



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Mecânica



## **Avaliação e Optimização Operacional. Estudo do Terminal de Contentores de Alcântara.**

SÉRGIO FERNANDES DA PALMA  
(Licenciado em Eng. Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica – Ramo Manutenção e Produção

Orientador (es):  
Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Júri:  
Presidente: Profª Doutora Maria Teresa Moura e Silva  
Vogais: Profª Doutora Maria Isabel da Silva João  
Prof. Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu  
Prof. Doutor José António Rocha Almeida Soares

**Dezembro de 2011**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

Área Departamental de Engenharia Mecânica



## **Avaliação e Optimização Operacional. Estudo do Terminal de Contentores de Alcântara.**

**SÉRGIO FERNANDES DA PALMA**  
(Licenciado em Eng. Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica – Ramo Manutenção e Produção

Orientador (es):  
Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Júri:

Presidente: Prof<sup>ª</sup> Doutora Maria Teresa Moura e Silva

Vogais: Prof<sup>ª</sup> Doutora Maria Isabel da Silva João  
Prof. Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu  
Prof. Doutor José António Rocha Almeida Soares

**Dezembro de 2011**

# Agradecimentos

Este trabalho é o resultado escrito da contribuição directa ou indirecta de várias pessoas, no entanto devo destacar individualmente algumas delas, pelo seu essencial contributo na construção do mesmo.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Prof. Doutor João Quaresma Dias, meu orientador científico, pela sua clarividência, carácter humano, e acima de tudo pela motivação e confiança transmitidas durante a execução do mesmo.

Ao Eng. Álvaro da Fonseca, da Mota-Engil, pelo tempo disponibilizado nas minhas visitas ao Terminal de Contentores de Alcântara, assim como os dados operacionais fornecidos.

Aos Profs. Doutores João Ferreira e Susana Azevedo da Universidade da Beira Interior, co-autores de alguns artigos entretanto publicados (Dias *et al.*, 2009).

Quero também agradecer a todos os meus colegas da Área Departamental de Eng. Mecânica do ISEL, pelo apoio, flexibilidade e paciência demonstradas.

E, por último, aos meus Pais por terem compreendido as minhas ausências, por me terem apoiado nos momentos mais difíceis, por terem entendido as minhas dúvidas e angústias, por terem estado sempre a meu lado.

# Dedicatória

Dedico especialmente este trabalho a quem me deu a Vida,  
não esquecendo todos aqueles que me ajudam a transcender a Existência,  
e aos que me acompanham em algo tão sublime e misterioso como Viver.

"A dúvida não é uma condição agradável,  
mas a certeza é absurda."  
(Voltaire)

# Resumo

A Avaliação e Optimização Operacional são aspectos fundamentais no sucesso de qualquer negócio. Nos diversos cenários de complexidade em que as Empresas actuam, a redução de custos operacionais pode concretizar-se numa importante Vantagem Competitiva, quer por redução de tempo e/ou espaço.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objectivo fazer uma breve revisão ao actual estado de arte, no que diz respeito á avaliação e optimização das unidades de negócio. A estrutura metodológica estudada é então aplicada ao estudo da ampliação do Terminal de Contentores de Alcântara, com vista a optimizar os recursos face á procura de movimentação de carga no Terminal de Contentores de Alcântara.

A estrutura apresentada é composta pelas técnicas de Análise por Envolotória de Dados (DEA) e Simulação Computacional de processos discretos. Esta abordagem introduz o DEA como ferramenta de avaliação transversal da unidade em estudo, diminuindo o carácter empírico utilizado em anteriores estruturas metodológicas de optimização.

As conclusões revelam a sua aplicabilidade ao caso de estudo, e apontam para uma melhoria na uniformização dos indicadores de desempenho portuário, para que estes sejam considerados as variáveis de estado nas técnicas propostas. Por outro lado, demonstram que, face ao conjunto de unidades escolhido, existe um sobredimensionamento de algumas das variáveis envolvidas no processo.

## *Palavras-chave*

Avaliação Desempenho; DEA; Simulação; Terminal Contentores; Optimização;

# Abstract

The Operational Evaluation and Optimization issues are fundamental to the success of any business. The complex scenarios in which the Companies act, reduce operating costs can be realized in a major Competitive Advantage, either by reducing the time and / or space.

In this sense, this paper aims to briefly review the current state of the art, in the evaluation and optimization of business units. The methodological structure studied is then applied to the expansion of the Container Terminal in Alcântara, in order to optimize resources driven by demand of cargo handling in the referred Container Terminal.

The proposed structure consists in usage of techniques Data Envelopment Analysis (DEA) and Computer Simulation of discrete processes. This approach introduces DEA as a tool for cross-sectional evaluation of the unit under study, reducing the empirical character of methodological frameworks used in previous optimization.

The major findings show its applicability to the case study and point to an improvement in the harmonization of port performance indicators, so that they are regarded as state variables in the proposed techniques. On the other hand, shows that over the selected set of units, there is a certain oversizing of variables involved.

## *Keywords*

Benchmarking; DEA; Simulation; Container Terminals; Optimization;

# Glossário

APL:	Administração do Porto de Lisboa.
AS/RS:	Estrutura de estivagem a grande altura ( <i>High-Rise Automated Storage and Retrieval Structure</i> ).
Baldeação:	Remoção de contentores de modo a poder movimentar o contentor pretendido.
BAMS:	Sistema de atribuição de berços ( <i>Berth Allocation Management System</i> ).
<i>Buffer</i> :	Local onde é guardada carga para uso à posteriori.
CAD:	Desenho Assistido por Computador ( <i>Computer Aided Design</i> ).
CAE:	Engenharia Assistida por Computador ( <i>Computer Aided Engineering</i> ).
CAM:	Maquinagem Assistida por Computador ( <i>Computer Aided Machining</i> ).
DC:	Processo usado de modo a melhorar a produtividade. ( <i>Double Cycle</i> ).
DEA:	Análise pr Envolotória de Dados ( <i>Data Envelopment Analysis</i> ).
DLL:	<i>Dynamic Link Library</i> .
DMU:	Unidade Decisora ( <i>Decision Making Unit</i> ).
DSS:	Transporte marítimo de longa distância ( <i>Deep Sea Shipping</i> ).
EU:	União Europeia.
EUA:	Estados Unidos da América.
FIFO:	<i>First In First Out</i> .
FL:	<i>Fork Lift</i> .
GPSS:	<i>General Purpose Simulation System</i> .
GR:	Grelha superior de transporte ( <i>Overhead Grid Rail System</i> ).
IICT:	Tecnologias Inteligentes de Informação e Comunicação ( <i>Intelligent Information and Communication Technologies</i> ).
IO:	Investigação Operacional.
IPTM:	Instituto Português do Transporte Marítimo.
ISO	<i>International Standard Organisation</i> .

KSOM:	<i>Kohonen's Self-Organising Maps.</i>
LIFO:	<i>Last In First Out.</i>
LMCS:	Sistema linear de transporte ( <i>Linear Motor Conveyance System</i> ).
MEC:	Matriz de Eficiência Cruzada.
MS:	Modelação e simulação ( <i>Modeling and Simulation</i> ).
OOP:	Modelação orientada por objectos ( <i>Object Oriented Problem</i> ).
<i>Portainer:</i>	Pórtico de cais para movimentação navio-terra.
RS:	<i>Reach Stacker.</i>
RTG:	<i>Rubber Tired Gantry.</i>
SC:	<i>Stradle Carrier.</i>
SGL:	Sociedade de Geografia de Lisboa.
SIMAN	<i>Simulation Language</i> utilizada pelo Arena.
SIMSCRIPT	<i>General-purpose simulation language.</i>
SLAM	<i>Simultaneous localization and mapping.</i>
SSS:	Transporte marítimo de curta distancia ( <i>Short Sea Shipping</i> ).
TBM:	Modelo Integrado de Benchmarking ( <i>Total Benchmarking Model</i> ).
TC:	Terminal de contentores.
TCA:	Terminal de Contentores de Alcântara.
TEU:	<i>Twenty-feet Equivalent Unit.</i>
<i>Trailer:</i>	Veículo de transporte de contentores utilizado no parque.
<i>Transshipment :</i>	Transferência da carga para outro navio, durante o seu percurso, antes de atingir o seu destino.
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development.</i>
VV:	Verificação e validação ( <i>Verification and Validation</i> ).
VVA:	Verificação, validação e acreditação ( <i>Verification, Validation and Accreditation</i> ).

