos vindos do meio ambiente externo e descritos como a seguir. Os tipos de variáveis são de entrada, saída e de estado.

As variáveis de estado são consideradas como representantes da situação do subsistema em função da sua história passada, presente e ou futura. As variáveis identificadas com a AHP são oriundas do critério Estrutura Organizacional e seus respectivos subcritérios: Sistema de Gestão de Informação, Nível Tecnológico de Equipamentos, Nível de Gestão e Nível de Propriedade.

Os atributos funcionais dos subsistemas componentes do sistema Pátio Ferroviário, sistema Terminal de Contêineres e das Interfaces que configuram a sua função no sistema, definidos no item 6.3.1, orientaram a definição das variáveis de entrada e saída dos subsistemas. O subsistema com tais atributos permitem escolher as entradas que vão caracterizar a função do subsistema no sistema e pelas ligações de interface entre os sistemas PF e TC. Caracterizada a função do subsistema em um sistema de agregação, a entidade está sujeita à interação entre estes.

As entradas do sistema podem ser descritas como características do meio ambiente que o sistema ou subsistema deve transformar em saídas, tendo em vista os objetivos do sistema. As entradas do sistema do transporte intermodal de contêineres entre PF e TC são as demandas por transferência de contêineres entre o modo ferroviário e aquaviário.

As saídas do sistema podem ser definidas como as características de um sistema que influenciam diretamente o meio ambiente e que são uma função das entradas e das propriedades intrínsecas do sistema no momento da análise. As variáveis de saída

determinam o nível de atendimento dos objetivos do sistema, como por exemplo, número de contêineres manuseados, transferidos, estocados, carregados, taxas de transporte, manuseio e estocagem e índices de acidentes entre outros.

Apresenta-se a seguir o detalhamento dos atributos de cada subsistema, bem como de suas interfaces internas entre subsistemas e externas, conforme Tabelas 6.11, 6.12 e 6.13. A caracterização funcional dos subsistemas foi feita de acordo com a notação exemplificada a seguir:

- Para Pátio Ferroviário a sigla PF e para o Terminal de Contêineres a sigla TC;
- $U_{PF}^I$ : Entrada I no Sistema Pátio Ferroviário – PF;
- $Y_{TC}^I$ : Saída I do Sistema Terminal de Contêiner – TC;
- $u_2^1$ : Entrada 1 do Subsistema componente SS2;
- $y_2^3$ : Saída 3 do Subsistema SS2.

**Tabela 6.11** Variáveis dos Subsistemas do Sistema PF.

Tipo	Recepção e Inspeção de Trem - SS1
<b>Entrada</b>	$u_1^1$ Número de contêineres em vagões para o TC
	$u_1^2$ Número de contêineres em vagões para o Interior
	$u_1^3$ Autorização para operação - programação de tarefas
	$u_1^4$ Documentação de Carga
<b>Saída</b>	$y_1^1$ Número de contêineres em vagões liberados para o TC
	$y_1^2$ Número de contêiner em vagões liberados em trens para o Interior
	$y_1^3$ Solicita autorização para operação
	$y_1^4$ Medidas da Estrutura Física
	$y_1^5$ Medidas da Segurança Operacional
	$y_1^6$ Medidas da Eficiência
	$y_1^7$ Dados da Carga

Tipo	Decomposição de Trem em Pátio de Manobras - SS2
<b>Entrada</b>	$u_2^1$ Número de contêineres classificados no pátio de manobras
	$u_2^2$ Plano de manobras
	$u_2^3$ Autorização para operação - programação de tarefas

<b>Saída</b>	$y_2^1$	
	$y_2^2$	Número de contêineres retirados para formar trens
	$y_2^3$	Lista de contêineres estocados
	$y_2^4$	Solicita autorização para operação
	$y_2^5$	Medidas da Estrutura Física de SS2
	$y_2^6$	Medidas da Segurança Operacional de SS2 Medidas da Eficiência de SS2

<b>Tipo</b>	<b>Formação de Trem – SS3</b>	
<b>Entrada</b>	$u_3^1$	Número de contêineres em vagões para formar trens
	$u_3^2$	Lista de contêineres em vagões para formar trens
	$u_3^3$	Autorização para operação - programação de tarefas
<b>Saída</b>	$y_3^1$	Número de contêineres em trens formados.
	$y_3^2$	Lista de contêineres em vagões em trens
	$y_3^3$	Solicita autorização para operação
	$y_3^4$	Medidas da Estrutura Física de SS3
	$y_3^5$	Medidas da Segurança Operacional do Subsistema SS3
	$y_3^6$	Medidas da Eficiência de SS3

<b>Tipo</b>	<b>Saída de Trem do Pátio Ferroviário – SS4</b>	
<b>Entrada</b>	$u_4^1$	Número de contêiner em trem vindo do PF
	$u_4^2$	Número de contêiner em trem vindo do interior
	$u_4^3$	Autorização para operação
	$u_4^4$	Documentação de Carga
	$u_4^5$	Número de contêiner em trem para pátio do interior.
<b>Saída</b>	$y_4^1$	Número de contêiner em trem saindo para o interior
	$y_4^2$	Número de contêiner em trem para o TC
	$y_4^3$	Solicita autorização para operação
	$y_4^4$	Medidas da Estrutura Física de SS4
	$y_4^5$	Medidas da Segurança Operacional de SS4
	$y_4^6$	Medidas da Eficiência de SS4
	$y_4^7$	Documentação de Carga

Tipo	Controle do Pátio Ferroviário – SS9	
<b>Entrada</b>	$u^1_9$	Autorização para operação vinda do TC - programação de tarefas
	$u^2_9$	Pedido de autorização para operação vinda do SS1
	$u^3_9$	Medidas da Estrutura Física de SS1
	$u^4_9$	Medidas da Segurança Operacional de SS1
	$u^5_9$	Medidas da Eficiência de SS1
	$u^6_9$	Dados da Carga
	$u^7_9$	Pedido de autorização para operação SS2
	$u^8_9$	Medidas da Estrutura Física de SS2
	$u^9_9$	Medidas da Segurança Operacional de SS2
	$u^{10}_9$	Medidas da Eficiência de SS2 (Volume de contêineres, Taxas)
	$u^{11}_9$	Lista de contêineres estocados no SS2
	$u^{12}_9$	Pedido de autorização para operação vinda do SS3
	$u^{13}_9$	Medidas da Estrutura Física de SS3
	$u^{14}_9$	Medidas da Segurança Operacional de SS3
	$u^{15}_9$	Medidas da Eficiência de SS3
	$u^{16}_9$	Lista de contêineres em trens formados no SS3
	$u^{17}_9$	Pedido de autorização para operação vinda do SS4
	$u^{18}_9$	Medidas da Estrutura Física de SS4
	$u^{19}_9$	Medidas da Segurança Operacional de SS4
	$u^{20}_9$	Medidas da Eficiência de SS4
	$u^{21}_9$	Lista de contêineres em trem pronto para sair do PF- SS4
<b>Saída</b>	$y^1_9$	Solicita autorização para envio de Trem no TC
	$y^2_9$	Autorização para execução de Recepção e Inspeção de trem (SS1)
	$y^3_9$	Dados de carga e trem de chegada ao PF (SS1)
	$y^4_9$	Autorização para Decomposição e classificação de trem (SS2)
	$y^5_9$	Plano de manobras do pátio de classificação PF (SS2)
	$y^6_9$	Autorização para Formação de trem (SS3)
	$y^7_9$	Plano de manobras para formar trens (SS3)
	$y^8_9$	Autorização para Saída de trem (SS4)
	$y^9_9$	Documentação de carga em trens (SS4)

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.12** Variáveis dos Subsistemas do Sistema TC.

Pátio de Contêineres - SS5	
Tipo	
Entrada	$u^1_5$ Número de contêiner (exportação) (SS4)
	$u^2_5$ Número de contêiner (importação) (SS6)
	$u^3_5$ Autorização para operação - programação de tarefas-navios, trens e pátio - Planos de carga
	$u^4_5$ Documentação de Carga (Conhecimento de transporte, Recibo)
Saída	$y^1_5$ Número de contêiner (exportação) (SS6)
	$y^2_5$ Número de contêiner para trem (importação) (SS8)
	$y^3_5$ Solicita autorização para operação
	$y^4_5$ Medidas da Estrutura Física de SS5
	$y^5_5$ Medidas da Segurança Operacional de SS5
	$y^6_5$ Medidas da Eficiência de SS5
	$y^7_5$ Documentação de Carga

Área de Embarque/ Desembarque – SS6	
Tipo	
Entrada	$u^1_6$ Número de contêiner (exportação) vindo do (SS5)
	$u^2_6$ Número de contêiner (exportação) vindo do PF (SS4)
	$u^3_6$ Autorização para operação - programação de tarefas- navios, trens e pátio - Planos de carga
	$u^4_6$ Número de contêiner (importação) vindo do navio (SS7)
	$u^5_6$ Documentação de Carga
Saída	$y^1_6$ Número de contêiner (importação) indo para (SS5 e SS8)
	$y^2_6$ Número de contêiner sendo embarcado no navio (SS7)
	$y^3_6$ Solicita autorização para operação
	$y^4_6$ Medidas da Estrutura Física de SS5
	$y^5_6$ Medidas da Segurança Operacional de SS5
	$y^6_6$ Medidas da Eficiência de SS5
	$y^7_6$ Documentação de Carga

<b>Tipo</b>	<b>Navio – SS7</b>	
<b>Entrada</b>	$u^1_7$	Número de contêineres carregado no navio (exportação)
	$u^2_7$	Número de contêineres entrando do TC (importação)
	$u^3_7$	Autorização para operação-programação de tarefas-Planos de carga
	$u^4_7$	Documentação de Carga
<b>Saída</b>	$y^1_7$	Número de contêineres desembarcados (importação)
	$y^2_7$	Número de contêineres embarcados no navio (SS7)
	$y^3_7$	Solicita autorização para operação
	$y^4_7$	Medidas da Estrutura Física de
	$y^5_7$	Medidas da Segurança Operacional de SS7
	$y^6_7$	Medidas da Eficiência de SS7
	$y^7_7$	Documentação de Carga

<b>Tipo</b>	<b>Trem saindo do Terminal – SS8</b>	
<b>Entrada</b>	$u^1_8$	Número de contêiner vindos do Pátio de Contêineres (SS5)
	$u^2_8$	Número de contêiner vindos da área desembarque (SS6)
	$u^3_8$	Autorização para operação – Transferência para PF
	$u^4_8$	Documentação de Carga
<b>Saída</b>	$y^1_8$	Número de contêiner em trem do TC para o PF
	$y^3_8$	Solicita autorização para operação
	$y^4_8$	Medidas da Estrutura Física do Subsistema SS7
	$y^5_8$	Medidas da Segurança Operacional do Subsistema SS7
	$y^6_8$	Medidas da Eficiência do Subsistema SS7
	$y^7_8$	Documentação de Carga

<b>Tipo</b>	<b>Controle do Terminal de Contêineres – SS10</b>	
<b>Entrada</b>	$u^1_{10}$	Pedido de autorização operação do PF - programação de trens
	$u^2_{10}$	Pedido de autorização para operação vinda do SS5
	$u^3_{10}$	Medidas da Estrutura Física de SS5
	$u^4_{10}$	Medidas da Segurança Operacional de SS5
	$u^5_{10}$	Medidas da Eficiência de SS5
	$u^6_{10}$	Dados da Carga

	$u^7_{10}$	Pedido de autorização para operação SS6
	$u^8_{10}$	Medidas da Estrutura Física de SS6
	$u^9_{10}$	Medidas da Segurança Operacional de SS6
	$u^{10}_{10}$	Medidas da Eficiência de SS6
	$u^{11}_{10}$	Documentação de carga
	$u^{12}_{10}$	Pedido de autorização para operação vinda do SS7
	$u^{13}_{10}$	Medidas da Estrutura Física de SS7
	$u^{14}_{10}$	Medidas da Segurança Operacional de SS7
	$u^{15}_{10}$	Medidas da Eficiência de SS7
	$u^{16}_{10}$	Lista de contêineres em navio no SS7
	$u^{17}_{10}$	Pedido de autorização para operação vinda do SS8
	$u^{18}_{10}$	Medidas da Estrutura Física de SS8
	$u^{19}_{10}$	Medidas da Segurança Operacional de SS8
	$u^{20}_{10}$	Medidas da Eficiência de SS8
	$u^{21}_{10}$	Lista de contêineres em trem pronto para sair do TC-SS8
<b>Saída</b>	$y^1_{10}$	Autorização para envio de Trem entre TC e PF
	$y^2_{10}$	Dados de carga em contêineres- Programação de tarefas (SS5)
	$y^3_{10}$	Autorização para execução de tarefas de Pátio de contêiner (SS5)
	$y^4_{10}$	Plano de embarque /desembarque (SS6)
	$y^5_{10}$	Autorização Embarque/ Desembarque (SS6)
	$y^6_{10}$	Plano de carga/ descarga navio (SS7)
	$y^7_{10}$	Autorização para operação de carga/ descarga navio (SS7)
	$y^8_{10}$	Documentação de carga em trem de partida para o PF (SS8)
	$y^9_{10}$	Autorização para Saída de trem para o PF (SS8)

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6.13** Variáveis da Interface entre os Sistemas PF e TC.

<b>Tipo</b>	<b>Pátio Ferroviário e Interior</b>	
<b>Entrada</b>	$U_{PF}$	Número de contêineres em trem vindo do interior
<b>Saída</b>	$Y^I_{PF}$	Número de contêineres em trem para Interior
	$Y^{II}_{PF}$	Medidas da Estrutura Física do Sistema PF
	$Y^V_{PF}$	Medidas da Segurança Operacional do Sistema PF
	$Y^W_{PF}$	Medidas da Eficiência Intermodal do Sistema PF

<b>Tipo</b>	<b>PF e TC</b>	
<b>Entrada</b>	$U_{PF}^I$	Número de Contêineres em trem vindo do TC
	$U_{TC}^I$	Número de Contêineres do interior para o pátio de contêineres
	$U_{TC}^I$	Número de Contêineres para área Embarque/ desembarque
<b>Saída</b>	$Y_{PF}^I$	Número de Contêineres em trem saindo do PF para o TC
	$Y_{TC}^I$	Número de Contêineres saindo do TC para o PF
	$Y_{PF}^{II}$	Medidas da Estrutura Física do Sistema
	$Y_{PF}^V$	Medidas da Segurança Operacional do Sistema PF
	$Y_{PF}^V$	Medidas da Eficiência Intermodal do Sistema PF

<b>Tipo</b>	<b>TC / Área de Influência Aquaviária</b>	
<b>Entrada</b>	$U_{TC}^{II}$	Número de contêineres vindos no Navio
<b>Saída</b>	$Y_{TC}^I$	Número de Contêineres em Navio
	$Y_{TC}^{II}$	Medidas da Estrutura Física do Sistema PF
	$Y_{TC}^V$	Medidas da Segurança Operacional do Sistema PF
	$Y_{TC}^V$	Medidas da Eficiência Intermodal do Sistema PF

Fonte: Elaboração própria.