# Índice

Agradecimentos.....	i
Dedicatória.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Glossário.....	v
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de tabelas.....	x
Introdução.....	1
1.Revisão da Literatura.....	4
<hr/>	
1.1 Teoria dos Modelos.....	4
1.2 Teoria da Optimização.....	11
<b>1.2.1 Investigação Operacional.....</b>	<b>12</b>
1.3 Métodos de Avaliação e Optimização.....	15
<b>1.3.1 Benchmarking.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Data Envelopment Analysis (DEA).....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.3 Aplicação da análise recursiva ao método DEA.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.4 Caminho de Melhoria.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.5 Implementação informática do modelo.....</b>	<b>24</b>
1.4 Simulação Computacional.....	25
<b>1.4.1 Princípios de Simulação.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4.2 Metodologia de um estudo de Simulação.....</b>	<b>27</b>
<b>1.4.3 Modelação, Implementação e Simulação.....</b>	<b>29</b>
2. Enquadramento Marítimo-Portuário.....	34
<hr/>	
2.1 A Nível Genérico e Global.....	34
2.2 A Nível Europeu e Ibérico.....	43
2.3 O Terminal de Contentores de Alcântara.....	48
3.Terminal de Contentores de Alcântara.....	50
<hr/>	
3.1 Unidades Decisoras.....	50
3.2 Variáveis e Parâmetros do Sistema.....	54
3.3 Avaliação do novo Terminal de Contentores de Alcântara.....	57

3.3.1 Construção do modelo de avaliação .....	57
3.3.2 Resultados modelo BCC, radial, minimizar entradas (2009) .....	60
3.3.3 Resultados modelo BCC, radial, maximizar saídas (2009) .....	60
3.3.4 Modelo de avaliação otimizado.....	61
3.3.5 Modelo BCC, radial, orientado para minimizar entradas.....	61
3.3.6 Caminho de Melhoria do novo TCA (min. entradas).....	62
3.3.7 Modelo BCC, radial, orientado para maximizar saídas.....	63
3.3.8 Caminho de Melhoria do novo TCA (max. saídas).....	63
3.4 Modelo de simulação do novo TCA .....	65
3.4.1 Modelação do problema .....	65
3.4.2 Implementação do Modelo .....	69
3.4.3 Simulação e resultados .....	70
4. Conclusões e Desenvolvimento Futuro.....	71
4.1 Análise de resultados.....	71
4.2 Investigação futura .....	72
5. Referências Bibliográficas e Netgráficas.....	73

---

# Lista de Figuras

Figura 1 - Classificação de modelos matemáticos entre <i>Black Box</i> e <i>White Box</i> . ....	7
Figura 2 – Classificação de modelos matemáticos no espaço SQM.....	7
Figura 3 – Relação entre tipos de Modelos e as estruturas matemáticas. ....	8
Figura 4 – Fluxograma de modelação de problemas reais.....	9
Figura 5 – Fluxograma para realização de estudos de Simulação .....	10
Figura 6 - Optimização e o Processo de Investigação Operacional.....	13
Figura 7 – Relação entre Benchmarking e Gestão Estratégica .....	16
Figura 8 - Estratificação dos terminais após aplicação do KSOM. ....	23
Figura 9 – Caminho de Melhoria ( <i>Improvement Path</i> ).....	24
Figura 10 - Passos de um estudo de Simulação. ....	28
Figura 11 – Análise do Mercado de Simuladores em 2005. ....	31
Figura 12 - A Distribuição Geográfica dos 25 portos Mundiais mais Conectados. ....	40
Figura 13 - Os vinte maiores portos de contentores do mundo, 2008/2009 (TEU).....	40
Figura 14 - Os vinte maiores armadores mundiais em 2010 (TEU e Navios).....	41
Figura 15 - Os vinte maiores operadores portuários mundiais em 2010 (TEU x 10 <sup>3</sup> )....	42
Figura 16 - Evolução entre 1985/2008 dos maiores portos europeus de contentores....	43
Figura 17 - Blue banana in transition.....	43
Figura 18 - Rede dos grandes eixos europeus.....	45
Figura 19 - Terminal de Contentores de Alcântara do porto de Lisboa.....	49
Figura 20 - Custo de transporte por unidade redes A e B.....	51
Figura 22 - Principais portos ibéricos. ....	52
Figura 23 – Resultados da análise de eficiência. ....	53
Figura 24 - Eficiência dos Terminais Contentores da Península Ibérica. ....	54
Figura 25 – Comparação TEU movimentados em 2007 e 2009.....	58
Figura 26 – Variação de TEU (%) movimentados em 2007 e 2009.....	58
Figura 27 – Resultados modelo BCC orientado para entradas. ....	60
Figura 28 - Resultados modelo BCC orientado para saídas. ....	60
Figura 30 – Caminho de melhoria do novo TCA orientado para entradas .....	62
Figura 31 - Resultados modelo optimizado orientado para entradas. ....	63
Figura 32 - Caminho de melhoria do novo TCA orientado para saídas. ....	63
Figura 33 – Esquema genérico de operações num terminal intermodal de contentores. 66	
Figura 34 - Areas armazenamento TCA. ....	68
Figura 35 - Diagrama lógico: <i>port modeling concepts</i> . ....	69
Figura 36 - Diagrama lógico: <i>container harbour logistics</i> . ....	70

# Lista de tabelas

Tabela 1 - Exemplos de Parâmetros e Variáveis. ....	9
Tabela 2 – Resumo estudos de avaliação em Terminais de Contentores. ....	17
Tabela 3 – Exemplo genérico de uma MEC. ....	20
Tabela 4 - Movimentação de mercadorias pelos portos nacionais de 2005- 2009. ....	48
Tabela 5 - Movimentação de contentores pelo porto de Lisboa em 2009 ....	48
Tabela 6 - Conjunto das unidades de decisoras. ....	53
Tabela 7 – Indicadores utilizados no estudo. ....	55
Tabela 8 – Conjunto original das DMU avaliadas. ....	59
Tabela 9 – Conjunto das variáveis consideradas. ....	59
Tabela 10 – MEC a implementar o algoritmo DEA-RVE. ....	59
Tabela 11 – MEC com <i>mix</i> dos melhores resultados dos anos 2007 e 2009. ....	61
Tabela 12 – Resumo da avaliação DEA ....	64

# Introdução

---

A avaliação e otimização operacional são aspectos fundamentais no sucesso de qualquer negócio. Nos diversos cenários de complexidade em que as empresas actuam, a redução de custos operacionais pode concretizar-se numa importante vantagem competitiva, quer por redução de tempo e/ou espaço.

Neste particular, a avaliação das entidades como um todo não pode ser tratado da forma determinística como se elas fossem um sistema de processos. A natureza sistémica das entidades que compõem uma qualquer rede logística evoca a necessidade de recurso ao tratamento estocástico e heurístico dos dados das mesmas. Os estudos mais recentes utilizam maioritariamente o *Benchmarking* como ferramenta de avaliação de desempenho de entidades, ou seja, não procuram determinar a eficiência absoluta, mas sim a eficiência relativa das mesmas. A Investigação Operacional, como um dos recentes ramos Matemática, tem aqui um papel muito importante em todo o processo.

A otimização operacional implica, antes de mais, a modelação de um problema aplicado de Investigação Operacional (IO). No campo dos transportes, as técnicas de Programação Linear (PL) dispõem de algoritmos que permitem obter soluções de problemas particulares de optimização de *inputs* e *outputs*. O desenvolvimento das ciências computacionais tem sido um forte catalisador para a criação de modelos cada vez maiores, complexos e fiáveis. Entretanto, surgiram novas técnicas de abordagem a este tipo problemas, entre as quais, a simulação computacional. Esta técnica está a ganhar cada vez mais popularidade entre os investigadores, aumentando assim, as ferramentas que dispõem para analisar e fundamentar as conclusões dos seus estudos (Banks, 1998). Neste particular, a simulação de sistemas através de modelos computacionais são caracterizados pelo controlo detalhado do desempenho dos intervenientes, avaliam a utilização dos recursos e ainda identificam problemas face a potenciais futuros cenários operacionais, com ganhos significativos por compressão do tempo e redução de custos experimentais.

A gestão portuária de um terminal intermodal de carga contentorizada envolve um grande número de variáveis discretas, própria dos sistemas complexos, e por consequência numa dificuldade acrescida na análise de *trade-offs*, vide (Dias, 2005, Banker *et al.*, 1986). A postura tradicional dos concessionários dos terminais, isto é, a falta de uniformização dos indicadores da gestão portuária e as políticas restritas de informação, transformam-se também eles em factores de impedância. Perante este

cenário, é fundamental definir com critério quais serão os indicadores chave de desempenho do terminal a otimizar, assim como relativizar todas as variáveis discretas aos mesmos. Fundamentalmente, e numa primeira fase, os indicadores de desempenho servirão para avaliar transversalmente os terminais através de técnicas de *Benchmarking*. Nomeadamente, aplicando a técnicas de Análise por Envolotória de Dados (DEA).

Numa segunda fase, optimizam-se verticalmente as variáveis discretas que foram identificadas como as menos eficazes, e que influenciam os factores que se pretendem optimizar, com recurso á simulação computacional.

Numa perspectiva económica, os terminais intermodais representam importantes nós das redes logísticas globais, e o seu desempenho acrescenta valor aos bens nela movimentados. A Globalização amplifica ainda mais este efeito, e a correcta escolha das rotas mais eficientes, e eficazes, são decisivas na competitividade dos mesmos no Mercado. A actual incerteza Económico-Financeira dos Mercados, e os actuais cenários de recessão nos Continentes Europeu e Norte-Americano, representam fortes ameaças à manutenção e crescimento da procura de movimentação de carga contentorizada nestas áreas geográficas. No entanto, as previsões de crescimento da procura a nível global, com destaque para os Mercados Africano e Sul-Americano, abrem uma importante janela de oportunidades ao crescimento dos terminais geograficamente mais próximos.

Neste âmbito, e complementarmente aos desafios logísticos nacionais, o estudo sobre avaliação e optimização operacional do novo terminal de contentores da LISCONT adquire relevo para os vários intervenientes das redes logísticas onde está inserido, particularmente para a Autoridade Portuária e para o Concessionário. O desempenho operacional poderá constituir uma Vantagem Competitiva importante num futuro próximo, e a informação previsional gerada pelo estudo apresentado representar uma ferramenta de apoio à decisão. Os analistas de dados têm dedicado diversos dos seus estudos à operação portuária, a maioria dedicada a aspectos isolados nas diversas tarefas de *handling* dos contentores, mas sempre numa perspectiva vertical. Este estudo apresenta uma nova abordagem, na medida em que a optimização vertical é orientada em função do desempenho transversal do terminal.

A estrutura da Dissertação é composta por 4 capítulos, e apresenta-se de seguida um pequeno resumo do que o Leitor poderá neles encontrar:

Na Revisão da Literatura encontrar-se-ão, os conceitos fundamentais das metodologias utilizadas na avaliação e optimização do terminal de contentores de

Alcântara. Estes conceitos estão expostos na Teoria dos Modelos e na Teoria da Optimização, esta última fundamenta os princípios da Investigação Operacional. Apresenta-se ainda um breve resumo sobre Análise por Envoltória de Dados e a Simulação Computacional direcionado para os estudos de terminais de contentores. São propostas as aplicações informáticas para implementar o modelo de avaliação e o de simulação.

O capítulo 2 apresenta uma caracterização do mercado onde actua o Terminal de Contentores de Alcântara. Numa primeira fase, a nível macrologístico global, posteriormente num ambiente Europeu, e na Península Ibérica em particular.

O capítulo 3 é composto pela modelação, implementação e apresentação dos resultados da aplicação das metodologias DEA e da Simulação Computacional. A avaliação é feita com base em dados relativos ao ano de 2009, e também com as expectativas de crescimento do referido terminal. O modelo de simulação apresentado refere-se particularmente às operações navio-terra, dado que foram identificados como sendo um dos factores de menor eficiência do mesmo.

Por último, apresentam-se as conclusões deste estudo, não esquecendo as recomendações para futuros trabalhos de investigação na área de Avaliação e Investigação Operacional.

No final encontram-se as referências bibliográficas e netgráficas utilizadas neste trabalho. Seguem-se os anexos.

# 1.Revisão da Literatura

---

Em Engenharia, mais concretamente na área de Projecto, a concepção de um novo produto segue um conjunto de normas, regras e boas práticas, que visa fundamentalmente assegurar que se vai ao encontro das necessidades do cliente. As actuais tendências de redução de custos nas Empresas, criaram a necessidade de otimizar o estirador, as réguas de cálculo, e outras tradicionais ferramentas deste processo. O desenvolvimento das aplicações de CAD/CAE/CAM, até aos mais recentes ambientes colaborativos, contribuíram para o consenso sobre os ganhos significativos que estas alterações de fundo geraram.

Os autores das Ciências da Gestão também tiram partido das vantagens das denominadas *Intelligent Information and Communication Technologies* (IICT), vide (Dias *et al.*, 2008), produzindo mais e melhores modelos previsionais. As não linearidades e as dinâmicas próprias dos sistemas complexos, assim como a multiplicidade dos tipos de variáveis existentes nos mesmos, constituem desafios estimulantes para diversos investigadores.

No fundo, ambas as Ciências procuram avaliar e otimizar as soluções idealizadas em ambiente virtual, beneficiando dos ganhos por compressão do espaço e do tempo. Nesse sentido, apresenta-se um resumo do desenvolvimento destas ferramentas de apoio à decisão, até ao actual Estado de Arte, com enfoque no sector dos Terminais Intermodais de Contentores.

## 1.1 Teoria dos Modelos

Como foi referido acima, ambas as Ciências, utilizam modelos virtuais para Investigação e Desenvolvimento dos seus produtos e serviços. Neste sentido, importa perceber a sua origem e o seu fundamento científico.

A Teoria dos Modelos nasce com o estudo das linguagens formais, suas interpretações, e sobre os tipos de classificação que uma linguagem formal pode fazer. A principal corrente da Teoria dos Modelos representa agora um sofisticado ramo da Matemática. Num âmbito mais alargado, é o estudo da interpretação de qualquer linguagem, formal ou natural, suportada por um conjunto teórico de estruturas, com a definição de “*verdade*” de Alfred Tarski como paradigma. Neste sentido alargado, a

Teoria dos Modelos partilha com a Filosofia alguns pontos, como por exemplo na Teoria da Consequência Lógica e na Semântica das Linguagens Naturais (Hodges, 2009b).

Em 1933, Alfred Tarski publicou um trabalho no qual discute os critérios que a definição de “*frase verdadeira*” deve cumprir, e deu vários exemplos dessas definições para Linguagens Formais particulares. Este documento foi apresentado revisto em 1956, em co-autoria com Robert Vaught, e é tido com o suporte á definição de “*verdade*” para Linguagens Teóricas de Modelos (Hodges, 2010). Vale a pena recordar as palavras de Abraham Robinson num Congresso de Matemática em 1950,

*“[The] concrete examples produced in the present paper will have shown that contemporary symbolic logic can produce useful tools - though by no means omnipotent ones - for the development of actual mathematics, more particularly for the development of algebra and, it would appear, of algebraic geometry. This is the realization of an ambition which was expressed by Leibniz in a letter to Huyghens as long ago as 1679.”*

“Os exemplos concretos apresentados no presente documento demonstram que a lógica simbólica contemporânea pode construir ferramentas úteis – mas de nenhuma forma omnipotentes – para o desenvolvimento da actual Matemática, mais particularmente para o desenvolvimento da Álgebra e, ao que parece, para a Geometria Algébrica. Esta é a realização de uma ambição que Leibniz expressou numa carta enviada a Huyghens no longínquo ano de 1679”

Deve ainda referir-se que os estudos de Anatolii Mal'tsev também são considerados percutores da Teoria da Lógica Clássica. O regime soviético da altura era fechado e a difusão de informação científica muito restrita, pelo que só mais tarde foi reconhecido o teor do seu valioso trabalho.

A Teoria da Lógica Clássica, também conhecida como Teoria dos Modelos de Primeira Ordem, é descrita segundo Hodges (2009a), como uma área vibrante de investigação matemática que utiliza os métodos lógicos como suporte para a resolução dos problemas matemáticos clássicos. Sob outro ponto de vista, esta Teoria serve de paradigma para a restante Teoria dos Modelos, dado que foi nesta área que vários conceitos transversais foram desenvolvidos.

Perante a densidade conceptual da Teoria dos Modelos torna-se difícil descrevê-la com detalhe, até porque como já foi referido, partilha importantes conceitos com a Filosofia. No entanto, e como refere Weiss e D'Melo (1997) se por um lado representa a derradeira abstracção, pelo outro apresenta aplicações imediatas para a Matemática do dia-a-dia. O princípio fundamental da Teoria dos Modelos é que a “*verdade*” matemática, tal como qualquer outra, é relativa. Uma declaração poderá ser “*verdadeira*” ou “*falsa*”, dependendo da forma e do local onde é interpretada. Isto não é necessariamente devido à própria Matemática, mas consequência da linguagem que é utilizada para fundamentar matematicamente as ideias. No entanto, o acto de Modelação é de natureza Teleológica, isto é, orientada para um fim específico, e que o melhor modelo será aquele que servir o propósito, da forma mais simples.

Formalmente, para um observador B, um objecto  $A^*$  é um **modelo** de um objecto A na medida em que B pode usar  $A^*$  para responder às perguntas que lhe interessam sobre A (Minsky, 1965). Na prática, os modelos são descrições simplificadas dos complexos sistemas reais, ou seja,  $A^*$  é uma simplificação de A que os investigadores utilizam para compreender, desenvolver e otimizar os sistemas que são objecto do seu estudo.

Esta definição engloba tanto os modelos físicos, como os conceptuais. Os modelos físicos implicam experimentação, portanto de base empírica. Um exemplo: o “*crash test*” na Indústria Automóvel, muito em voga no final do século passado. Actualmente, o número de protótipos ensaiado é muito reduzido. A validação dos resultados obtidos através dos modelos conceptuais, está otimizada face à maior precisão dos mesmos. Já os modelos conceptuais, cuja base é essencialmente matemática, resultam da percepção individual do sistema, em que a “*imagem*” pode ser descrita por frases, equações ou esquemas, mas não tem qualquer realidade física associada.

A classificação de Modelos Matemáticos enunciada por Kelten (2009) permite indexar os diferentes modelos, num espaço SQM. A figura 1 diferencia os modelos segundo as incertezas associados a cada um. Podemos verificar que os modelos fenomenológicos são onde a incerteza está mais presente, enquanto os modelos de circuitos eléctricos são os que apresentam maior linearidade, e por consequência menos incerteza. Refira-se ainda que o autor associa o tipo de equações utilizadas em cada um do tipo de modelos, equações algébricas e diferenciais.

Na figura 2, os vários tipos de modelos matemáticos estão distribuídos no espaço SQM, de acordo com as suas especificidades. O espaço SQM é definido pelos três eixos S, Q e M. O eixo vertical “S” classifica os modelos pelo tipo de sistema que se pretende modelar. O eixo horizontal “Q” ordena os modelos segundo os seus objectivos, e o eixo “M” permite a classificação dos modelos segundo a estrutura matemática utilizada no modelo.

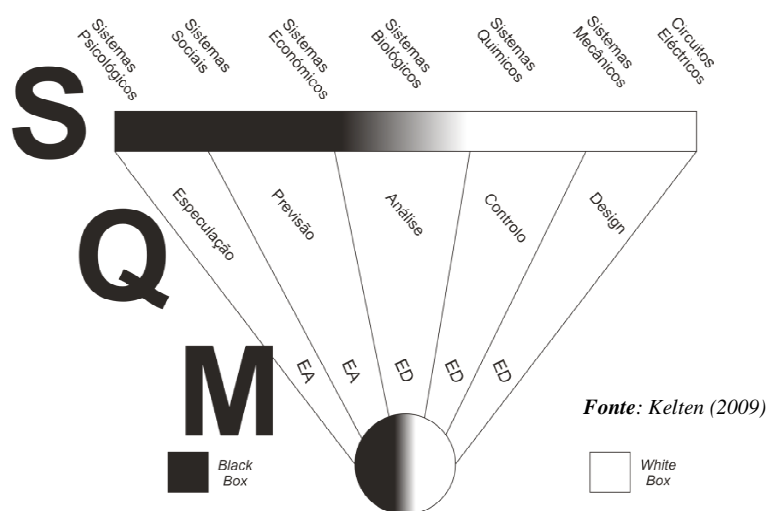


Figura 1 - Classificação de modelos matemáticos entre *Black Box* e *White Box*.