O conjunto de variáveis de entrada, o conjunto de variáveis de saída e o conjunto de variáveis do estado do sistema, relacionados por meio das equações de constrangimento representados no Anexo IV, juntamente como o diagrama Conceitual Simbólico, caracterizam o Sistema Integrado proposto.

### 6.3.3 Modelo Matemático

Segundo Pereira (2009), a escolha do “modelo matemático adequado” deve levar em consideração tanto a finalidade do modelo quanto a precisão que se deseja alcançar. Dessa forma, será capaz de representar o compromisso entre as dificuldades de ordem matemática e a exatidão que concerne a fidelidade ao comportamento do sistema real.

O modelo é uma extensão do princípio da segunda definição de sistema de ZADEH aplicado a um sistema complexo, em que não é possível considerar as equações de

definição dos subsistemas, mas apenas, à partir da função estabelecida de cada subsistema no sistema.

Deve-se ressaltar que um sistema com subsistemas afetados de entradas e saídas com detalhamento maior que o necessário para um estudo das interações entre os componentes de sistema não auxilia no entendimento do sistema.

Por se tratar, contudo, de um sistema de estrutura conhecida, torna-se necessária a definição de um procedimento de escolha de quais são os atributos inerentes ao sistema de transporte considerado. E, em função destes atributos, quais as entradas e saídas podem ser consideradas dentro do domínio e contradomínio.

Assim, a partir da definição dos subsistemas componentes do Sistema Integrado, tornou-se evidente a necessidade de caracterização por meio das interações destes, identificando-se as entradas e saídas.

Além disso, a existência de critérios qualitativos e quantitativos, somados à complexidade de atributos inerentes às funcionalidades dos subsistemas componentes, levou a aplicação do método de análise multicritério, AHP.

Tem-se dessa forma um Sistema Integrado em que os atributos dos subsistemas são resultantes da ação das variáveis de entrada e saídas consideradas de forma hierárquica pelos especialistas consultados.

O modelo permite, dessa forma, gerar o Sistema Integrado definido pelas equações de constrangimento do modelo apresentadas na forma de uma matriz de correlação, no Anexo IV.

#### **6.3.4 O Diagrama Funcional do Modelo Conceitual Simbólico**

A identificação dos subsistemas componentes e das inter-relações entre eles permite definir os principais fluxos físicos de contêineres e de equipamentos de transporte e os fluxos de informações e autorizações de transferência. Essa compreensão auxiliou a identificação dos principais fatores de decisão e possibilidades de estudos sobre melhorias no sistema global, representados pelos pesos dos critérios de decisão. A união dos sistemas pátio ferroviário e terminal portuário de contêineres e dos seus subsistemas componentes, respeitando as equações de constrangimento descritas,

leva ao diagrama funcional representativo do sistema integrado, como apresentado no Anexo V.

A representação de um Sistema Integrado da Transferência Intermodal entre um Terminal Portuário de Contêineres e um Pátio Ferroviário pode ser feita por meio do Diagrama Conceitual Simbólico. Este pode ser usado para sinalizar os principais fluxos e as principais variáveis a serem consideradas em um modelo matemático.

O fato de não serem realizadas operações de transferência na doca com trens nos terminais pesquisados, inviabilizou o acesso aos dados quantitativos necessários para o estabelecimento de tal modelo matemático geral.

A aplicação em uma situação real deve considerar os subsistemas definidos no Sistema Integrado, as direções dos fluxos de contêineres e de informações entre os subsistemas representados por meio das respectivas variáveis de entrada/ saída.

A escolha das variáveis de entrada para caracterizar o Sistema Integrado real deve ser feita para cada tomada de decisão, cujos resultados impactem em alterações nas estruturas físicas e organizacionais. Como por exemplo, quando existam mudanças de agentes, quando as decisões afetam os objetivos agentes e ou quando há necessidades de alterações na estrutura física, como a escolha do local da transferência intermodal.

#### **6.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO**

Este capítulo teve por objetivo apresentar os principais resultados do Modelo de Integração proposto para atender o objetivo desta pesquisa. Como se pode observar ao longo deste trabalho, a identificação das funções e a especificação das variáveis mais relevantes para caracterizar a integração intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres podem ser realizadas por meio da fundamentação da Teoria de Sistemas e do Método de Análise Multicritério – AHP.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES**

Este capítulo apresenta as conclusões e as limitações encontradas para o desenvolvimento do trabalho. Tais limitações são a base para direcionamentos futuros de pesquisas.

### **7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES**

O objetivo geral desta pesquisa foi contribuir com o estudo detalhado da integração entre pátio ferroviário e terminal portuário de contêiner. Este resultou em dois objetivos específicos interdependentes:

- Contribuir com a análise das diversas estruturas de interação e a pesquisa dos fatores de decisão que são considerados pelos tomadores de decisão;
- Estabelecer um procedimento analítico para caracterizar a interação e auxiliar na compreensão da escolha da configuração da transferência intermodal que contribua com uma melhor integração entre o modo ferroviário e modo aquaviário.

Por se tratar de um sistema de estrutura conhecida com múltiplos fatores, buscou-se uma metodologia que permitisse a identificação de quais são os atributos inerentes ao sistema de transporte considerado. Assim, em função desses atributos, quais as entradas e saídas são consideradas prioritárias dentro do domínio e contradomínio do sistema considerado.

A estruturação dos subsistemas na primeira etapa foi definida a partir de conceitos da Teoria Geral de Sistemas. Enquanto o estabelecimento dos atributos foi feito à partir dos critérios priorizados segundo o método de análise multicritério – AHP. Isso permitiu a caracterização do Sistema Integrado e da construção do Modelo Conceitual Simbólico fundamentado na TGS.

Ao longo da evolução deste trabalho, foi possível comprovar a hipótese central de identificação das variáveis que caracterizam as operações da transferência intermodal. Além disso, verificou-se que é possível desenvolver um modelo que integre as atividades da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal de contêineres.

A aplicação do método contribui para o conhecimento e a tomada de decisão de especialistas de projeto, operadores portuários, operadores ferroviários e demais agentes envolvidos no projeto e planejamento de ligações intermodais, considerando tanto aspectos quantitativos como qualitativos.

O objetivo geral foi atingido por meio das pesquisas desenvolvidas ao longo desta tese. O Modelo de Integração permite a caracterização dos fatores associados à integração intermodal e a identificação dos níveis de importância dos locais de transferência intermodal para cada atributo ou subatributo que caracteriza a transferência. O método está fundamentado no conceitos de abordagem sistêmica e análise multicritério e constitui-se em uma forma de avaliação híbrida por considerar questões subjetivas, em contraposição aos métodos de escolha tradicionais que consideram questões econômicas e ou financeiras.

Os objetivos decompostos do objetivo global foram atendidos com as pesquisas realizadas, desde a identificação do ambiente de decisão portuário em que os contêineres são movimentados e a importância desta tecnologia para o desenvolvimento da intermodalidade. Além disso, foram feitas a descrição dos sistemas terminal de contêiner e pátio ferroviário e os principais equipamentos necessários para o atendimento dos objetivos dos sistemas e a caracterização dos aspectos da configuração entre pátio ferroviário e um terminal de contêineres. Esses objetivos permitiram analisar os aspectos da transferência intermodal de forma integrada segundo os atributos da transferência, do ponto de vista da estrutura física, dos aspectos de projeto, da estrutura organizacional, da eficiência operacional e da segurança das operações.

O levantamento do referencial teórico, relacionado aos aspectos da transferência intermodal entre um pátio ferroviário e um terminal portuário de contêineres, é destacado em face ao reduzido número de informações sistematizadas encontradas sobre o assunto.

A definição de um Modelo de Integração que caracteriza os aspectos da transferência intermodal de forma integrada permite a contribuição teórica e prática sobre um dos pontos mais críticos do sistema de transporte de carga, considerando o planejamento no nível estratégico por meio da escolha e hierarquização das variáveis mais relevantes para as diferentes formas de transferência intermodal.

Deve-se considerar que para sistemas complexos há a necessidade de simplificação de procedimentos.

A adequação do Modelo pode ser verificada quando os resultados da pesquisa são analisados, ao se considerar os atributos como segurança da operação e ou eficiência intermodal. No caso de caracterização da transferência intermodal, verificou-se que estes influenciam a escolha e a tomada de decisão sobre o local de transferência considerado mais adequado.

A principal consideração deste trabalho é que o objetivo da pesquisa foi atingido. O produto resultante demonstra que um Modelo Indicativo Simbólico pode representar os elementos fundamentais da transferência, dos fluxos relevantes entre eles e pode ser estruturado segundo as variáveis de entrada e saída selecionadas pelos os tomadores de decisão..

A originalidade do trabalho está baseada na extensão dos conceitos de ZADEH para sistemas complexos de engenharia, na estruturação de um método de escolha dos critérios delimitantes da integração intermodal entre o modo ferroviário e o modo aquaviário, aplicado em cargas containerizadas.

O principal fator limitante da pesquisa foi a inexistência de transferências de contêineres na doca, de forma sistemática nos terminais brasileiros pesquisados. Assim, o estabelecimento de um modelo matemático geral foi inviabilizado pelo acesso aos dados quantitativos necessários para validação.

A baixa taxa de retorno aos questionários de pesquisa impossibilitou abranger todos os operadores portuários do país, por exemplo. Entretanto, um grande número de variáveis de decisão de caracterização da transferência intermodal e de consultas a especialistas poderia inviabilizar a solução do problema.

Nesta pesquisa, os especialistas consultados atuam na área acadêmica ou em operações portuárias e ferroviárias brasileiras. Pode ser interessante consultar especialistas de outros países e ou ampliar o número de especialistas, estendendo a pesquisa para usuários como exportadores e importadores, bem como armadores e então comparar com os resultados desta pesquisa.

## 7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O principal direcionamento da pesquisa é generalizar o modelo proposto, considerando limites de capacidades e volumes de contêineres. A partir da escolha dessas variáveis, outras aplicações podem ser desenvolvidas, como a simulação da transferência intermodal.

Acredita-se que um estudo futuro, associando os tipos de equipamentos, a idade média e o nível de automação nos portos brasileiros, pode trazer maiores esclarecimentos.

O destaque do subcritério Segurança do Trabalho no ambiente da transferência intermodal entre Pátio Ferroviário e Terminal Portuário de Contêiner aponta uma direção de pesquisa futura associada aos tipos de acidentes de trabalho nesse tipo de ambiente.

Outro ponto relevante para pesquisas futuras seria um maior detalhamento do critério Eficiência Intermodal em mais subcritérios, como por exemplo, a questão dos tempos de transferência associados ao número e ao tipo de equipamento de transferência.

O maior detalhamento dos documentos envolvidos nas transferências intermodais, associado às novas tecnologias de identificação e localização de contêineres e cargas e como o sistema de Gestão de Informações, pode ser integrado.

Também a aplicação de metodologia em outros tipos de terminais de transferência intermodal que considerem outros tipos de cargas e ou outros modos de transporte.

A elaboração de um sistema para automatizar os procedimentos da metodologia e permitir uma interface computacional gráfica que possibilite uma maior visualização dos subsistemas e avaliação dos dados, bem como decisões e resultados, também é uma sugestão.

Outra extensão da pesquisa seria a criação de diferentes cenários e ou reaplicar a pesquisa em outro momento e verificar se as preferências dos especialistas seriam mantidas ou não.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALICKE, K. 2002. "Modeling and Optimization of the Inter-Model Terminal Mega Hub". *OR Spectrum*, 24:1–17, 2002.
- ALMEIDA, P. P. 2002. *Aplicação do Método AHP- Processo Analítico Hierárquico – à Seleção de Helicópteros para Apoio Logístico à Exploração e Produção de Petróleo "Offshore"*. M.Sc. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ANTAQ, 2010. *Anuário Estatístico de 2010 da Agência Nacional de Transportes Aquaviários*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em Agosto de 2010.
- ANTF, 2011. Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/informacoes-do-setor/numeros>>. Acesso em Setembro de 2011.
- AREMA, 2008. *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. Manual for Railway Engineering. VOL. 4. Maryland EUA.*
- ASHAR, A., SWIGART, S. 2007. *A Comparative Analysis of Intermodal Ship-to-Rail Connections at Louisiana Deep Water Ports*. Technical Report. University of New Orleans National Ports & Waterways Institute.
- ASHBY, W. R., 1956. *Introduction to Cybernetics*. Methuen. London, UK.
- BALLAS, A., GOLIAS, J. 2002. "Comparative Evaluation of Existing and Innovative Rail-Road Freight Transport Terminals". *Transportation Research. Part A* 36:593–611.
- BANA E COSTA, A.; VANSNICK, J. C. A. 2001. *Fundamental Criticism to Saaty's Use of the Eigenvalue Procedure to Derive Priorities*. Working Paper, Department of Operational Research, London School of Economics and Political Science.
- BARROS. M, LOBO, A. 2009. *Panorama das Ferrovias Brasileiras*. Disponível em: <[www.ilos.com.br](http://www.ilos.com.br)>, Acesso em: Março de 2008.
- BAUCHET, P., 1998, *Les Transports Mondiaux, Instrument de Domination*. 1 ed. Paris. Economica.
- BELLINGER, G. 2004. *Modeling & Simulation: An Introduction*. Disponível em: <<http://www.systems-thinking.org/modsim/modsim.htm>> Acesso em março de 2010.
- BELTON, V., STEWART, T., 2002. "Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach". *Kluwer Academic Press*, Boston.
- BEN-AKIVA, M., S.R. LERMAN. 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.