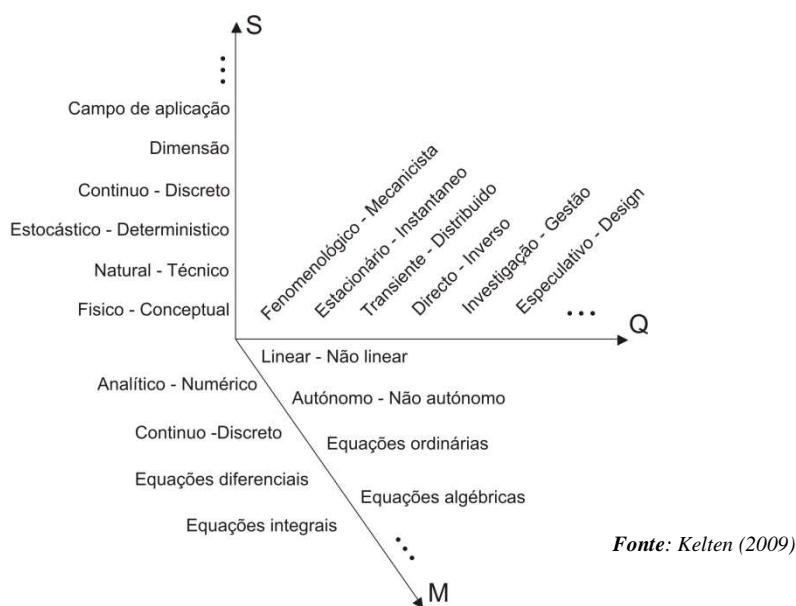
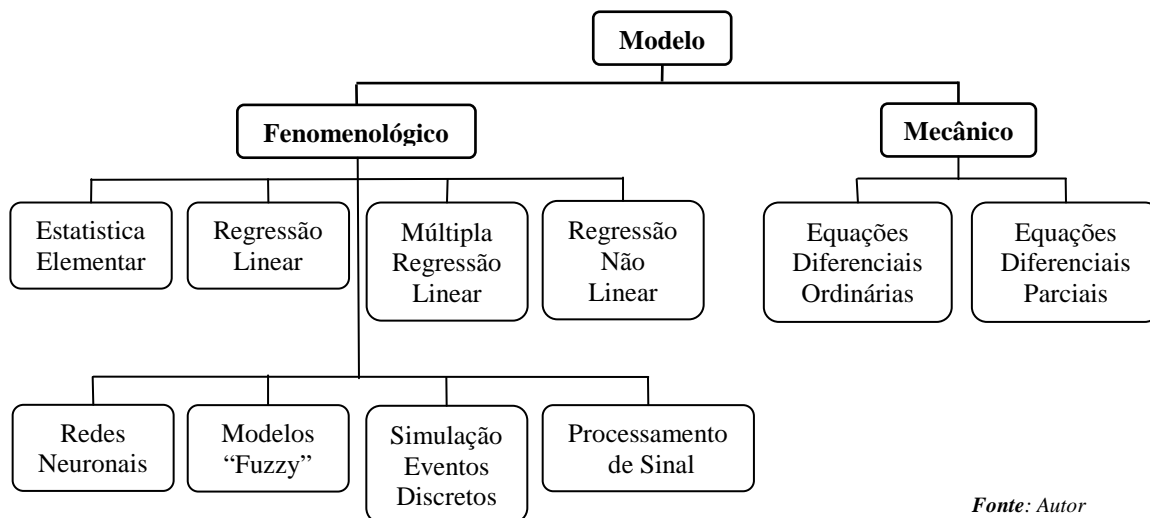


Figura 2 – Classificação de modelos matemáticos no espaço SQM.

Ainda segundo o mesmo autor, e olhando para a estrutura apresentada no referido livro, devemos distinguir os modelos Fenomenológicos dos modelos Mecânicos. Na figura 3 está representado um diagrama que associa diferentes estruturas matemáticas aos modelos em questão.



Fonte: Autor

**Figura 3** – Relação entre tipos de Modelos e as estruturas matemáticas.

A necessidade de adotar diferentes estruturas matemáticas nos modelos está relacionada com a especificidade do sistema que se pretende modelar. Portanto, dentro de cada tipo de modelo, há que considerar uma subcategoria do mesmo. Para entender estas diferenças há necessidade de descrever conceptualmente Sistema. O conceito de Sistema tem diferentes definições na literatura da especialidade, muito por força dos interesses que cada autor. Neste caso, a definição feita por Fritzson (2004),

*“um sistema é um objecto ou conjunto de objectos cujas propriedades queremos estudar”*

enquadra-se no âmbito deste trabalho. Esse objecto, ou conjunto de objectos, tem um conjunto de características que importa analisar, e em última instância, definir, dado que são estas que são a estrutura do sistema.

Quando um qualquer sistema é investigado em Ciência ou Engenharia deve ser observado no sentido que ele produz saídas (*outputs*) que são mensuráveis. Estes sistemas devem também de alguma forma conter entradas (*inputs*), que permitam investigar as suas relações com as saídas do sistema. No início de qualquer estudo experimental, o sistema é parecido a uma caixa negra (*black box*) no sentido que existe alguma incerteza acerca dos processos que ocorrem dentro do próprio, ou seja, quando as entradas são transformadas em saídas. Isto quer dizer que se pretendermos perceber os mecanismos internos de um sistema real que transforma entradas em saídas, a forma

natural de o fazer é traduzir todos estes processos internos em operações matemáticas (Kelten, 2009).

Os sistemas são caracterizados pelos seus parâmetros e pelas variáveis de estado, na medida em que as variáveis do sistema descrevem as propriedades do mesmo, e as quais nós estamos interessados em obter, enquanto os seus parâmetros descrevem as propriedades necessárias para obter matematicamente as variáveis do sistema. Portanto, existe uma relação directa entre as variáveis e parâmetros do sistema, e as do sistema reduzido obtido através da modelação matemática do problema em estudo.

Um exemplo simples da caracterização de um sistema pode ser aplicado a um tanque de armazenamento de líquidos, conforme mostra a tabela abaixo,

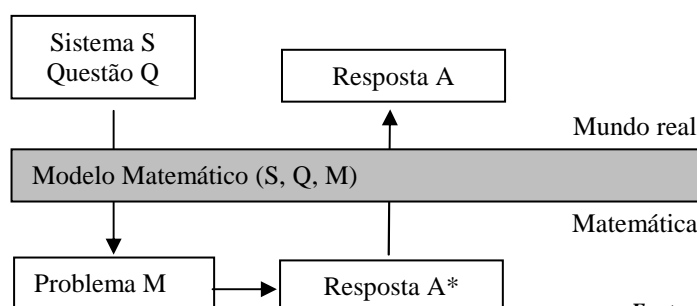
**Tabela 1** - Exemplos de Parâmetros e Variáveis.

Parâmetros do sistema	Variáveis de Estado
Capacidade Total	300 [m <sup>3</sup> ]
Capacidade actual	170 [m <sup>3</sup> ]
Pressão Máxima	10 [Pa]
Caudal de Abastecimento	5 [m <sup>3</sup> /h]

*Fonte: Autor*

Se pretendermos modelar um reservatório, e dependendo da análise que queremos efectuar, estas variáveis constituem o sistema reduzido do sistema real, dado que existem parâmetros, como a espessura, ou outros dados acerca da geometria do reservatório que não serão necessários incluir no sistema reduzido para modelar a dinâmica de abastecimento do próprio reservatório.

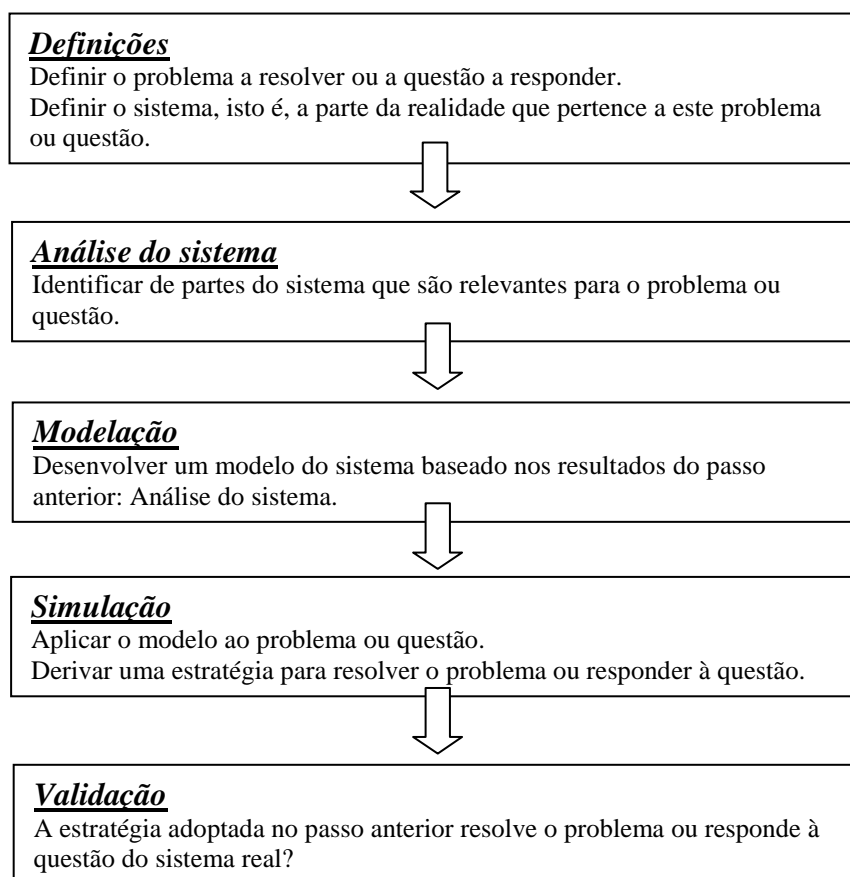
O esquema proposto por Kelten para resolver problemas será o seguinte:



*Fonte: Kelten (2009)*

**Figura 4** – Fluxograma de modelação de problemas reais

No bloco M, ele recomenda a utilização de técnicas de simulação, e propõe também um fluxograma para conseguir realizar este estudo. A figura 5 identifica as tarefas a realizar em cada um dos cinco passos a seguir neste estudo: Definições; Análise do Sistema; Modelação; Simulação e Validação.



*Fonte: Kelten (2009)*

**Figura 5** – Fluxograma para realização de estudos de Simulação

Propõe também um conjunto de 3 orientações para que os modelos sejam simples:

1. Determinar o número de variáveis desconhecidas, isto é, o número de variáveis que precisam ser determinadas no problema. Em muitas formulações de problemas, será apenas necessário ler a última frase onde a questão é colocada.
2. Definir com precisão as variáveis a determinar, incluindo unidades.

3. Ler a formulação do problema frase por frase, e traduzir esta informação para expressões matemáticas que contenham as variáveis a determinar definidas no passo anterior.

Portanto, se pretendermos classificar o modelo matemático que está associado ao estudo “Análise e Optimização Operacional do novo terminal de contentores de Alcântara”, em função do atrás exposto:

S = Terminal Intermodal de Contentores (Fenomenológico).

Q = Optimizar recursos face à procura de movimentação de carga.

M = Técnicas de Simulação (Processos Discretos).

O Sistema (S) permite classificar o modelo como Fenomenológico, dado que Kelten, tal como Banks (1998), propõem que se utilizem técnicas de simulação nos modelos cujo objectivo é optimizar sistemas reais complexos, ou seja, a escolha de (M) surge como uma consequência natural da primeira e segunda opção.

A opção feita para (Q) requer que se perceba a origem, e os fundamentos teóricos, da optimização dos sistemas. Até porque, e se observarmos a figura 4 percebemos que os sistemas e modelos estão ligados pela necessidade de optimização.

## ***1.2 Teoria da Optimização***

A Teoria da Optimização é, segundo Antoniou e Lu (2007), um dos ramos da matemática que envolve o estudo quantitativo do *optimum*, e as formas do alcançar. Na prática, é formada pelo conjunto de técnicas, métodos, procedimentos e algoritmos que o permitem encontrar. De acordo com o mesmo, o termo *optimum* representa ao mesmo tempo uma solução máxima e uma solução mínima, característica dos modelos matemáticos estocásticos, em substituição da “melhor solução”, única, dos sistemas deterministas clássicos. De facto, a maior parte dos problemas do mundo real admitem várias soluções, e ocasionalmente podem mesmo existir um número infinito de soluções. O campo de aplicações desta Teoria é vasto, e as mais recentes inovações

assentam quase unicamente na sua utilização, nomeadamente em redes neuronais e sistemas adaptativos.

A abordagem geral aos problemas de optimização é feita com recurso a métodos matemáticos, como por exemplo: Métodos Analíticos, Métodos gráficos, Métodos Experimentais e Métodos Numéricos. Cada um deles apresenta limitações e vantagens que lhe permitem ser os mais adequados na resolução de problemas muito específicos, mas os Métodos Numéricos são sem dúvida os mais abrangentes, e por consequência os mais utilizados. Estes últimos podem resolver problemas complexos de optimização, dado que a sua formulação é facilmente transformada num programa, e a sua resolução ser feita com auxílio de um computador. A disciplina que envolve o estudo teórico e pratico da optimização numérica é designada por Programação Matemática.

Nos últimos 50 anos assistiu-se a uma evolução de várias disciplinas da programação matemática, tais como: Programação Linear (PL), Programação Inteira (PI), Programação Quadrática (PQ), Programação não Linear (PnL) e Programação Dinâmica (PD). A sua aplicabilidade está relacionada com a classe de problema a solucionar, e naturalmente com a caracterização do sistema em análise.

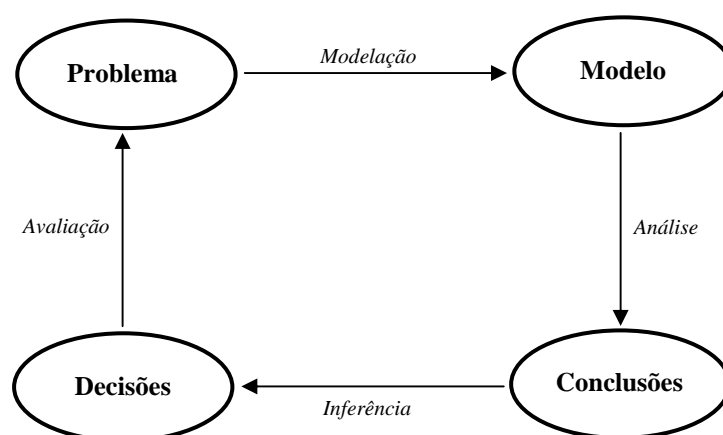
### **1.2.1 Investigação Operacional**

Como refere Rardin (1998), qualquer pessoa com um elementar espírito científico tem consciência que a resolução de problemas passa pela análise de equações matemáticas que se aproximam das realidades físicas do mundo em que habitamos. As inúmeras questões acerca da queda de objectos, o colapso de vigas, a difusão de gases e por ai adiante, são reduzidas a simples operações computacionais em sofisticadas aplicações das Leis de Newton, Ohm, Einstein e outros. No entanto, as “Leis” aplicáveis podem ser menos duradouras, mas os problemas operacionais como o planeamento de turnos em grandes organizações, escolha de investimentos para fundos disponíveis, ou conceber instalações de assistência a clientes também pode ser formulado numa forma matemática.

O método *simplex*, proposto por George B. Dantzig em 1947, para resolver os problemas da “programação” da Logística Militar do Exército dos Estados Unidos da América (EUA), é um marco importante para a Programação Matemática e no desenvolvimento de uma nova disciplina matemática designada por Investigação Operacional (INFORMS, 2010). Para Rardin (1998), a Investigação Operacional (IO)

dedica-se ao estudo de como formar modelos matemáticos de problemas complexos de Engenharia e Gestão, e como analisá-los de forma a vislumbrar possíveis soluções.

Segundo o mesmo autor, a IO lida com problemas decisão. Esta disciplina, cada vez mais reputada entre os Decisores, é utilizada pelos Investigadores na análise de problemas complexos. O processo de otimização utilizando a IO, como ferramenta, está representado na figura 6. A imagem sugere que se trata de um processo retro-alimentado, com o ponto de partida e chegada coincidente com o problema real em análise.



*Fonte: Rardin (1998)*

Figura 6 - Otimização e o Processo de Investigação Operacional.

O processo inicia-se com a formulação ou modelação do problema real, e nesta fase são definidas as variáveis e são quantificadas as relações necessárias para descrever de forma relevante o comportamento do sistema. No passo seguinte, aplicam-se técnicas matemáticas para analisar os dados de saída do modelo e ver as conclusões que eles sugerem. A próxima fase é crítica no processo, dado que as inferências feitas a partir do modelo têm de se transformar em argumentos para solucionar o problema real. Caso as soluções se mostrem demasiado inadequadas ou extremas será aconselhável rever o modelo e continuar o ciclo até que as sugestões se mostrem adequadas e exequíveis. Para o mesmo autor, um problema de IO tem como estrutura a função objectivo, as variáveis e as restrições. A modelação é iniciada com enfoque em três dimensões do problema: as decisões abertas aos decisores, as restrições que limitam as escolhas e os objectivos que distinguem as decisões preferenciais das outras. Ao lidar com um problema virtual de decisão – Engenharia, Gestão, ou mesmo pessoal – a

definição explícita das decisões, restrições e objectivos ajudam a clarificar o assunto em estudo (Rardin, 1998).

Para Jensen (2004) a maioria dos estudos de IO envolvem a construção de um modelo matemático. O modelo é o conjunto das relações lógicas e matemáticas que representam aspectos da situação em estudo. O analista estuda o problema de uma forma alargada, um modelo não pode incluir todos os detalhes do problema real. O modelo é sempre uma abstracção necessariamente mais simples que a realidade. Os elementos irrelevantes para o problema devem ser ignorados, esperando deixar detalhes suficientes para que a solução obtida a partir do modelo tenha valor para o problema original. Os modelos devem ter tracabilidade, ser solúveis, válidos e representativos da situação original. Estes objectivos são muitas vezes contraditórios e nem sempre atingíveis, mas é uma verdade comum que os mais poderosos métodos de resolução podem ser aplicados aos mais simples, ou mais abstractos, modelos.

A classificação proposta por Jensen (2004) para os modelos de Investigação Operacional, tendo por base a sua forma matemática, assim como as vantagens referidas nos estudos publicados por Martinez *et al.*(2004), Legato (2008), Zhang e Jiang (2008), Sacone e Siri (2009), confirmam que os modelos de Simulação são os mais adequados para otimizar as operações de um terminal de contentores.

Portanto, o ponto nº1 – Definições da figura 5 está caracterizado. Estamos portanto em condições para avançar para o segundo ponto – Análise do Sistema.

### ***1.3 Métodos de Avaliação e Optimização***

Genericamente, a Avaliação é tida como “muito importante”, descrita como “muito difícil” e a maior parte das vezes nem sempre é bem executada. As pessoas ficam tendencialmente assustadas com a avaliação, porque olham para ela como um teste ou uma ameaça. Em essência, porém, a avaliação pretende “provar” e “melhorar” (RCUK, 2005).

A optimização (DPLP, 2010) é “dar a uma máquina, a uma empresa o rendimento óptimo, criando as condições mais favoráveis ou tirando o melhor partido possível”.

As práticas ancestrais de sacrifícios animais aos diferentes deuses, a consulta de oráculos, a observação empírica da Natureza, passando pelos primeiros instrumentos de medição astronómica, até chegarmos aos potentes super-computadores, utilizam o conceito de Optimização. Esta evolução resulta no actual Estado de Arte, fortemente fundamentado na Ciência, mais concretamente na Matemática, nomeadamente na Teoria da Optimização (Antoniou and Lu, 2007).