- BERTALANFFY, L. Von., 1969. *General Theory of Systems*. George Brazillier. N. York.
- BICHOU, K, GRAY,R, 2004. "A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement". *Maritime Policy and Management*,31(1),47-67.
- BICHOU, K. 2009. *A Benchmarking Study of the Impacts of Security Regulations on Container Port Efficiency*. Thesis PHD. Centre for Transport Studies Department of Civil and Environmental Engineering Imperial College London. London. UK.
- BISH, E. K. 2003. "A Multiple-Crane-Constrained Scheduling Problem in a Container Terminal". *European Journal of Operational Research* 144(1): 83-107.
- BOSTEL, N, DEJAX, P, 1998, "Models and Algorithms for Container Allocation Problems on Trains In a Rapid Transshipment Shunting Yard", *Transportation Science*, 32(4), 370- 379
- BOVY, P.H.L., BLIEMER, M.C.J., VAN NES, R. 2006. *Course Transportation Modeling*. Transport & Planning Section. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology
- BOYSEN, N., FLIEDNER, M., KELLNER, M., 2010. "Determining Fixed Crane Areas in Rail-Rail Transshipment Yards". *Transportation Research. Part E* 46.
- BRADO LOGÍSTICA, 2011. *Serviços*. Disponível em:< <http://www.brado.com.br>>. Acesso em: Setembro de 2011.
- BRANS, J. P., MARESCHAL, B. 2005. "Prométhée Methods". In: FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*.Cap 5. London. Kluwer Academic Publishers.
- CALDEIRINHA V., J. A., FELICIO. 2011. *A influência dos Fatores de Caracterização dos Portos no Desempenho, Medido por Indicadores Operacionais, Financeiros e de Eficiência*. Relatório. mpra.ub.uni-Muenchen. Lisboa. Portugal.
- CANONACO, P., LEGATO, P., MAZZA, R. M. AND MUSMANNO, R. 2007. "A Queuing Network Model for the Management of Berth Crane Operations". *Computers and Operations Research*.
- CARGO SYSTEMS, 2007a, "Ship-to-Shore Cranes 2006", *Delivery Survey*, December Issue, 27-31.
- CARGO SYSTEMS, 2007b, "Yard Cranes 2006", *Deliveries*, January-February Issue, 31-35.
- CARGO SYSTEMS, 2008a, "Ship-to-Shore Cranes 2007" *Delivery Survey*, January-February Issue, 43-47.
- CARGO SYSTEMS, 2008b, "Yard Cranes" *Deliveries Survey*, March Issue, 43-47,
- CBC. 2008. Câmara Brasileira de Contêineres. Estatística. Disponível: <<http://www.cbc.gov.br>>. Acesso em: Março de 2009.

- CENTRAN, 2012. *Plano Nacional de Logística e Transportes – Relatório Executivo*. Rio de Janeiro, Centro de Excelência em Engenharia de Transportes.
- CHAO, S. LIN, Y. 2011. 'Evaluating Advanced Quay Cranes in Container Terminals". *Transportation Research. Part E* 47 (2011) 432–445.
- CHECKLAND, P.B., 1972. *Towards a Systems-Based Methodology for Real world problem Solving*. Systems Eng., v.3,n. 2
- CHEN, Z., 2005. *Consensus in Group Decision Making Under Linguistic Assessments*. Thesis Doctor. Kansas State University. Manhattan, Kansas.
- CHWIF, L., MEDINA, A. 2010. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 3ª Edição. São Paulo: Ed. do Autor.
- CLEMEN, R. T.; REILLY, T. 2001. *Making Hard Decision with Decision Tools*. 2. ed. California. Duxbury.
- CORDEAU, J. F., GAUDIOSO, M., LAPORTE, G. AND MOCCIA, L. 2007. "The Service Allocation Problem at the Gioia Tauro Maritime Terminal". *European Journal of Operational Research* 176: 1167–1184.
- CORDEAU, J. F., LAPORTE, G., LEGATO, P. AND MOCCIA, L. 2005. "Models and Tabu Search Heuristics for The Berth-Allocation Problem". *Transportation Science* 39: 526–538.
- CORRY, P, KOZAN, E. 2006. "An Assignment Model of Dynamic Load Planning of Intermodal Trains". *Computers & Operations Research*, 33:1–17.
- CULLINANE, K. P. B., SONG, D.-W., JI, P., & WANG, T.-F. 2004. "An application of DEA windows analysis to container port production efficiency". *Review of Network Economics*, 3(2), 186–208
- DAGANZO, C. 1989. "The Crane-Scheduling Problem". *Transportation Research. Part B* 23(3), 159-175.
- DHILLON, S., 2007. *Human Reliability and Error in Transportation Systems*. Springer Series in Reliability Engineering. Springer-Verlag. London.
- DING, J., CHOU, C. 2011. "A fuzzy MCDM Model of Service Performance for Container Ports". *Scientific Research and Essays* Vol. 6(3), pp. 559-566, 4 February
- DORI, D. 2002. *Object-Process Methodology: A Holistics System Paradigm*. New York, NY, USA: Springer.
- DORNELES, A.L., 1990. *Controle de Manobras em Pátios Ferroviários*. Dissertação M.Sc. Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Brasil.
- ESTEFAN, J., A., 2008. *Model-Based Systems Engineering (MBSE)*. Technical Data Report: Catalog of MBSE Lifecycle Methodologies. INCOSE (International

- Council on Systems Engineering). California Institute of Technology. Pasadena, California, U.S.A.
- FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT. 2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* M. Kluwer Academic Publishers. London.
- FORRESTER, J., 1968. *Principles of Systems*. MIT Press: Cambridge.
- FRANKE, K. P., 2001, "Boosting Efficiency of Split Marine Container Terminals by Innovative Technology". In: *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, pp. 774-779, Oakland, CA, EUA, 25 a 29 de Aug.
- FRIEDENTHAL, S., MOORE, A., STEINER, R. 2008. *A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language*. OMG Press. Elsevier, New York.
- GAMBARDELLA, L. M., RIZZOLI, A. E., ZAFFALON, M., 1998. 'Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal'. *Special Issue SIMULATION on Harbor and Maritime Simulation*.
- GASS, S., 2005. "Model World: The Great Debate—MAUT Versus AHP". *Interfaces*. Vol. 35, No. 4, July–August pp. 308–312.
- GIACHETTI, R., 2010. *Design of Enterprise Systems: Theory, Architecture and Methods*. CRC Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton. USA.
- GIALLOMBARDO, G., L. MOCCIA, M. SALANI AND I. VACCA., 2010. "Modeling and Solving the Tactical Berth Allocation Problem". *Transportation Research. Part B* 44 (2) 232–245.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. 2004. *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S. & ALMEIDA, A.T. 2002. *Tomada de decisão gerencial: Enfoque Multicritério*. São Paulo: Atlas.
- GORDON, G., 1969. *System Simulation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. EUA.
- GÜNTHER, H. O. AND KIM, K. H., 2006. "Container Terminals and Terminal Operations". *OR Spectrum*. 28: 437–445.
- HAN, Y., L. H. LEE, E. P. CHEW AND K. C. TAN. 2008. "A Yard Storage Strategy for Minimizing Traffic Congestion in a Marine Container Transshipment Hub". *OR Spectrum*, 30, 697–720.
- HENESEY, L., 2004. *Enhancing Container Terminal Performance: Multi-agent Container Terminal Management*, PhD thesis. Blekinge Institute of Technology. Karlshamn, Sweden.
- HENESEY, L., TORNQUIST, J., 2006. "Enemy at the Gates: Introduction of Multi-Agents In a Terminal Information Community". *Department of Software Engineering and Computer Science*. Blekinge Institute of Technology, Sweden.

- HIJAR, M., ALEXIM. 2008. *Avaliação do Acesso aos Terminais Portuários e Ferroviários de Contêineres no Brasil*. CEL. Centro de estudos em logística. Rio de Janeiro. Disponível em: < [www.ilos.com.br](http://www.ilos.com.br)>, Acesso em: Março de 2009.
- IMAI, A., NISHIMURA, E. AND PAPADIMITRIOU, S., 2003. "Berth Allocation with Service Priority". *Transportation Research. Part B* 37: 437–457.
- IMAI, A., NISHIMURA, E. AND PAPADIMITRIOU, S., 2008. "Berthing Ships at a Multi-User Container Terminal with a Limited Quay Capacity". *Transportation Research. Part E* 44: 136–151.
- IMAI, A., SUN, X., NISHIMURA, E. AND PAPADIMITRIOU, S., 2005. "Berth Allocation. In: A Container Port: Using a Continuous Location Space Approach". *Transportation Research. Part B* 39: 199–221.
- INCOSE. 2011. *INCOSE Systems Engineering Handbook*, version 3.2.1. San Diego, CA, USA: International Council on Systems Engineering. INCOSE-TP-2003-002-03.2.1. Disponível em: <<http://www.incose.org>> . Acesso em Fevereiro, 2011.
- ISLER, C. A.; WIDMER, J., 2010. "Procedimento Expedido para Avaliação do Traçado de Ferrovias sob o Aspecto do Desempenho de Trens". In: *Congresso Brasileiro de Pesquisa e Ensino de Transportes*, 17. Anais. Rio de Janeiro. ANPET, Nov. 2010.
- KALMAN, R., (1969). *Topics in Mathematical System Theory*. McGraw-Hill. EUA.
- KALMAR INDUSTRIES. 2011. Disponível em: <[www.kalmarind.com](http://www.kalmarind.com)> . Acesso em: Março, 2011.
- KEENEY, R. L., H. RAIFFA. 1976. *Decisions with Multiple Objectives*. John Wiley and Sons, New York.
- KIM, K. H., GÜNTER, H., 2007. *Container Terminals and Cargo Systems. Design, Operations Management, and Logistics Control Issues*. Germany. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- KIM, K.H AND MOON, K.C, 2003, "Berth Scheduling by Simulated Annealing". *Transportation Research. Part B*, 37 (6) 541–560.
- KIM, K.H AND PARK, Y.M, 2004. "A Crane Scheduling Method for Port Container Terminals". *European Journal of Operational Research*, 156, 752-768.
- KLIR, G. J., 1969. *An Approach to General Systems Theory*, Van Nostrand Reinhold Co.: New York.
- KLIR, G., FOLGER, T., 1988. *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information*. New Jersey. U.S.A. Prentice Hall.
- KOZAN, E. 2000. "Optimizing container Transfers at Multi-Modal Terminals". *Mathematical and Computer Modeling*, 31:235–243.

- KOZAN, E. AND PRESTON, P. 2006. "Mathematical Modeling of Container Transfers and Storage Locations at Seaport Terminals". *OR Spectrum* 28: 519–537.
- LAU, H and ZHAO, Y. 2007. "Integrated Scheduling of Handling Equipment at Automated Container Terminals". *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.
- LAU, Y. AND M. LEE .2007. "Simulation Study of Port Container Terminal Quay Side Traffic", *In: J. Park, T. Kim and Y. Kim (eds.) AsiaSim 2007*, 227–236, Springer.
- LAW, A. 2007. *Simulation Modeling and Analysis*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw Hill.
- LEE, D. H., CAO, Z. AND MENG, Q. 2007. "Scheduling of Two-Transtainer Systems for Loading Outbound Containers in Port Container Terminals with Simulated Annealing Algorithm". *International Journal of Production Economics* 107: 115–124.
- LEGATO, P. AND MAZZA, R. M. 2001. "Berth Planning and Resources Optimization at a Container Terminal via Simulation". *European Journal of Operational Research* 133: 537–547.
- MAGALA, M & SAMMONS. A., 2008. "A New Approach to Port Choice Modelling". *Maritime Economics & Logistics*, 2008, pp.9–34.
- MAGEE, C. L., de WECK, O. L., 2004. "Complex System Classification". *In: Proceedings of the 14th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering (INCOSE)*, Toulouse, France. 20 - 24 June.
- MDIC. 2010. *Balança Comercial Brasileira. Dados consolidados*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. DEPLA - Departamento de Planejamento e Desenvolvimento do Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior – SECEX. Brasil. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>
- MEERSMANS, P.J.M., DECKER, R. 2001. "Operations Research Supports Containers Handling". Econometric Institute Report. EI.2001-22. Erasmus University Rotterdam. Rotterdam. Netherlands.
- MÉLÈSE, J. 1967. *La Gestion par les Systèmes. Essai de Praxéologie*. Puteaux: Éditions Homes et Techniques. Paris. France.
- MESAROVIC, M., 1971. "Multilevel Systems Theory: State of Art". *In: 2<sup>nd</sup> Symposium on Multivariable Technical Systems*. Dusseldorf.
- MINGERS, J., WHITE, L., 2009. *A Review of the Recent Contribution of Systems Thinking to Operational Research and Management Science*. Working Paper No.197. University of Kent, UK.

- MÔNACO MF, MOCCIA L, SAMMARRA M (2009). "Operations Research for the management of a transshipment container terminal: The Gioia Tauro case". *Maritime Economics & Logistics.*, 11: 7-35.
- NAYLOR, T., H.; BALINTFY, J. L.; BURDICK, D. S.; CHU, K..1968. *Computer Simulation Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc.,1968. 365p.
- NAZARI, D. 2005. *Evaluating Container Yard Layout. A Simulation Approach*. MSc in Maritime Economics and Logistics. Erasmus University Rotterdam. Rotterdam. Rotterdam. Netherlands.
- NOTTEBOOM, T., RODRIGUE, J.P., 2009. 'The Corporate Geography of Global Container Terminal Operators". *Maritime Policy and Management*.
- OLIVEIRA, R. M., RIBEIRO, R. G., LIBANIO, A., 2009. *Modelos para Projeção de Demanda e Avaliação do Desempenho Operacional por Simulação do Terminal de Contêineres do Porto de Santos – Tecon*. Cefet-MG. Modelle Logística e Engenharia Ltda.
- ONUT, S., TUZKAYA, R., TORUN, E., 2010. "Selecting Container Port Via a Fuzzy ANP-Based Approach: A Case Study in the Marmara Region, Turkey". Department of Industrial Engineering, Mechanical Faculty, Yildiz Technical University. Istanbul, Turkey. 31 August.
- OTTJES, J., VEEKE, H., DUINKERKEN, M., RIJSENBRIJ, J., LODEWIJKS, G. 2007. "Simulation of a Multiterminal System for Container Handling". In: *Container Terminal and Cargo Systems*. Springer.
- PARK, Y. M. AND KIM, K. H., 2003. "A Scheduling Method for Berth and Quay Cranes". *OR Spectrum* 25: 1–23.
- PEREIRA, A.,L., 2009. *Curso de Teoria Geral de Sistemas*. Programa de Engenharia de Transportes. PET / COPPE. UFRJ, Rio de Janeiro. Brasil.
- PEREIRA, A., L., 2010. *Curso de Análise de Confiabilidade e Segurança de Sistemas de Transportes*. Programa de Engenharia de Transportes. PET / COPPE / UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.
- PNLT. 2008. *Plano Nacional de Logística em Transportes*. Brasil. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em: Março de 2008.
- PORT OF LOS ANGELES. 2004. *Portwide Rail Synopsis*. Los Angeles. California. Estados Unidos.
- RAMOS, G. WIDMER, J. A. 2002. "Avaliação da Capacidade das Interfaces Ferroviárias dos Terminais Intermodais de Contêineres do Porto de Santos". In.: Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes, 16. 2002. Anais. Rio de Janeiro. ANPET, V1.p. 165-177.