A ordenação de ambas, avaliação e optimização, não é aleatória, como refere Kelten (2009). Ou seja, não faz sentido optimizar, sem caracterizar um estado inicial do sistema. Caso contrário, como poderemos avaliar o resultado da optimização? Neste caso, teremos de quantificar e / ou qualificar esse estado inicial. Pois bem, esta caracterização implica avaliação, descrita como “Análise do Sistema” no esquema da figura 5.

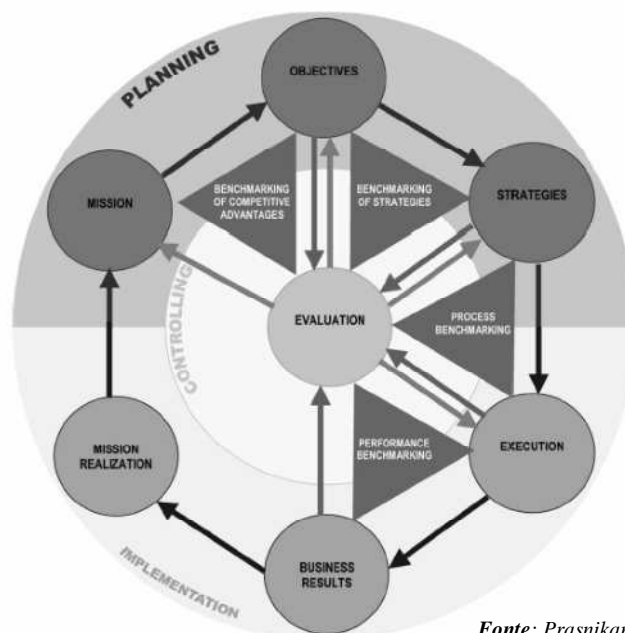
O processo de avaliação pode ser dividido em duas tarefas: medir e comparar. Em Engenharia, a natureza dos problemas envolve maioritariamente variáveis numéricas, associadas a grandezas físicas mensuráveis, ou seja, quantificáveis. Mesmo que o estudo envolva a medição em função do tempo, as funções que o descrevem são maioritariamente contínuas e lineares. No que diz respeito à Gestão, a medição de variáveis reveste-se de um carácter mais subjectivo. Maioritariamente, as variáveis são qualitativas, discretas e não lineares, e se o estudo envolve a função tempo, as dificuldades serão ainda maiores.

No passado, a avaliação era sobretudo endógena, enquanto as novas tendências apontam para a comparação de resultados entre os concorrentes. O conceito de *Benchmarking* engloba não só a análise interna, como a comparação externa, em que indicadores de performance são estabelecidos e valorizados, e fornecem informação

valiosa. Esta comparação relativa cria a necessidade de alterar processos internos, inclusive alguns Gestores adaptam processos “concorrentes” aos seus negócios, com objectivo de reduzir os custos dos seus produtos, e por consequência aumentar a sua competitividade nos mercados onde actuam, em fenómenos descritos como *coopetition* (Dong-Wook, 2003). Para além desta poupança directa, existem ainda as melhorias na imagem da Empresa, cujo valor acrescentado é difícil de quantificar com baixo nível de erro, mas os estudos existentes são conclusivos acerca dos efeitos provocados pela imagem de liderança nas preferências dos investidores, fornecedores, colaboradores, consumidores, e clientes.

### **1.3.1 Benchmarking**

O Benchmarking é uma ferramenta de Gestão largamente difundida, e Prasnika *et al.* (2005) definem-na como um processo de criação de conhecimento do negócio através da comparação e análise de informação sobre outras Empresas, com o objectivo de melhorar a qualidade das decisões empresariais. Este artigo introduz o conceito de *Total Benchmarking Model (TBM)*, que integra quatro actividades de distintas de Benchmarking, e relaciona-o com as categorias chave da Gestão Estratégica, conforme mostra a figura 7.



Fonte: Prasnika *et al.* (2005)

Figura 7 – Relação entre Benchmarking e Gestão Estratégica

Como se pode observar na figura, os autores atribuem claramente a avaliação do desempenho (*Performance Benchmarking*) às Operações (*Implementation*), deixando avaliação de processos (*Process Benchmarking*) numa região mista, entre o planeamento e a execução.

A avaliação do desempenho inicialmente era obtida através de métodos paramétricos, mas tudo se alterou em 1978 com a publicação do trabalho “*measuring the efficiency of Decision Making Units*” de Charnes, Cooper & Rhones, também conhecido como o Modelo CCR, e abriu portas ao desenvolvimento de um novo método não paramétrico conhecido por *Data Envelopment Analysis* (DEA). A abordagem não paramétrica DEA é especificamente destinada para lidar com modelos compostos por múltiplas entradas e saídas, ultrapassando o problema da saída única associado aos métodos paramétricos (Tofallis, 2001).

Os métodos não paramétricos determinam a tecnologia de referência através de métodos de programação linear enquanto os paramétricos assumem uma relação funcional para o processo produtivo e determinam a tecnologia de referência utilizando métodos econométricos. Embora os métodos não paramétricos, em termos de propriedades estatísticas, sejam menos eficientes a prática mostra que os não paramétricos são os mais utilizados (Nieswand *et al.*, 2009).

A tabela 2 (anexo 1) apresenta um resumo dos trabalhos científicos apresentados sobre avaliação de desempenho em terminais de contentores, com recurso ao DEA.

Study	Data description	Outputs	Inputs
Callinane, <i>et al.</i> (2005)	30 container seaports out of the world's top	Throughput (TEU)	Quay length (m); Terminal Area (ha); Quayside Gantry (n); Yard Gantry (n); Straddle Carriers (n).
Roll and Hayuth (1993)	20 hypothetical seaports	Cargo throughput, Level of service, Users' satisfaction; Ship calls	Manpower; Capital; Cargo uncertainty.
Martinez Buitia <i>et al.</i> (1999)	26 Spanish	Total cargo moved through the docks; Revenue obtained from the rent of seaport facilities.	Labour costs; Depreciation charges; Other expenditure.
Tengcon (2001)	4 Australian, and 12 other international	Cargo throughput; Ship working rate.	Number of cranes; Number of container berths; Number of tugs; Terminal area; Delay time; Labour.
Valentine and Gray (2001)	31 container seaports out of the world's top	Number of containers; Total tons throughput.	Total length of berths; Container berth length.
Itoh (2002)	8 seaports of Japan	TEU handled.	Terminal area; Number of berths; Cranes; Employees.
Soriano and Castellano (2003)	9 seaports of Spain.	TEU handled; Total tons throughput.	Berth size; Terminal area; Number of cranes
Turner <i>et al.</i> (2004)	26 North America container seaports	TEU handled.	Berth size; Terminal area; Number of cranes
Callinane <i>et al.</i> (2004)	25 of 30 biggest terminals in the world	TEU handled.	Berth size; Terminal area; Number of berth crane; Number of yard crane; Number of straddle carriers.
Wang and Callinane (2006)	104 European Container terminals	Container throughput.	Total berth length; Terminal area; Equipment costs.
Park and De (2004)	11 Korean seaports	Berthing capacity; Cargo handling capacity; Cargo throughput; Number of ship calls; Revenue; Customer satisfaction.	Berthing capacity; Cargo handling capacity; Cargo throughput; number of ship calls; Revenue; Berthing capacity.
Callinane and Wang (2007)	30 container seaports out of the world's top	Throughput (TEU).	Quay length (m); Terminal Area (ha); Quayside Gantry (n); Yard Gantry (n); Straddle Carriers (n).
Barros and Athanassiou (2004)	4 Portuguese; 2 Greek	Ships; Movement of freight; Total cargo handled (dry and liquid cargo, unloaded and loaded); Containers (loaded and unloaded).	Labour (measured by the number of workers); Capital (measured by the book value of assets)
Barros (2003a)	5 Portuguese seaports	Ships; Movement of freight; Gross tonnage; Market share; Break-bulk cargo; Containerised cargo; Ro-Ro traffic; Dry bulk; Liquid bulk; Net income.	Number of employees; Book value of assets; Price of labour measured by salaries and benefits divided by the number of employees; Price of capital measured by expenditure on equipment and premises divided by the book value of physical assets;
Barros (2003b)	10 Portuguese seaports	Ships; Movement of freight; Break-bulk cargo; Containerised freight; solid bulk; Liquid bulk.	Number of employees; Book value of assets
Callinane, <i>et al.</i> (2005)	57 container seaports out of the world's top	Container throughput.	Terminal length (m); Terminal area (ha); Quayside gantry (number); Yard gantry (number); Straddle carrier (number)
Rios and Majada (2006)	23 container terminals in Mexico.	TEU handled; Average number of containers handled per hour/ship.	Number of cranes; Number of berths; Terminal area; Number of employees; Number of equipments
Ibañez-Hernández <i>et al.</i> (2005)	19 Spanish seaports	Containerised general cargo; Non-containerised general cargo; Solid bulk handled with no special infrastructure.	Capital (cranes); Labour
Sharma and Yu (2008)	70 container terminals out of the world's top	Throughput (The number of container movement per year).	Quay length (Total quay length of a container terminal); Terminal area (Total area of a container terminal); Quay cranes (Total number of quay gantry cranes); Transfer cranes (Total number of yard cranes); Straddle carriers (Total number of straddle carriers); Beach shovels (Total number of shovels vehicles)

Fonte: Dias *et al.* (2009)

Contentores.

### 1.3.2 Data Envelopment Analysis (DEA)

Recordando os conceitos de eficiência absoluta e relativa: um motor eléctrico em funcionamento, consome X unidades de Energia e desenvolve Y unidades de Trabalho. A sua eficiência será dada pela relação dada pela equação 1:

$$Eficiência = \frac{Trabalho\ desenvolvido}{Energia\ consumida} = \frac{Saídas}{Entradas} \quad \text{Equação 1}$$

Esta é a definição de eficiência absoluta. Se analisarmos vários motores eléctricos relativamente a esta característica, obteremos diferentes valores de eficiência para cada um deles. Se compararmos estes resultados, podemos categorizar os motores em mais eficientes e menos eficientes. Aqui estamos claramente a falar da eficiência relativa entre eles. Neste exemplo, é suficiente utilizar-se um conjunto de equipamentos de medida para que obtenhamos resultados. No que diz respeito aos sistemas complexos, a recolha de dados e o seu posterior tratamento ocorre com outro tipo de ferramentas. As técnicas paramétricas e não-paramétricas são utilizadas na medição da eficiência de unidades de decisão, embora as últimas com mais enfoque nos últimos trabalhos de investigação.

A Análise por Envolotória de Dados, segundo Cooper *et al.* (2004), é uma abordagem “orientada para os dados” para avaliação da performance de um conjunto de entidades denominadas por Decision Making Units (DMU) que converte múltiplas entradas em múltiplas saídas. A definição de DMU é genérica e flexível. Nos anos mais recentes tem-se observado uma grande variedade nas aplicações do DEA na avaliação das performances de várias entidades, nos mais diferentes tipos de actividades, em diferentes contextos e em diferentes Países.

Este facto permitiu ao método DEA ser considerado por diversos autores como a mais adequada ferramenta para avaliar a eficiência, por comparação com ferramentas convencionais ((Banker *et al.*, 1986); (Cullinane *et al.*, 2006); (Ghorbani *et al.*, 2010)). Destacam-se as seguintes características:

- ∴ Não requer à priori uma função objectivo explícita;
- ∴ Examina a possibilidade de diferentes, mas igualmente eficientes, arranjos de inputs e outputs;

- ∴ Localiza a fronteira eficiente dentro de um grupo analisado e as unidades incluídas;
- ∴ Determina, para cada unidade ineficiente, subgrupos de unidades eficientes, os quais formam seu conjunto de referência.

Este método é implementado em duas fases. Na primeira fase é modelada uma matriz ou a Matriz de Eficiência Cruzada (MEC), conforme refere Macedo *et al.* (2002) com o número de linhas igual ao número de DMU a avaliar. O número de colunas é um factor crítico na modelação do problema, devido à relação entre o número de entradas e saídas, e á relação entre o número de variáveis (entradas e saídas) e o número de DMU. Lins e Moreira (1999) recomendam que o número de variáveis seja metade do número de DMU e ainda que o modelo seja o mais compacto possível, dado que um grande número de variáveis diminui o poder discriminatório do DEA. Já Wagner e Shimshak (2007) recomenda a utilização do algoritmo abaixo para a escolha das variáveis a comparar no estudo, que denominaram como “Abordagem Reversiva”.

Assumindo que temos um conjunto de:

$j = 1, \dots, J$  variáveis de entrada e

$k = 1, \dots, K$  variáveis de saída.

### **Início:**

1. Correr uma única análise DEA que inclua o conjunto de todas as entradas J e saídas K.
2. Registrar os resultados de eficiência para cada DMU para esta corrida (conjunto  $E^*$ )

### **Passo 1:**

1. Correr um conjunto de  $i = 1, \dots, J + K$  análises DEA. Em cada uma, retiramos uma entrada, e depois uma saída. Por cada análise:
  - 1.Registar os resultados de eficiência para cada DMU para todas as  $i$  corridas (conjunto  $E_{1,i}$ ).
  - 2.Calcular, para cada DMU, as diferenças do resultado da eficiência do conjunto original e a eficiência parcial calculada ( $E^* - E_{1,i}$ ).

3. Calcular a diferença média de eficiência (conjunto de  $i$  diferenças).
2. Escolher uma única entrada ou saída a retirar, com base na menor diferença média calculada em 1.3. Pelo menos uma entrada e uma saída devem ser analisadas. Se o modelo só tiver uma entrada, ou uma saída, esta variável não pode ser retirada do modelo.
3. Por cada variável removida, atribuir a denominação de  $E_1^*$  ao conjunto dos resultados de eficiência obtidos. O conjunto de resultados de eficiência está construído com base nos resultados das DMU para os restantes valores das variáveis de entrada e saída.

**Passo n+1:**

Repetir cada passo correndo um conjunto de  $i = 1, \dots, J + K - n$  análises DEA.

Com as restantes  $J + K - n$  variáveis de entrada e saída, comparar os resultados  $E_{n+1,i}$  e  $E_n^*$  (resultados da eficiência do passo anterior) e escolher a variável a remover baseado no critério do menor resultado de eficiência média.

**Stop:**

Os autores referem ainda que este algoritmo está modelado de forma genérica, isto é, permite a redução do número de variáveis ao limite mínimo que o DEA permite. Assim, os critérios de paragem do algoritmo devem ser ajustados ao problema em estudo. Sugere-se que o critério de paragem seja a recomendação de Macedo *et al.* (2002), ou seja, quando o número de variáveis for sensivelmente metade do número de DMU a avaliar.

A MEC que será avaliada pelo algoritmo DEA terá o seguinte formato:

**Tabela 3** – Exemplo genérico de uma MEC.

	Entrada 1		Entrada n		Saída 1		Saída n
DMU 1							
DMU n							

*Fonte: Autor*

Segundo Trick e Cornuejols (1998) as limitações deste método são:

- ∴ Os resultados dependem do conjunto de entradas e saídas seleccionadas.
- ∴ Não se consegue objectivar a melhor eficiência absoluta.
- ∴ Não-paramétrico.
- ∴ O número de unidades eficientes tem tendência a aumentar quanto maior for o número de variáveis.

Na segunda fase é seleccionado o algoritmo a aplicar à MEC.

Os trabalhos de investigação mais recentes mostram que as correntes actuais de investigação passam pela utilização do DEA em conjunto com outro método ou técnica ((Tofallis, 2001); (Liao *et al.*, 2007); (Zhang and Jiang, 2008); (Sharma and Yu, 2009); (Fazli and Agheshlouei, 2009); (Sharma and Yu, 2010)). O objectivo é reduzir/eliminar o ruído causado pelas limitações do DEA, para obter resultados mais relevantes.

### **1.3.3 Aplicação da análise recursiva ao método DEA**

O método DEA proposto por Charnes *et al.* (1978) é desenvolvido a partir de um algoritmo de programação linear que transforma múltiplos *inputs* e *outputs* num único índice de eficiência relativa entre as DMU comparadas. Os modelos mais utilizados são: modelo CCR (Charnes *et al.*, 1978) que considera retornos de escala constantes, e o modelo BCC (Banker *et al.*, 1984), que considera retornos variáveis de escala, isto é, não relacionam directamente o aumento de saídas com as entradas. No caso da análise da eficiência em portos, o modelo BCC é o mais indicado (Sharma and Yu, 2009). A implementação dos modelos DEA pode ser orientada para otimizar entradas ou por saídas, ou por ambos. A orientação por entradas minimiza as entradas o necessário para que se obtenha um nível de saídas desejado. Já a orientação por saídas visa maximizar as saídas para um nível de entradas fixo. A orientação para ambos busca a máxima eficiência, minimizando as entradas e maximizando as saídas. O método DEA apresenta alguns inconvenientes como nos dá conta Doyle e Green (1994), e de modo a ultrapassá-los Sharma e Yu (2009) propõem que se utilize um método de mineração de dados apresentado por Kohonen (1982) conhecido como *Kohonen's Self-Organizing Map* (KSOM).

O algoritmo a aplicar para resolver o problema dual será o seguinte:

$$\Theta^* = \min \Theta,$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \Theta x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \lambda_j \geq y_{ro}, \quad r=1,2,\dots,s;$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j=1,2,\dots,n.,$$

Onde  $\Theta$  é o índice de eficiência e os  $\lambda$ 's são as variáveis duais.

Baseado no problema dual, uma DMU teste é ineficiente se uma DMU composta (combinação linear do conjunto das unidades) pode ser identificada que utilize menos recursos que a DMU teste enquanto mantém no mínimo o mesmo nível de saídas. Uma unidade de teste é ineficiente se uma Unidade composta (combinação linear das unidades do conjunto) pode ser identificada como utilizando menos recursos (entradas) que a unidade de teste enquanto mantém pelo menos os mesmos níveis de saída.

De acordo com Sharma e Yu (2009) os modelos DEA também são classificados como radiais orientados para as entradas, radiais orientados para as saídas ou aditivos (entradas e saídas ambas otimizadas) consoante a direcção da projecção das unidades ineficientes na fronteira. A fronteira de eficiência representa um padrão de desempenho que as DMU devem tentar alcançar. A DMU que se encontre sobre a fronteira é considerada eficiente. Todas as unidades (DMU) ineficientes devam procurar melhorar os seus indicadores por forma a dirigirem-se para essa fronteira eficiente, conforme referido em 1.3.4. O método clássico DEA tem algumas limitações como já foi referido, e para os ultrapassar Sharma e Yu (2009), utiliza um método recursivo aplicado ao primeiro conjunto de resultados, como descrito por Zhu (2003), e o algoritmo é o seguinte:

Determinar  $J^l = \{DMU_j, j=1,\dots,n\}$  como sendo o conjunto original completo de todas as  $n$  DMU, e determinar  $J^{l+1} = J^l - E^l$ ,  
onde  $E^l = \{DMU_k \in J^l \mid DMU_k \text{ com eficiência igual a } 1\}$ .

Os passos do algoritmo para identificar as múltiplas fronteiras de eficiência são descritos abaixo, onde  $l$  é o número de conjuntos de amostras.