- REICHELT , K., HEMPHILL , M. 2009. *Comparative Analysis of a Multi-Use Rail Served Port Facility and Applications to West Hayden Island*. Technical Report. Prepared for the Port of Portland. HDR ENGINEERING, INC. Portland. EUA.
- UNCTAD. 2006. REVIEW OF MARITIME TRANSPORT. United Nations Conference on Trade and Development. Disponível em: <<http://www.unctad.org>>.
- RIZZOLI A., FORNARA N., AND GAMBARDELLA L.2002. “A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals”. *Mathematics and Computers in Simulation*, 59(1- 3):57–71.
- RODRIGUES, F. MARTINS, W. E MONTEIRO, A. 2001. “O Processo de Decisão Baseado em Múltiplos Objetivos: O Usos do Método de Análise Hierárquica na Tomada de Decisão sobre Investimentos”. In: Caixeta-Filho, J. E Martins, R. (Organizadores). *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. São Paulo: Atlas..
- ROUQUETTE, N. AND S. JENKINS. 2010. *OWL Ontologies and SysML Profiles: Knowledge Representation and Modeling*. Proceedings of NASA- ESA PDE Workshop.June. Disponível em: <<http://www.congrex.nl/10m05post/presentations/pde.2010-Jenkins.pdf>>.
- ROY, B., BOUYSSOU, D. 1993. *Aide Multicritère à La Décision: Méthodes et Cas*. Paris: Economica.
- SAANEN, A., Y., 2004. *An Approach for Designing Robotized Marine Container Terminals*. Thesis Doctor. Technische Universiteit Delft.
- SAATY, T. L. 1987. “Rank Generation, Preservation, and Reversal in the Analytic Hierarchy Decision Process”. *Decision Sci.* 18(2) 157–177.
- SAATY, T. L., L. G. VARGAS. 2000. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- SAATY, T.L. 1994. “How to make a decision: the analytic hierarchy process”. *Interfaces*, Vol. 24, No. 6, pp.19–43.
- SAATY, T.L. 2008. “Decision Making with the Analytic Hierarchy Process”, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, p.83–98.
- SAATY, T.L., 1980. *Método de Análise Hierárquica*, McGraw–Hill, Makron, São Paulo.
- SAMMARRA, M., CORDEAU, J. F., LAPORTE, G. AND MONACO, M. F. 2007. “A Tabu Search Heuristic for the Quay Crane Scheduling Problem”. *Journal of Scheduling*10: 327–336.
- SANTEN, S. VAN, BRUIN, J., 2004. “Information Technology”. *MEL Course Maritime Logistics Lecture 15 – IT Solutions for Ports*. Lecture notes. Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, The Netherlands.

- SENGE, P. 1990. *The Fifth Discipline: The Art & Practice of the Learning Organization*. Revised edition (March 21, 2006). Crown Business. EUA.
- SERPRO. 2006. *Projeto Sisportos: Mapeamento dos Processos do Porto de Santos*. São Paulo. Serviço Federal de Processamento de Dados. Disponível em: <[www.serpro.gov.br](http://www.serpro.gov.br)>.
- SEYED-HOSSEINI, S-M., KHALILI-DAMGHANI. 2009. "Fuzzy Containers Allocation Problem in Maritime Terminal". *Journal of Industrial Engineering and Management*. V2.pp. 323-336.
- SHANNON, R. 1975. *Systems Simulation: the art and science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- SONG, D-W. and YEO, K-T., 2004. "A Competitive Analysis of Chinese Container Port Using the Analytic Hierarchy Process". *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 6, pp. 35-52..
- STAHLBOCK and VOSS. 2008."Operations research at container terminals: a literature update". *OR Spectrum*, 30 (1), 1-52.
- STEENKEN, D., VOß STEFAN, STAHLBOCK R., 2004. "Container terminal operation and operations research – a classification and literature review". *OR Spectrum*. Heidelberg: Vol 26.
- TEIXEIRA, K. 2007. *Investigação de Opções de Transporte de Carga Geral em Contêineres nas Conexões com a Região Amazônica*. D.Sc. Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Carlos. Brasil.
- USDOT. 2010. U.S. *Department of Transportation, Maritime Administration (MARAD). Report to Congress on the Performance of Ports and the Intermodal System*. Washington. Disponível em: <<http://marad.dot.gov/documents>> . Acesso em: June Apr. 7, 2009.
- VACCA, I, BIERLAIRE, M, SALANI, M., 2007. "Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives". *In:Swiss Transport Research Conference*. Setembro.
- VACCA, I., SALANI, M., BIERLAIRE, M. 2010. "Optimization of operations in container terminals: hierarchical vs. integrated approaches". *TRANSP-OR EPFL*. Lausanne. September.
- VALE. 2011. Especial Logística. Empresa Vale S.A. Disponível em: <[http://saladeimprensa.vale.com/pt/book/pages/vale\\_news.pdf](http://saladeimprensa.vale.com/pt/book/pages/vale_news.pdf)> Acesso em: Setembro de 2011.
- VALKENGOED, M., 2004. "How passing cranes influence stack operations in a container terminal. A simulation study". *Business Mathematics & Informatics*. Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands.

- VAN DER HORST, M., LUGT, L. 2010. "Coordination in Railway Hinterland Chains. An institutional analysis". *Iame – Logistic and Ports Economics*. Erasmus University Rotterdam, Netherlands.
- VASCONCELOS, A. D., 2009. *Metodologia para Localização de Terminais Concentradores em Redes de Transporte sob Gerenciamento Descentralizado*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- VIS, I. F. A. AND DE KOSTER, R. 2003. "Transshipment of containers at a container terminal: An overview". *European Journal of Operational Research*, 147: 1–16.
- VIS, I. F. A., DE KOSTER, R. AND SAVELSBERGH, M. 2005. "Minimum vehicle fleet size under time-window constraints at a container terminal". *Transportation Science*, 39: 249–260.
- WONG, A. K., 2008. *Optimization of Container Process at Multimodal Container Terminals*. Thesis D.Sc. Faculty of Science. Queensland of Technology. Queensland. Australia.
- WYMORE, A. 1993. *Model-Based Systems Engineering*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- ZADEH, L. A., POLACK, E., 1969. *System Theory*. Mc Graw Hill.

## **ANEXO I: Pesquisa de Campo**

Rio de Janeiro, 30 de Novembro de 2011.

**Aplicação de Metodologia para Avaliação dos Critérios de Seleção de Configuração da transferência entre Terminal de Contêineres e Pátio Ferroviário tendo como base o desenvolvimento de um projeto novo ou a expansão de um terminal existente.**

Prezado Senhor/ Senhora,

O desenvolvimento de uma metodologia para auxiliar a escolha da configuração necessita da sua participação respondendo os questionamentos abaixo. Inicialmente são apresentadas as definições que norteiam o projeto, antes das questões.

Esta pesquisa faz parte do trabalho de Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes, PET- COPPE - UFRJ. O objetivo é hierarquizar os Critérios que caracterizam a transferência intermodal e a importância desses nas alternativas de configurações de transferência entre terminais portuários de contêineres e pátios ferroviários.

As alternativas de configuração são o local onde a transferência intermodal entre a ferrovia e o terminal de contêineres pode ocorrer:

- Na Doca (O Trem Vai Até a Área de Embarque/Desembarque);
- No Pátio de Contêineres;
- No Pátio Ferroviário, Fora da área de alfândega.

Sua participação é fundamental para alcançar o objetivo proposto e o anonimato será totalmente mantido. Quando concluído, os resultados serão disponibilizados aos interessados.

Assim, desde já agradecemos a sua colaboração.

Atenciosamente

Ana Lucia Dorneles de Mello

## Pesquisa sobre critérios de julgamento dos atributos da configuração de transferência entre um terminal portuário de contêiner e um pátio ferroviário

Para cada item, deve-se assinalar uma nota que representa a importância do sub-critério no critério associado à relevância para a escolha da configuração ou ainda a nota de importância do sub-critério para cada uma das alternativas de configuração propostas. O valor da nota (de 1 até 9) está associado a expressão linguística que representa a importância que você atribui a este critério como na tabela abaixo.

### **Grau de Importância do Critério na Seleção da Configuração**

<i>Nota</i>	<i>Descrição da Escala de Importância</i>
1)	Mesma Importância: Ambos tem a mesma importância.
2)	O critério é levemente mais importante que o outro.
3)	O critério tem alguma importância mais que o outro.
4)	O critério é pouco mais importante que o outro.
5)	O critério é mais importante do que o outro.
6)	O critério é muito mais importante do que o outro.
7)	O critério é muitíssimo mais importante do que o outro.
8)	O critério tem importância absolutamente maior que o outro.
9)	O critério é extremamente mais importante do que o outro.

Cada critério tem por objetivo identificar o grau de importância na configuração. As definições de cada fator são apresentadas a seguir, para sua referência antes de ir para as questões:

- **Estrutura física (EF):** Representa a capacidade da infraestrutura física da ligação intermodal:
  - **Características da via (EF1):** Representa a distância entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres, o número de linhas e o espaço entre elas, o número de desvios, estado de conservação.
  - **Equipamento de transferência de carga/descarga EF2:** Número e tipo de equipamentos do terminal de contêineres e no pátio ferroviário.
  - **Área de estocagem no Terminal (EF3):** tamanho do pátio medido em TEU.
  - **Área de estocagem no Pátio Ferroviário (EF4):** Tamanho do pátio de estocagem medido em TEU, considera-se equivalente ao número de vagões plataforma.
- **Estrutura Organizacional (EO):** Esse critério procura expressar a forma de organização em termos de verticalização/ terceirização de empresas e ou alianças. Nesse ambiente, destaca-se a crescente participação, por exemplo, dos armadores atuando também como operadores de terminais portuários e de exportadores atuando na cadeia de transportes:
  - **Níveis de gestão (EO1):** Significam as formas de gestão entre empresas, as quais se identificaram como: independente, compartilhada e ou a mesma. Exemplo: O gerenciamento pode ser público, público-privado ou totalmente privado e ou compartilhamento de recursos e ou espaços.
  - **Níveis de propriedade (EO2):** Tem por objetivo identificar a influência dos níveis de gestão entre empresas, como verticalizada, parcialmente verticalizada, horizontalizada (terceirizada). Exemplo: Uma empresa totalmente verticalizada é aquela que detém a propriedade do terminal, do navio e de trens e vagões.

- **Nível tecnológico de equipamentos (EO3):** consiste em as diferentes tecnologias de equipamentos que devem ser adaptadas para a movimentação de cargas entre o pátio ferroviário e o terminal de contêineres como, por exemplo, a automação de máquinas. Esta análise tem por objetivo identificar se o nível tecnológico dos equipamentos pode impactar a escolha.
- **Sistema de Gestão da informação integrado (EO4):** Busca identificar a influência de sistemas de gestão da informação como sistemas de troca eletrônica de dados (EDI) e de portos sem papel.
- **Eficiência Intermodal (EI):** A eficiência representa o desempenho do terminal em processar contêineres. Tem por objetivo identificar a influência da configuração da eficiência da transferência intermodal:
  - **Taxas de portuárias e ferroviárias (EI1):** de movimentação no terminal, taxas de carga /descarga, de transbordo, de segurança, de estoque em trânsito, taxas de transporte ferroviário e de impostos aduaneiros.
  - **Volume de contêineres (EI2):** quantidades de unidades em TEU, por terminal ou conjunto de berços. Tem por objetivo identificar se o volume de contêiner influencia a configuração da transferência intermodal.
  - **O sentido do movimento (EI3):** quantidades de unidades por sentido (importação e exportação). Tem por objetivo identificar se o sentido do fluxo de contêiner influencia a configuração da transferência intermodal.
  - **O número de navios (EI4):** de contêineres que frequentam o terminal.
- **Segurança Operacional (SO):** Tais sub-critérios têm por objetivo identificar níveis de influência entre padrões de controle de segurança, as políticas de risco ambiental e pessoal, perigo de trânsito e procedimentos para resolução de conflitos:
  - **Segurança do trabalho (SO1):** as atividades em relação ao número de acidentes. Este sub-critério tem por objetivo identificar se o local da transferência impacta a segurança do trabalho, bem como a oferta de cursos de treinamento, a fim de lhes garantir uma melhor qualificação e segurança para operar em um terminal.
  - **Segurança ambiental (SO2):** as atividades em relação ao meio ambiente. Este sub-critério tem por objetivo identificar se o local da transferência influencia a qualidade do ambiente.
  - **Segurança de equipamentos (SO3):** os equipamentos na operação e na manutenibilidade. Este sub-critério tem por objetivo identificar se o local da transferência impacta a segurança de equipamentos.
  - **Confiabilidade da operação (SO4):** Garantia de funcionamento de forma global, incluindo a segurança de funcionamento.

## IDENTIFICAÇÃO

Nome \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_

Função que exerce: \_\_\_\_\_

Formação Acadêmica:

Técnico ( ) Graduação ( ) Graduação em: \_\_\_\_\_

Especialização ( ) Mestrado ( ) Doutorado ( ) Outros

## QUESTIONÁRIO

- 1) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Transferência Intermodal** e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante do que a outra:

Pares		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Estrutura Física ( ) Estrutura Organizacional	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Estrutura Física	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Estrutura Física	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
4	( ) Estrutura Organizacional ( ) Estrutura Organizacional	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
5	( ) Estrutura Organizacional ( ) Estrutura Organizacional	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
6	( ) Eficiência Intermodal	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 2) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Transferência Intermodal** com relação à **Estrutura Física** e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Pares		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Características da via ( ) Equipamento de Transf.	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Características da via ( ) Área Terminal Contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Características da via ( ) Área de Pátio Ferroviário	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
4	( ) Equipamento de Transf. ( ) Área Terminal Contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
5	( ) Equipamento de Transf. ( ) Segurança Operacional	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
6	( ) Área Terminal Contêineres ( ) Área de Pátio Ferroviário	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 3) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Configuração da Transferência Intermodal** com relação ao sub-critério informado e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Características da via		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Equipamento de Transferência		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Área do Terminal de Contêineres		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres ( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

<b>Área de Estocagem Pátio Ferroviário</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 4) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Transferência Intermodal** com relação à **Estrutura Organizacional** e marque a nota que representa quanto a opção escolhida é mais importante que a outra:

<b>Pares</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Níveis de Gestão	( ) Níveis de Propriedade.	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Níveis de Gestão	( ) Nível Tecnológico de Equipamentos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Níveis de Gestão	( ) Sistema de Gestão da Informação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
4	( ) Níveis de Propriedade	( ) Nível Tecnológico de Equipamentos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
5	( ) Níveis de Propriedade.	( ) Sistema de Gestão da Informação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
6	( ) Nível Tecnológico de Equipamentos	( ) Sistema de Gestão da Informação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 5) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Configuração da Transferência Intermodal** com relação ao sub-critério informado e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

<b>Níveis de Gestão</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
<b>Níveis de Propriedade</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
<b>Nível Tecnológico de Equipamentos</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
<b>Sistema de Gestão da Informação</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 6) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Transferência Intermodal** com relação à **Eficiência Intermodal** e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Pares		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Taxas Portuárias e Ferroviárias	( ) Volumes de Contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Taxas Portuárias e Ferroviárias	( ) Sentido dos Fluxos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Taxas Portuárias e Ferroviárias	( ) Área de Pátio Ferroviário	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
4	( ) Volumes de Contêineres	( ) Sentido dos Fluxos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
5	( ) Volumes de Contêineres	( ) Número de Navios	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
6	( ) Sentido dos Fluxos	( ) Número de Navios	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 7) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Configuração da Transferência Intermodal** com relação ao sub-critério informado e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Taxas Portuárias e Ferroviárias		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Volumes de Contêineres		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Sentido dos Fluxos		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Número de Navios		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 8) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Transferência Intermodal** com relação à **Segurança Operacional** e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Pares		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Segurança do Trabalho	( ) Segurança Ambiental	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Segurança do Trabalho	( ) Segurança de Equipamentos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Segurança do Trabalho	( ) Confiabilidade da Operação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
4	( ) Segurança Ambiental	( ) Segurança de Equipamentos	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
5	( ) Segurança Ambiental	( ) Confiabilidade da Operação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
6	( ) Segurança de Equipamentos	( ) Confiabilidade da Operação	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

- 9) Para cada par, selecione a opção que você considera mais importante para a **Configuração da Transferência Intermodal** com relação ao sub-critério informado e marque a nota que representa quanto à opção escolhida é mais importante que a outra:

Segurança do Trabalho		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Segurança Ambiental		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Segurança de Equipamentos		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
Confiabilidade da Operação		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio contêineres	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
2	( ) Transferência na doca	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )
3	( ) Transferência no pátio contêineres	( ) Transferência no pátio, fora da área de alfândega	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )	( )

Desde já agradecemos.

Ana L. Dorneles de Mello  
Pereira  
(Doutoranda) e-mail: anadmello@uol.com.br.

Prof. Amaranto L.  
(Orientador)

## Anexo II: Exemplo dos procedimentos de cálculo da AHP.

A matriz resultante das médias das notas dos avaliadores para os critérios são as da Tabela All.1. Pode-se verificar nesta tabela que a Eficiência Intermodal foi julgada como fortemente mais importante (nota cinco) que a Segurança Operacional para a transferência intermodal, enquanto esta equivale a  $(1 / 5 = 0,20)$ . Os demais valores tiveram o mesmo tipo de análise. Para encontrar a prioridade geral dos critérios, três etapas são necessárias.

- 1) A criação da matriz de pesos baseada nas notas fornecidas pelos especialistas e o cálculo das somas de cada coluna, como a Tabela All.1

**Tabela All.1** Matriz dos Pesos dos Critérios

	Eficiência Intermodal	Segurança Operacional	Estrutura Física	Estrutura Organizacional
Eficiência Intermodal	1,00	<b>5,00</b>	4,00	5,00
Segurança Operacional	<b>0,20</b>	1,00	2,00	3,00
Estrutura Física	0,25	0,50	1,00	2,00
Estrutura Organizacional	0,20	0,33	0,50	1,00
<b>Soma</b>	1,65	6,83	7,50	11,00

- 2) Normalização dos valores, dividindo cada valor da célula matriz da Tabela All.1 pelo total da coluna e calcular a média de cada linha, resultando na Tabela All.2.

**Tabela All.2** Matriz dos Pesos dos Critérios Normalizados

	Eficiência Intermodal	Segurança Operacional	Estrutura Física	Estrutura Organizacional	Média
Eficiência Intermodal	0,61	0,73	0,53	0,45	0,58
Segurança Operacional	0,12	0,15	0,27	0,27	0,20
Estrutura Física	0,15	0,07	0,13	0,18	0,13
Estrutura Organizacional	0,12	0,05	0,07	0,09	0,08

O cálculo de consistência foi feito da seguinte maneira:

Para encontrar a taxa de inconstância, multiplica-se o valor de cada coluna da Tabela All.1 pela média (prioridade) da Tabela All.2 e faz-se a soma dos pesos, como na Tabela All.3.

**Tabela All.3.** Cálculo da Consistência

	Eficiência Intermodal	Segurança Operacional	Estrutura Física	Estrutura Organizacional	Soma
Eficiência Intermodal	0,58	1,00	0,52	0,40	2,50
Segurança Operacional	0,12	0,20	0,26	0,24	0,82
Estrutura Física	0,15	0,10	0,13	0,16	0,54
Estrutura Organizacional	0,12	0,07	0,07	0,08	0,33

A seguir, dividem-se os elementos da soma dos pesos pela valor da prioridade correspondente para cada critério da Tabela All.3 e encontra-se o vetor médio ou  $\lambda_{max}$ , resultando em:

	$\lambda_{max}$
Eficiência Intermodal	4,310344828
Segurança Operacional	4,08
Estrutura Física	4,115384615
Estrutura Organizacional	4,0875
$\lambda_{max}$ médio	4,148307361

Calcular o Índice de consistência IC:

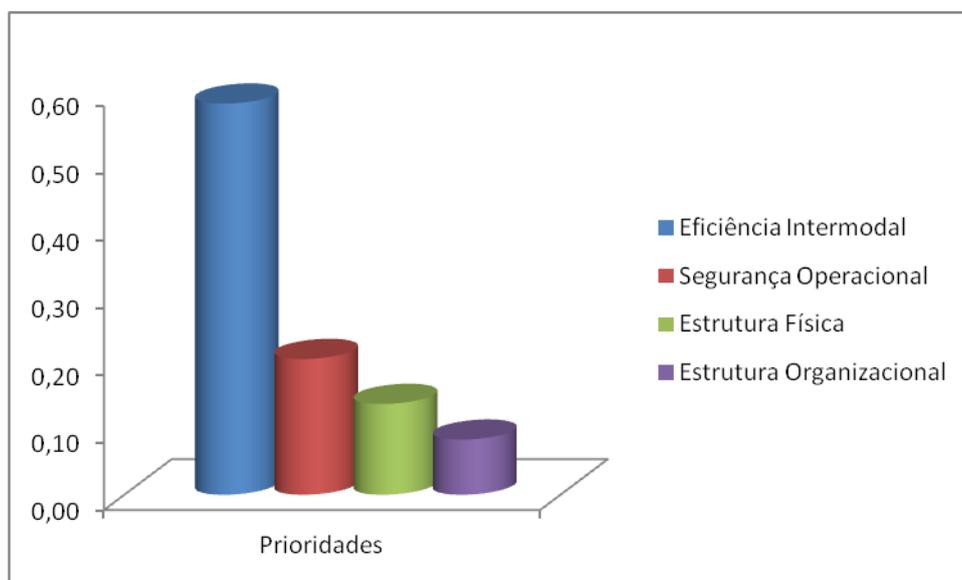
$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n-1) \text{ então, } IC = (4,15 - 4) / (4 - 1), IC = 0,049.$$

Como  $RC = IC/IR$ , baseado na Tabela 4.2, o valor de IR (Índice Randômico) para (n = 4) é 0,90, então, para o exemplo,  $RC = 0,049 / 0,90 = 0,055$ . Como o valor RC é menor que 0,10, a comparação feita é considerada aceitável.

3) Os valores médios dos critérios definem as suas prioridades, como representado na Tabela All.4 e no Figura All.1.

**Tabela AII.4** Prioridades dos Critérios da Transferência Intermodal

Critérios	Prioridades
Eficiência Intermodal	0,58
Segurança Operacional	0,20
Estrutura Física	0,13
Estrutura Organizacional	0,08



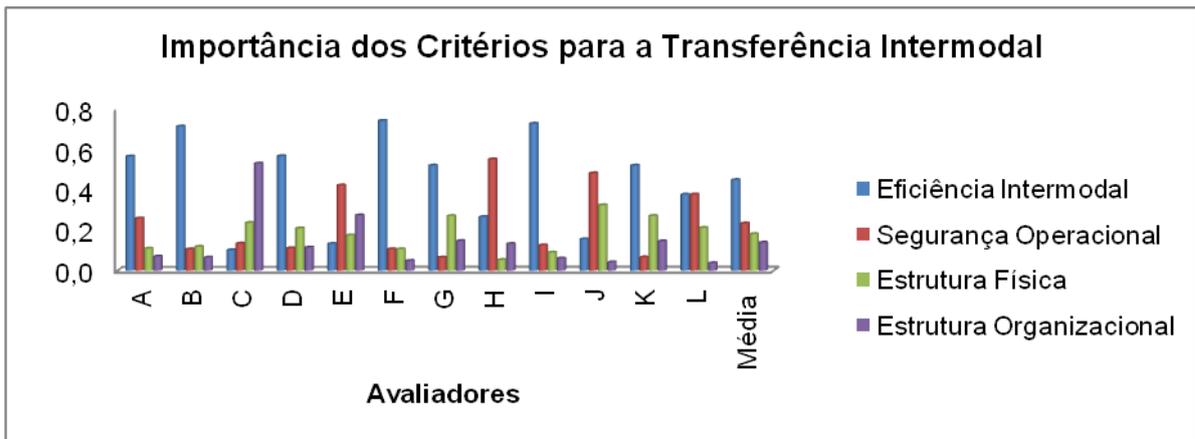
**Figura AII.1** Importância dos Critérios da Transferência Intermodal

Demais Resultados obtidos com os dados da média das notas seguem o mesmo padrão de cálculo.

### ANEXO III: Resultados Individuais e Média dos Resultados

**Tabela AIII.1** Hierarquias Individuais e Médias dos Critérios

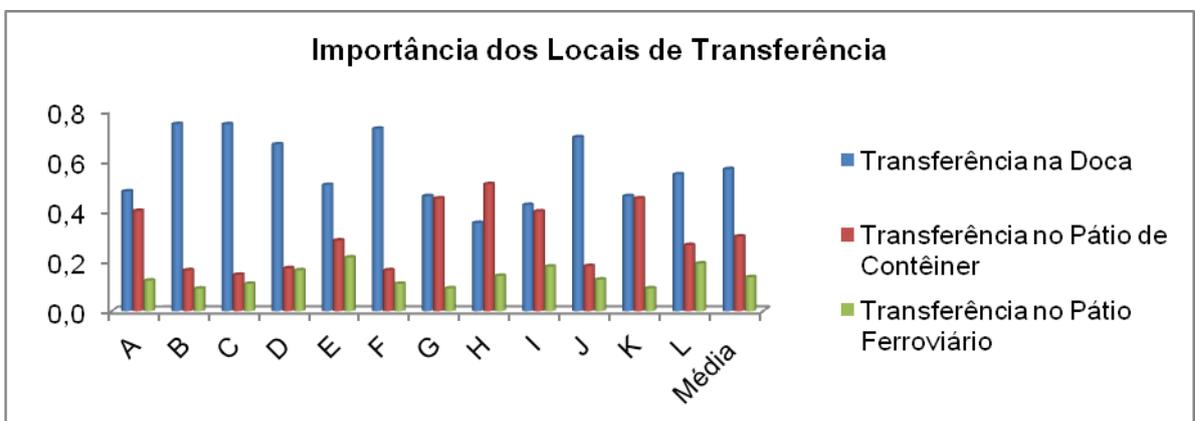
Critérios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Eficiência Intermodal	0,56	0,71	0,10	0,57	0,13	0,74	0,52	0,27	0,73	0,16	0,52	0,38	0,45
Segurança Operacional	0,26	0,11	0,13	0,11	0,42	0,11	0,07	0,55	0,13	0,48	0,07	0,38	0,23
Estrutura Física	0,11	0,12	0,24	0,21	0,17	0,11	0,27	0,05	0,09	0,32	0,27	0,21	0,18
Estrutura Organizacional	0,07	0,07	0,53	0,11	0,27	0,05	0,15	0,13	0,06	0,04	0,15	0,04	0,14



**Figura AIII.1** Hierarquias Individuais e Médias dos Critérios

**Tabela AIII.2** Importância dos locais da transferência individuais e média

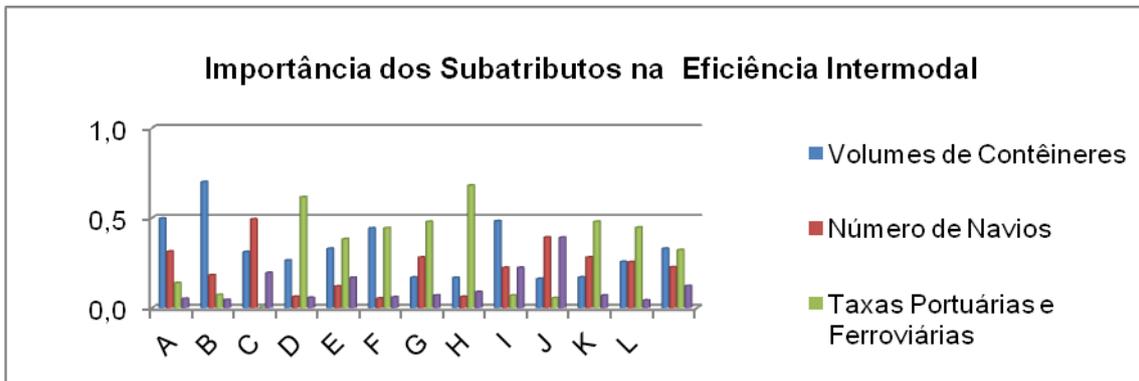
Configuração	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,48	0,75	0,75	0,67	0,50	0,73	0,46	0,35	0,42	0,69	0,46	0,55	0,57
Transferência no Pátio de Contêiner	0,40	0,16	0,15	0,17	0,28	0,16	0,45	0,51	0,40	0,18	0,45	0,26	0,30
Transferência no Pátio Ferroviário	0,12	0,09	0,11	0,16	0,21	0,11	0,09	0,14	0,18	0,13	0,09	0,19	0,14



**Figura AIII.2** Importância dos locais da transferência individuais e média

**Tabela AIII.3 Critério: Eficiência Intermodal**

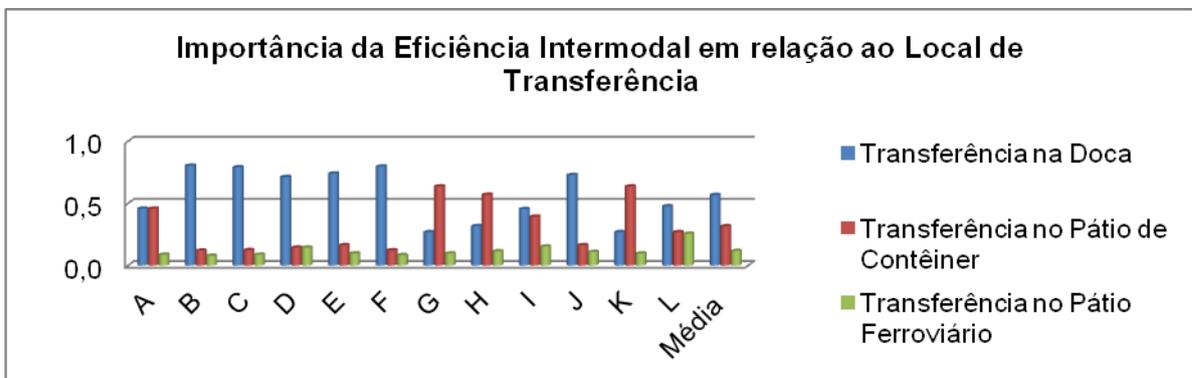
Eficiência Intermodal	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Volumes de Contêineres	0,50	0,70	0,31	0,26	0,33	0,44	0,17	0,17	0,48	0,16	0,17	0,26	0,33
Número de Navios	0,31	0,18	0,49	0,06	0,12	0,05	0,28	0,06	0,22	0,39	0,28	0,26	0,23
Taxas Portuárias e Ferroviárias	0,14	0,07	0,00	0,62	0,38	0,44	0,48	0,68	0,07	0,06	0,48	0,45	0,32
Sentido dos Fluxos	0,05	0,05	0,20	0,06	0,17	0,06	0,07	0,09	0,22	0,39	0,07	0,04	0,12



**Figura AIII.3** Importância dos subCritérios da Eficiência Intermodal

**Tabela AIII.4** Importância dos locais da transferência- Eficiência Intermodal

Eficiência Intermodal	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,46	0,80	0,79	0,71	0,74	0,80	0,27	0,32	0,45	0,73	0,27	0,48	0,57
Transferência no Pátio de Contêiner	0,46	0,12	0,12	0,14	0,16	0,12	0,64	0,57	0,39	0,16	0,64	0,27	0,32
Transferência no Pátio Ferroviário	0,09	0,08	0,09	0,14	0,10	0,08	0,10	0,11	0,15	0,11	0,10	0,26	0,12



**Figura AIII.4** Importância dos locais da transferência- Eficiência Intermodal

**Tabela AIII.5** Importância dos locais da transferência- Volume de Contêineres

Volume de Contêineres	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,59	0,81	0,75	0,71	0,75	0,80	0,31	0,43	0,40	0,73	0,31	0,81	0,61
Transferência no Pátio de Contêiner	0,35	0,12	0,16	0,14	0,16	0,12	0,62	0,50	0,40	0,16	0,62	0,12	0,29
Transferência no Pátio Ferroviário	0,06	0,08	0,10	0,14	0,10	0,08	0,08	0,07	0,20	0,11	0,08	0,08	0,10

**Tabela AIII.6** Importância dos locais da transferência- Número de Navios

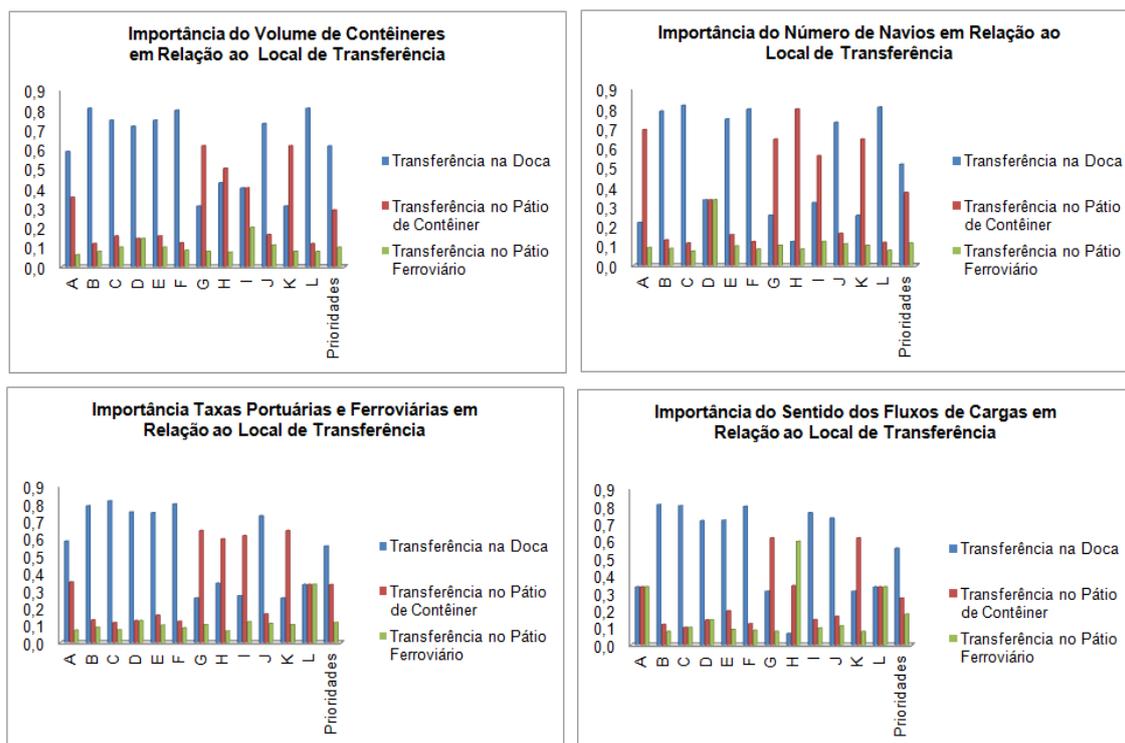
Número de Navios	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,22	0,79	0,81	0,33	0,75	0,80	0,26	0,12	0,32	0,73	0,26	0,81	0,51
Transferência no Pátio de Contêiner	0,69	0,13	0,11	0,33	0,16	0,12	0,64	0,80	0,56	0,16	0,64	0,12	0,37
Transferência no Pátio Ferroviário	0,09	0,09	0,07	0,33	0,10	0,08	0,10	0,08	0,12	0,11	0,10	0,08	0,11

**Tabela AIII.7** Importância dos locais da transferência – Taxas

Taxas Portuárias e Ferroviárias	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,58	0,79	0,81	0,75	0,75	0,80	0,26	0,34	0,27	0,73	0,26	0,33	0,55
Transferência no Pátio de Contêiner	0,35	0,13	0,11	0,13	0,16	0,12	0,64	0,60	0,61	0,16	0,64	0,33	0,33
Transferência no Pátio Ferroviário	0,07	0,09	0,07	0,13	0,10	0,08	0,10	0,07	0,12	0,11	0,10	0,33	0,11

**Tabela AIII.8** Importância dos locais da transferência - Sentidos dos Fluxos

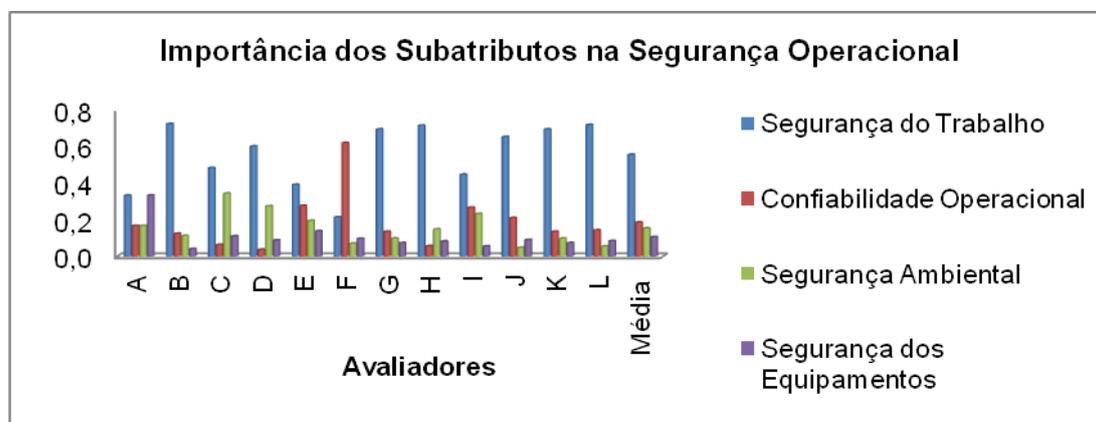
Sentido dos Fluxos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,33	0,81	0,80	0,71	0,72	0,80	0,31	0,07	0,76	0,73	0,31	0,33	0,56
Transferência no Pátio de Contêiner	0,33	0,12	0,10	0,14	0,20	0,12	0,62	0,34	0,14	0,16	0,62	0,33	0,27
Transferência no Pátio Ferroviário	0,33	0,08	0,10	0,14	0,09	0,08	0,08	0,60	0,10	0,11	0,08	0,33	0,18



**Figura AIII.5** Importância dos locais da transferência - subcritérios Eficiência Intermodal

**Tabela AIII.9** Importância do Critério - Segurança Operacional

Segurança Operacional	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Segurança do Trabalho	0,33	0,72	0,48	0,60	0,39	0,21	0,69	0,71	0,45	0,65	0,69	0,72	0,56
Confiabilidade Operacional	0,17	0,12	0,06	0,04	0,28	0,62	0,14	0,06	0,27	0,21	0,14	0,14	0,19
Segurança Ambiental	0,17	0,11	0,34	0,27	0,20	0,07	0,10	0,15	0,23	0,05	0,10	0,06	0,15
Segurança dos Equipamentos	0,33	0,04	0,11	0,09	0,14	0,10	0,07	0,08	0,06	0,09	0,07	0,08	0,11



**Figura AIII.6** Importância dos subcritérios da Segurança Operacional

**Tabela AIII.10** Importância dos locais da transferência - Segurança Operacional

Segurança Operacional	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,51	0,80	0,79	0,77	0,52	0,58	0,31	0,38	0,39	0,78	0,31	0,67	0,57
Transferência no Pátio de Contêiner	0,28	0,12	0,12	0,11	0,30	0,26	0,62	0,51	0,53	0,13	0,62	0,18	0,31
Transferência no Pátio Ferroviário	0,21	0,08	0,09	0,11	0,19	0,16	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	0,15	0,12

**Tabela AIII.11** Importância dos locais da transferência - Segurança Trabalho

Segurança do Trabalho	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,58	0,80	0,82	0,82	0,49	0,49	0,31	0,35	0,29	0,79	0,31	0,81	0,57
Transferência no Pátio de Contêiner	0,35	0,12	0,09	0,09	0,31	0,31	0,62	0,60	0,63	0,13	0,61	0,11	0,31
Transferência no Pátio Ferroviário	0,07	0,08	0,09	0,09	0,20	0,20	0,08	0,06	0,09	0,09	0,08	0,07	0,10

**Tabela AIII.12** Importância dos locais da transferência - Confiabilidade Operacional

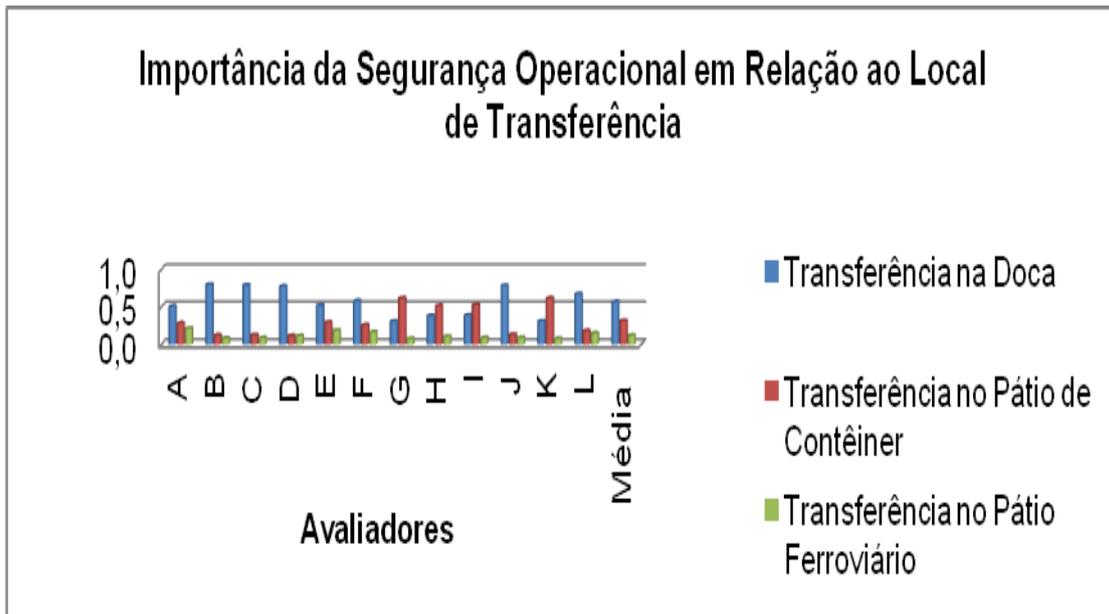
Confiabilidade Operacional	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,70	0,80	0,81	0,67	0,49	0,59	0,31	0,28	0,60	0,77	0,31	0,33	0,56
Transferência no Pátio de Contêiner	0,23	0,12	0,11	0,17	0,31	0,25	0,62	0,66	0,33	0,13	0,62	0,33	0,32
Transferência no Pátio Ferroviário	0,08	0,08	0,07	0,17	0,20	0,16	0,08	0,06	0,07	0,09	0,08	0,33	0,12

**Tabela AIII.13** Importância dos locais da transferência - Segurança Ambiental

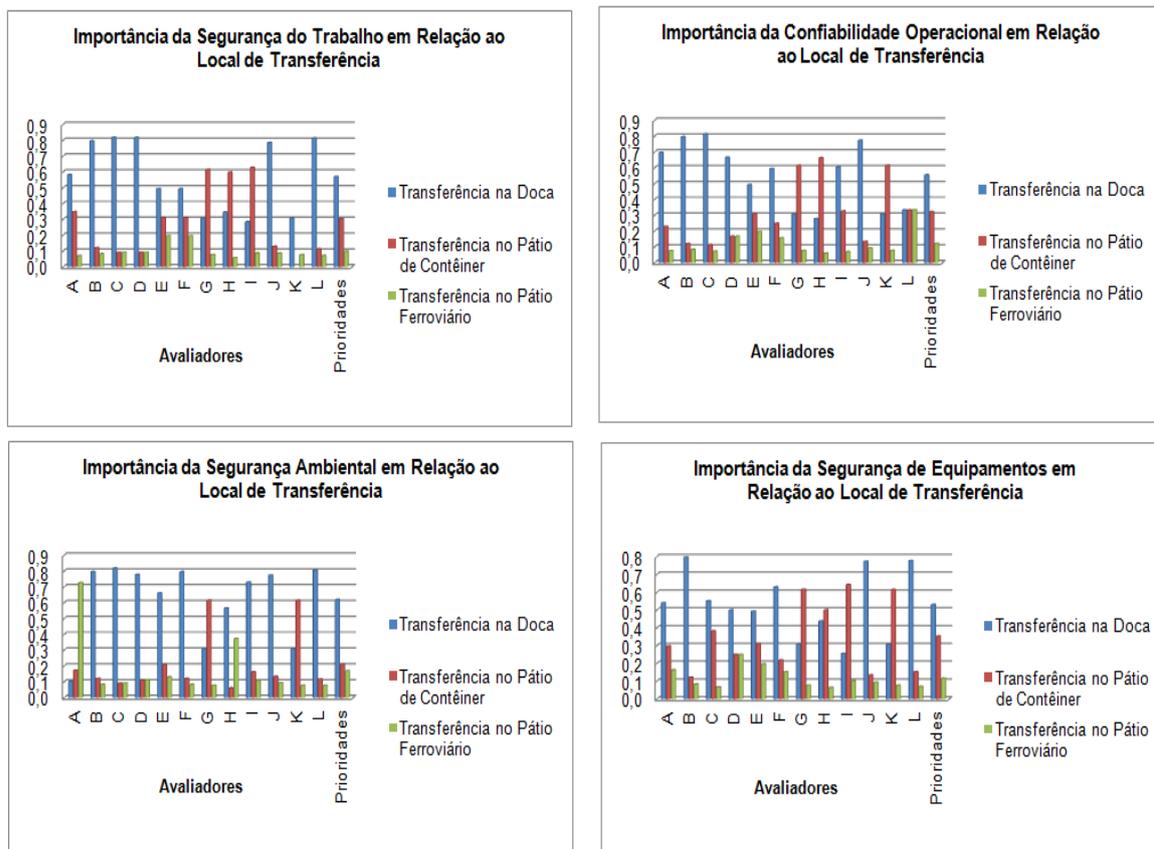
Segurança Ambiental	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,10	0,80	0,82	0,78	0,66	0,80	0,31	0,57	0,73	0,77	0,31	0,81	0,62
Transferência no Pátio de Contêiner	0,17	0,12	0,09	0,11	0,21	0,12	0,62	0,06	0,16	0,13	0,62	0,12	0,21
Transferência no Pátio Ferroviário	0,73	0,08	0,09	0,11	0,13	0,08	0,08	0,37	0,11	0,09	0,08	0,08	0,17

**Tabela AIII.14** Importância dos locais da transferência- Segurança Equipamentos

Segurança Equipamentos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,54	0,80	0,55	0,50	0,49	0,63	0,31	0,44	0,26	0,77	0,31	0,78	0,53
Transferência no Pátio de Contêiner	0,30	0,12	0,38	0,25	0,31	0,22	0,62	0,50	0,64	0,13	0,62	0,15	0,35
Transferência no Pátio Ferroviário	0,16	0,08	0,07	0,25	0,20	0,15	0,08	0,06	0,10	0,09	0,08	0,07	0,12



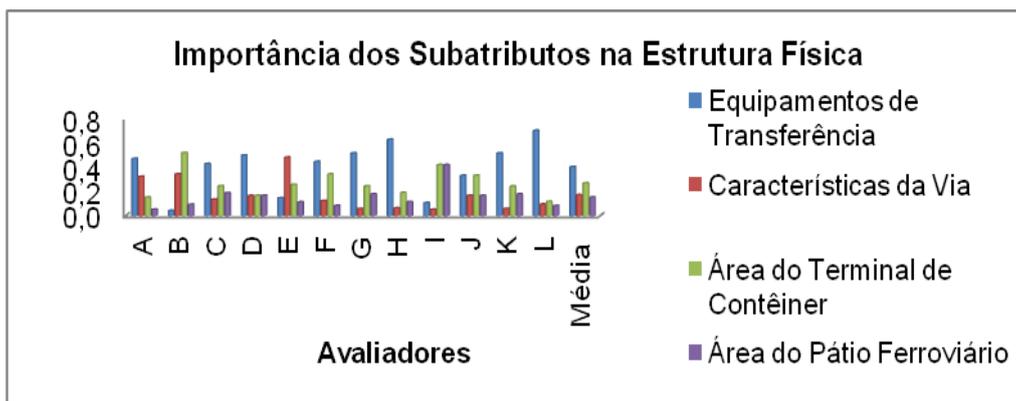
**Figura AIII.7** Importância dos locais em relação à Segurança Operacional



**Figura AIII.8** Importância dos locais em relação aos subcritérios da Segurança Operacional

**Tabela AIII.15** Importância do Critério: Estrutura Física

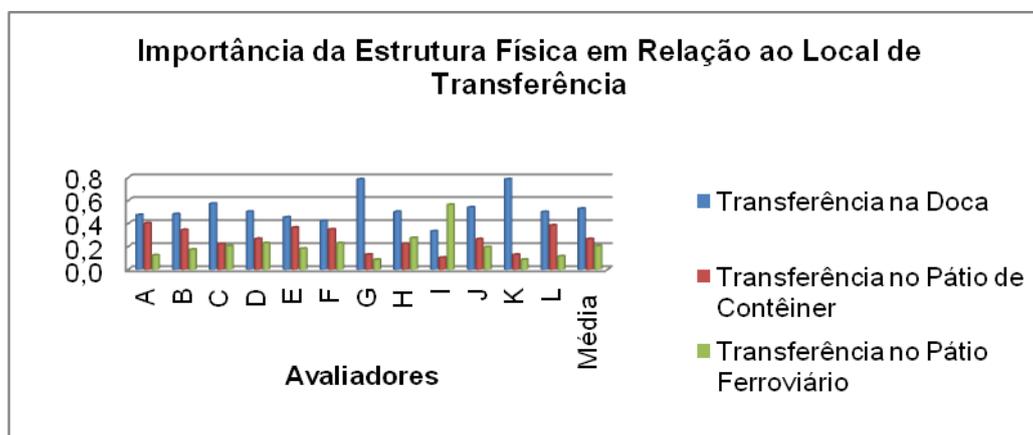
Estrutura Física	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Equipamentos de Transferência	0,47	0,04	0,43	0,50	0,15	0,45	0,52	0,63	0,11	0,33	0,52	0,71	0,40
Característica da Via	0,32	0,35	0,14	0,17	0,48	0,12	0,06	0,06	0,05	0,17	0,06	0,10	0,17
Área do Terminal de Contêiner	0,15	0,52	0,25	0,17	0,26	0,34	0,25	0,19	0,42	0,33	0,25	0,12	0,27
Área do Pátio Ferroviário	0,05	0,09	0,19	0,17	0,11	0,08	0,18	0,12	0,42	0,17	0,18	0,08	0,15



**Figura AIII.9** Importância dos subcritérios da Estrutura Física

**Tabela AIII.16** Importância dos locais da transferência - Estrutura Física

Estrutura Física	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,47	0,48	0,57	0,50	0,45	0,42	0,79	0,50	0,33	0,54	0,79	0,50	0,53
Transferência no Pátio de Contêiner	0,40	0,35	0,22	0,27	0,37	0,35	0,13	0,22	0,10	0,27	0,13	0,38	0,27
Transferência no Pátio Ferroviário	0,12	0,17	0,21	0,23	0,18	0,23	0,09	0,27	0,56	0,19	0,09	0,12	0,21



**Figura AIII.10** Importância dos locais em relação aos subcritérios da Estrutura Física

**Tabela AIII.17** Importância dos locais da transferência – Equipamentos

Equipamentos Transferência	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,58	0,73	0,80	0,67	0,81	0,80	0,79	0,73	0,17	0,61	0,79	0,56	0,67
Transferência no Pátio de Contêiner	0,34	0,16	0,13	0,17	0,11	0,12	0,13	0,16	0,19	0,27	0,13	0,37	0,19
Transferência no Pátio Ferroviário	0,08	0,11	0,08	0,17	0,07	0,08	0,09	0,11	0,63	0,12	0,09	0,07	0,14

**Tabela AIII.18** Importância dos locais da transferência - Características Via

Características da Via	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,57	0,79	0,80	0,60	0,63	0,12	0,79	0,07	0,66	0,61	0,79	0,77	0,60
Transferência no Pátio de Contêiner	0,36	0,13	0,13	0,20	0,24	0,08	0,13	0,28	0,21	0,27	0,13	0,13	0,19
Transferência no Pátio Ferroviário	0,08	0,09	0,08	0,20	0,14	0,80	0,09	0,65	0,13	0,12	0,09	0,09	0,21

**Tabela AIII.19** Importância dos locais da transferência - Área TC

Área do Terminal de Contêineres	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,08	0,78	0,36	0,21	0,13	0,13	0,79	0,09	0,32	0,57	0,79	0,13	0,36
Transferência no Pátio de Contêiner	0,78	0,15	0,52	0,66	0,60	0,80	0,13	0,13	0,09	0,36	0,13	0,80	0,43
Transferência no Pátio Ferroviário	0,14	0,07	0,12	0,13	0,28	0,08	0,09	0,79	0,59	0,08	0,09	0,08	0,21

**Tabela AIII.20** Importância dos locais da transferência - Área PF

Área do Pátio Ferroviário	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,11	0,07	0,19	0,21	0,16	0,08	0,79	0,19	0,34	0,27	0,79	0,20	0,28
Transferência no Pátio de Contêiner	0,11	0,29	0,13	0,24	0,59	0,13	0,13	0,69	0,08	0,07	0,13	0,31	0,24
Transferência no Pátio Ferroviário	0,78	0,64	0,69	0,55	0,25	0,79	0,09	0,13	0,58	0,66	0,09	0,49	0,48

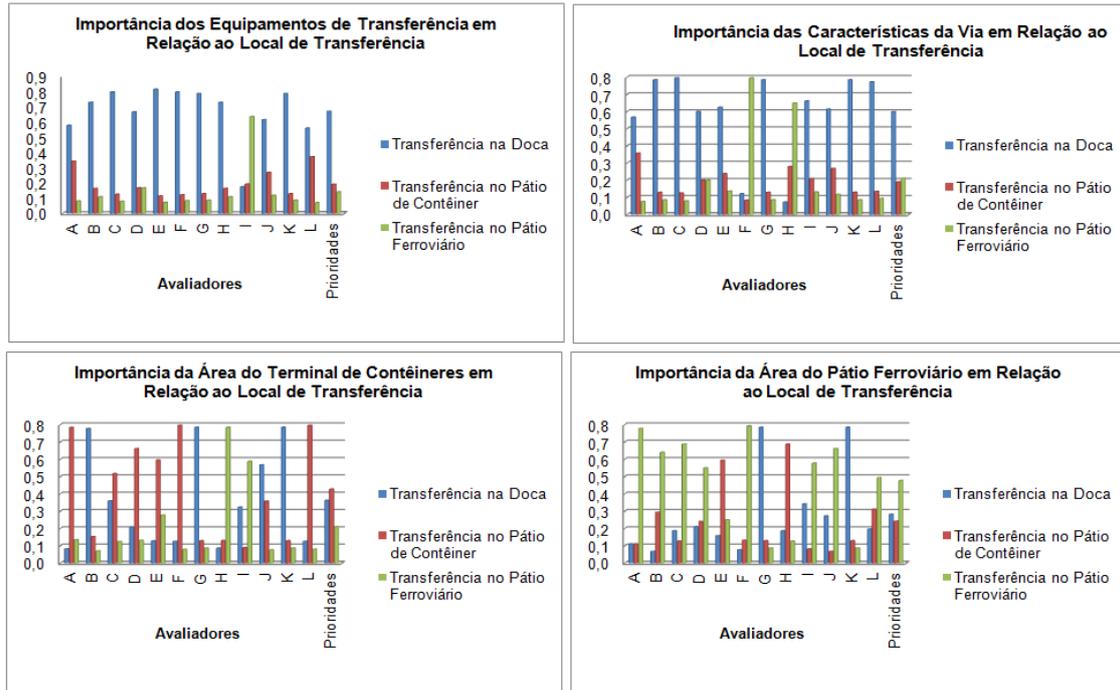


Figura AIII.11 Importância dos locais em relação aos subCritérios da Estrutura Física

Tabela AIII.21 Importância do Critério: Estrutura Organizacional

Estrutura Organizacional	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Sistema de Gestão	0,47	0,53	0,49	0,28	0,14	0,49	0,06	0,34	0,14	0,46	0,06	0,51	0,33
Informação													
Nível Tecnológico	0,28	0,34	0,32	0,21	0,19	0,39	0,11	0,52	0,13	0,29	0,11	0,36	0,27
Equipamentos													
Níveis Propriedade	0,10	0,09	0,12	0,15	0,11	0,04	0,59	0,08	0,29	0,09	0,59	0,05	0,19
Níveis Gestão	0,16	0,04	0,07	0,37	0,56	0,08	0,25	0,06	0,45	0,16	0,25	0,08	0,21

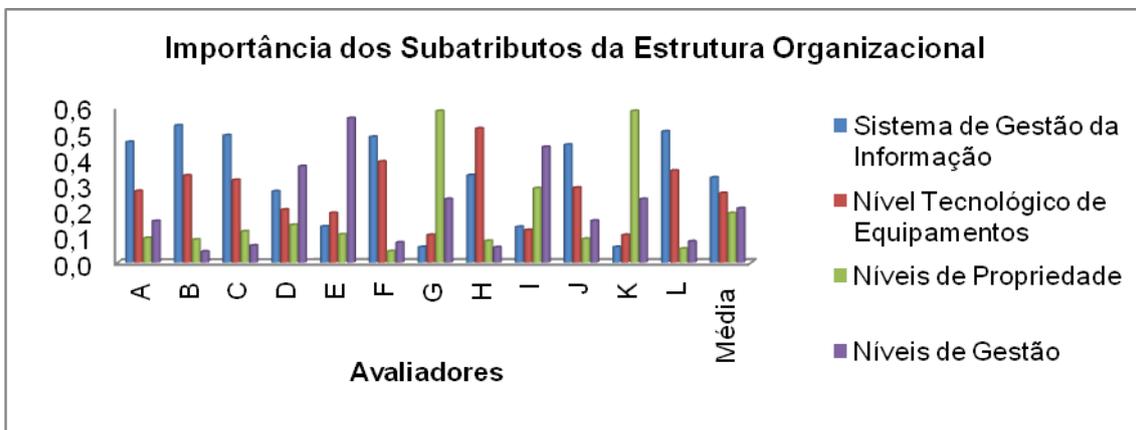


Figura AIII.12 Importância dos subcritérios da Estrutura Organizacional

**Tabela AIII.22** Importância dos locais da transferência - Estrutura Organizacional

Estrutura Organizacional	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,55	0,78	0,80	0,63	0,44	0,79	0,77	0,24	0,28	0,75	0,77	0,55	0,61
Transferência no Pátio de Contêiner	0,37	0,13	0,12	0,18	0,26	0,13	0,13	0,47	0,62	0,15	0,13	0,28	0,25
Transferência no Pátio Ferroviário	0,08	0,09	0,08	0,18	0,30	0,08	0,09	0,30	0,10	0,10	0,09	0,17	0,14

**Figura AIII.13** Importância dos locais em relação aos subCritérios da Estrutura Organizacional**Tabela AIII.23** Importância dos locais da transferência - Sistema Informação

Sistema de Gestão da Informação	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,58	0,80	0,81	0,60	0,41	0,80	0,77	0,07	0,26	0,75	0,77	0,49	0,59
Transferência no Pátio de Contêiner	0,34	0,12	0,11	0,20	0,26	0,12	0,13	0,17	0,64	0,16	0,13	0,31	0,23
Transferência no Pátio Ferroviário	0,08	0,08	0,07	0,20	0,33	0,08	0,09	0,76	0,10	0,10	0,09	0,20	0,18

**Tabela AIII.24** Importância dos locais da transferência - Tecnológico Equipamentos

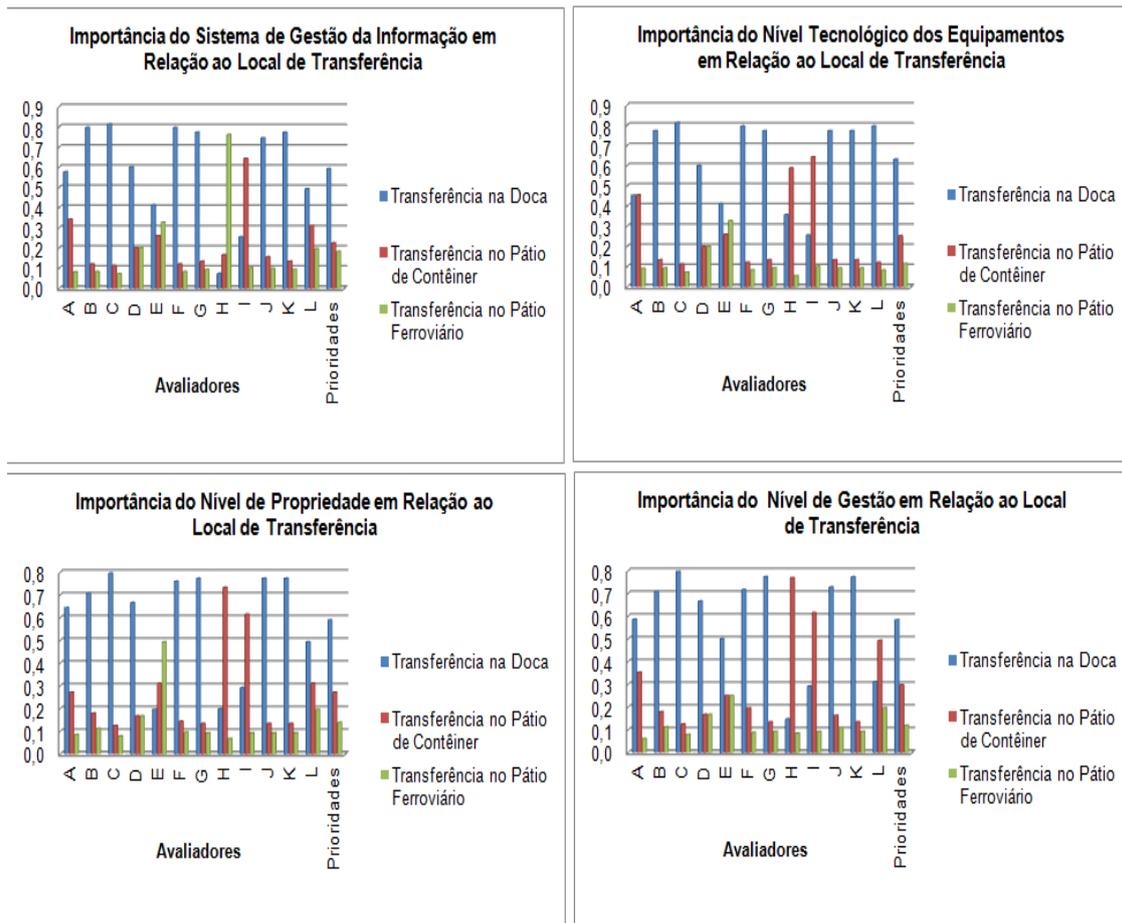
Nível Tecnológico dos Equipamentos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,45	0,77	0,81	0,60	0,41	0,80	0,77	0,36	0,26	0,77	0,77	0,80	0,63
Transferência no Pátio de Contêiner	0,46	0,13	0,11	0,20	0,26	0,12	0,13	0,59	0,64	0,13	0,13	0,12	0,25
Transferência no Pátio Ferroviário	0,09	0,09	0,07	0,20	0,33	0,08	0,09	0,05	0,10	0,09	0,09	0,08	0,12

**Tabela AIII.25** Importância dos locais da transferência - Nível de Propriedade

Nível de Propriedade	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,64	0,71	0,80	0,67	0,20	0,76	0,77	0,20	0,29	0,77	0,77	0,49	0,59
Transferência no Pátio de Contêiner	0,27	0,18	0,13	0,17	0,31	0,14	0,13	0,73	0,62	0,13	0,13	0,31	0,27
Transferência no Pátio Ferroviário	0,09	0,11	0,08	0,17	0,49	0,10	0,09	0,07	0,09	0,09	0,09	0,20	0,14

**Tabela AIII.26** Importância dos locais da transferência - Nível de Gestão

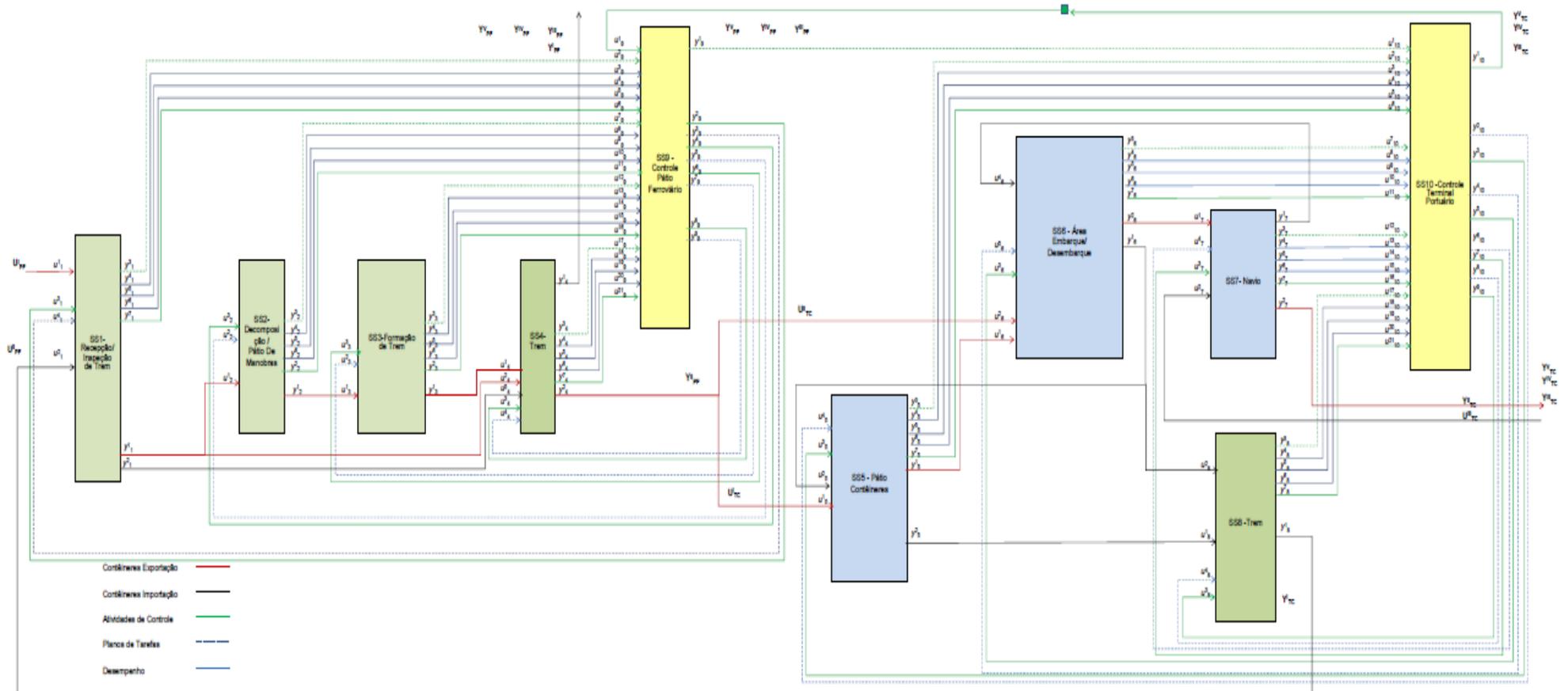
Nível de Gestão	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Média
Transferência na Doca	0,59	0,71	0,80	0,67	0,50	0,72	0,77	0,15	0,29	0,73	0,77	0,31	0,58
Transferência no Pátio de Contêiner	0,35	0,18	0,13	0,17	0,25	0,20	0,13	0,77	0,62	0,16	0,13	0,49	0,30
Transferência no Pátio Ferroviário	0,06	0,11	0,08	0,17	0,25	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,09	0,20	0,12



**Figura AIII.14** Importância dos locais em relação aos subCritérios da Estrutura Organizacional

	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	SS9	SS10	TC	PF
SS1								$u^2_1 - y^1_1$	$u^3_1 - y^2_1$ $u^4_1 - y^3_1$			$u^1_1 - U^I_{PF}$ $u^2_1 - U^{II}_{PF}$
SS2	$u^1_2 - y^1_1 - u^1_4$								$u^3_2 - y^4_1$ $u^2_2 - y^2_3$			
SS3		$u^1_3 - y^1_2$							$u^3_3 - y^6_3$ $u^2_3 - y^2_3$			
SS4	$u^2_4 - y^1_1 - u^1_2$ $u^2_4 - y^2_1$		$u^1_4 - y^1_3$						$u^3_4 - y^8_3$ $u^4_4 - y^3_3$		$y^2_4 - U^I_{TC} + U^{II}_{TC}$	$y^1_4 - Y^I_{PF}$ $y^2_4 - Y^{II}_{PF}$
SS5				$u^1_5 - y^2_4 - u^2_6$		$u^2_5 - y^1_6 - u^1_8$				$u^3_5 - y^9_{10}$ $u^4_5 - y^2_{10}$		
SS6				$u^2_6 - y^2_4 - u^1_5$	$u^1_6 - y^1_5$		$u^4_6 - y^1_7$			$u^3_6 - y^5_{10}$ $u^5_6 - y^4_{10}$		
SS7							$u^1_7 - y^2_6$			$u^3_7 - y^7_{10}$ $u^4_7 - y^6_{10}$	$u^2_7 - U^{III}_{TC}$	
SS8					$u^2_8 - y^2_5$	$u^1_8 - y^1_6 - u^2_5$				$u^3_8 - y^9_{10}$ $u^4_8 - y^8_{10}$		
SS9	$u^2_9 - y^3_1$ $u^3_9 - y^4_1$ $u^4_9 - y^5_1$ $u^5_9 - y^6_1$ $u^6_9 - y^7_1$	$u^2_9 - y^3_2$ $u^3_9 - y^4_2$ $u^4_9 - y^5_2$ $u^5_9 - y^6_2$ $u^6_9 - y^7_2$	$u^{12}_9 - y^3_3$ $u^{13}_9 - y^4_3$ $u^{14}_9 - y^5_3$ $u^{15}_9 - y^6_3$ $u^{16}_9 - y^7_3$	$u^{17}_9 - y^3_4$ $u^{18}_9 - y^4_4$ $u^{19}_9 - y^5_4$ $u^{20}_9 - y^6_4$ $u^{21}_9 - y^7_4$						$Y^{III}_{PF}$ $Y^{IV}_{PF}$ $Y^V_{PF}$		$u^1_9 - y^1_{10}$
SS10					$u^{22}_{10} - y^3_5$ $u^{23}_{10} - y^4_5$ $u^{24}_{10} - y^5_5$ $u^{25}_{10} - y^6_5$ $u^{26}_{10} - y^7_5$	$u^{27}_{10} - y^3_6$ $u^{28}_{10} - y^4_6$ $u^{29}_{10} - y^5_6$ $u^{30}_{10} - y^6_6$ $u^{31}_{10} - y^7_6$	$u^{12}_{10} - y^3_7$ $u^{13}_{10} - y^4_7$ $u^{14}_{10} - y^5_7$ $u^{15}_{10} - y^6_7$ $u^{16}_{10} - y^7_7$	$u^{17}_{10} - y^3_8$ $u^{18}_{10} - y^4_8$ $u^{19}_{10} - y^5_8$ $u^{20}_{10} - y^6_8$ $u^{21}_{10} - y^7_8$	$u^{14}_{10} - y^1_3$		$Y^{III}_{TC}$ $Y^{IV}_{TC}$ $Y^V_{TC}$	
TC				$U^I_{TC} - y^2_4 - u^2_6$	$U^{II}_{TC} - y^2_4 - u^1_5$		$U^{III}_{TC} - u^2_7$ $Y^{III}_{TC} - y^2_7$	$Y^I_{TC} - y^1_8$				$U^I_{TC} - Y^{III}_{PF} - U^{II}_{TC}$ $U^{II}_{TC} - Y^{II}_{PF} - U^I_{TC}$
PF	$U^I_{PF} - u^1_1$ $U^{II}_{PF} - u^2_1$			$Y^I_{PF} - y^1_4$ $Y^{II}_{PF} - y^2_4$							$U^{II}_{PF} - Y^I_{TC}$	$Y^I_{PF} - U^I_{TC} + U^{II}_{TC}$

Anexo IV: Equações de Constrangimento



Anexo V: Modelo Conceitual Simbólico