**Passo 1:** definir  $l = 1$ . Avaliar o conjunto original  $J^1$ , de forma a obter o conjunto  $E^1$ , da fronteira de primeiro nível de DMU. (isto é, quando  $l = 1$ , o algoritmo DEA corre

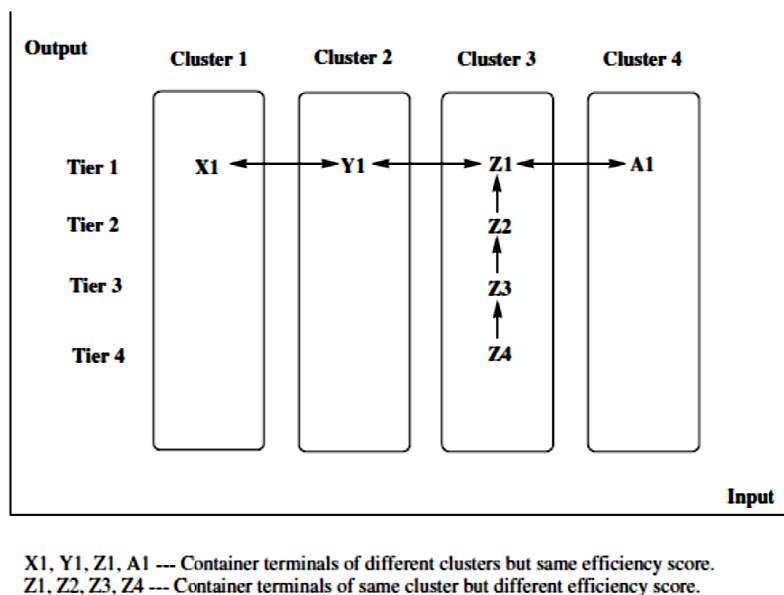
no modelo completo das  $n$  DMU;  $E^l$  é formado pelas DMU que estejam sobre a fronteira de máxima eficiência).

**Passo 2:** excluir as DMU fronteira de futuros subconjuntos a aplicar o algoritmo DEA.

**Passo 3:** se  $J^{l+1}=0$ , parar. Caso contrário, reavaliar o subconjunto das DMU “ineficientes”,  $J^{l+1}$  para obter uma nova fronteira de boas práticas  $E^{l+1}$ .

**Passo 4:** definir  $l = l+1$  e voltar ao passo 2.

Depois disto, o conjunto original de DMU é segmentado em  $l$  níveis de eficiência relativa, as linhas mostradas na figura 8. Por fim, é aplicado o algoritmo KSOM (Kohonen, 1982) ao conjunto original de dados. O resultado será o agrupamento das DMU com características similares, em *clusters*. Desta forma, as unidades ineficientes podem estabelecer objectivos intermédios para melhoria das suas práticas com as DMU eficientes mais próximas. Na figura 3, a projecção de melhoria é feita das linhas inferiores para as superiores, em cada um dos *clusters*.



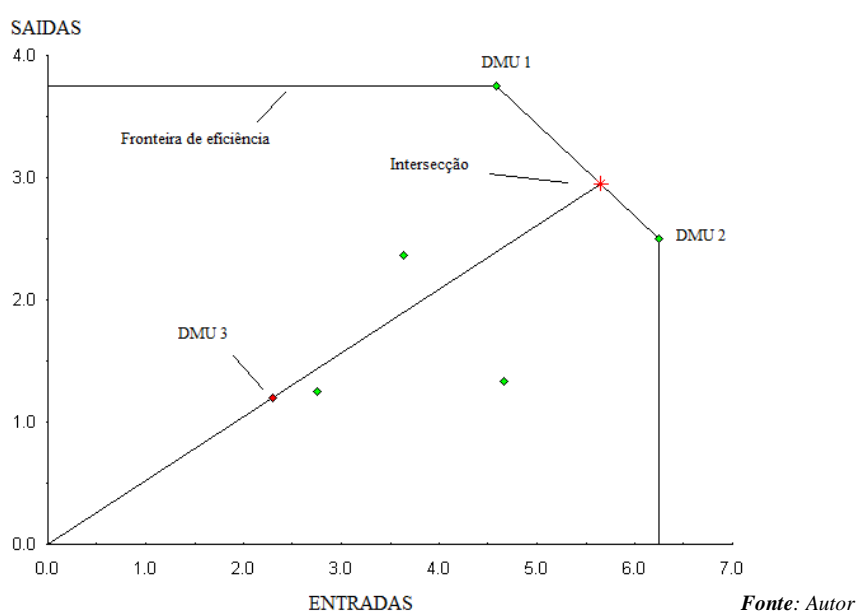
Fonte: Sharma e Yu (2009)

**Figura 8** - Estratificação dos terminais após aplicação do Kohonen's Self Organizing Maps.

### 1.3.4 Caminho de Melhoria

Após a execução do algoritmo DEA, é possível avaliar as diferenças entre os valores das unidades eficientes, face às eficientes, e determinar a sua distância á linha da fronteira de eficiência. Esta distância permite quantificar o valor óptimo de cada uma das entradas ou saídas, passíveis de optimização, das unidades classificadas como ineficientes.

A figura 9 mostra duas unidades eficientes (DMU 1 e DMU 2), e o caminho que a unidade ineficiente (DMU 3) tem de percorrer até chegar á linha de eficiência, transformando-se assim numa unidade de referência de boas práticas.



**Figura 9** – Caminho de Melhoria (*Improvement Path*)

### 1.3.5 Implementação informática do modelo

Os estudos comparativos feitos por Fukunaga (2004) e Barr (2004) apresentam várias soluções para o tratamento de dados. A aplicação DEA-SAED, para além de gratuita, garante tempos de simulação baixos e utiliza a tecnologia *Dinamic Link Library* (DLL). Esta biblioteca de livre distribuição, o *lpsolve.dll*, é actualmente mantida e adaptada a outras plataformas.

Entre as aplicações apresentadas, o autor entende que a versão de demonstração da aplicação Banxia Frontier Analyst 4.0 é adequada a resolução do caso de estudo proposto (analisa no máximo 12 unidades), beneficiando assim da apresentação mais cuidada dos resultados, face às concorrentes com código aberto (*open source*).

## ***1.4 Simulação Computacional***

A simulação computacional não deve ser considerada uma teoria, mas sim uma metodologia de resolução de problemas (Shannon, 1976). Segundo o mesmo autor, os métodos de modelação servem para implementar e analisar um processo real (físico) ou proposto em um computador (virtual) ou em protótipos (ensaios).

Um modelo é um conjunto de entidades, e das suas relações lógicas e matemáticas, que é utilizado para conhecer o comportamento do sistema real correspondente (Law and Kelton, 1991).

Pode considerar-se que “simulação” é o acto de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um estudo fiável dos cenários futuros, limitando os custos das perdas devido a más opções de implementação em produção.

Portanto, para que o modelo e o processo sejam o mais idênticos possíveis, e por consequência os resultados da simulação possam ser utilizados pelos decisores, existem aspectos a ter em conta na aplicação desta metodologia.

### **1.4.1 Princípios de Simulação**

A definição de Simulação, segundo Banks (1998), é a imitação da operação de um processo ou sistema real ao longo do tempo. A simulação é utilizada, quer em termos conceptuais ou aplicados, para descrever e analisar o comportamento de um sistema ou processo. Em suma, o objectivo será criar um modelo representativo de um sistema real que nos forneça dados de saída fiáveis, face a novas entradas estabelecidas na formulação do problema.

Para Law e Kelton (1991) se as relações lógicas e matemáticas entre as entidades que compõem o modelo são simples, será possível a utilização de métodos matemáticos para obter a informação exacta nas questões de interesse, as chamadas soluções analíticas. No entanto, a maior parte dos sistemas reais são demasiado complexos para permitir que os modelos sejam analisados analiticamente, e estes modelos terão de ser analisados através da simulação. Anteriormente Strack (1984), já tinha sistematizado um conjunto de condições que justificariam a utilização da simulação na resolução de problemas, e que são:

∴ Formulação matemática inexistente ou incompleta para o problema;

- ∴ Método analítico para a resolução do modelo matemático inexistente;
- ∴ Obtenção de resultados com o modelo é mais fácil de ser realizada por simulação que por método analítico;
- ∴ Inexistência de capacidade pessoal para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica;
- ∴ Necessidade em observar o desenvolvimento do processo desde o início até os resultados finais, sendo necessários detalhes específicos;
- ∴ Impossível ou muito difícil a experimentação no sistema real;
- ∴ Desejo em estudar longos períodos de tempo, que os modelos físicos dificilmente fornecem.

Refere ainda Law e Kelton (1991) que na simulação é utilizada a capacidade de cálculo do computador para avaliar o modelo numericamente, e os dados são recolhidos para fornecerem as características reais do modelo da forma mais aproximada possível.

Apesar da sua valia, a aceitação e utilização da simulação tem enfrentado vários obstáculos. Em primeiro lugar, os modelos para estudar sistemas de larga escala tem tendência para serem muito complexos, e a elaboração de um programa computacional que os defina podemos transformar-se numa tarefa muito árdua. Esta tarefa tem sido bastante facilitada nos últimos anos com o desenvolvimento de aplicações informáticas que automaticamente fornecem um grande conjunto de componentes necessários á elaboração de um modelo de simulação. Um segundo problema, seria a capacidade de processamento dos computadores que operam o modelo de simulação, que nos últimos anos tem sido drasticamente reduzido, dado que existem cada vez melhores, e mais baratos processadores disponíveis no mercado. Finalmente, a simulação terá associada a desafortunada ideia que se trata apenas de um exercício de programação computacional, ao invés de uma técnica complexa. Consequentemente, muitos dos “estudos” de simulação são compostos por uma modelação heurística do sistema e pela execução única do código em busca da “resposta”.

A simulação foi considerada em 1989, como Tecnologia Critica no Conselho da Competitividade nos Estados Unidos da América, e actualmente existem um conjunto de boas praticas que os investigadores seguem, cuja génese poderá ser a referida por Pritsker, A. *fide* em Banks (1998). Este autor afirma que se um modelo é uma descrição de um sistema, ele também é uma abstracção do sistema. Para desenvolver uma abstracção, o construtor do modelo deve decidir sobre os elementos do sistema a incluir

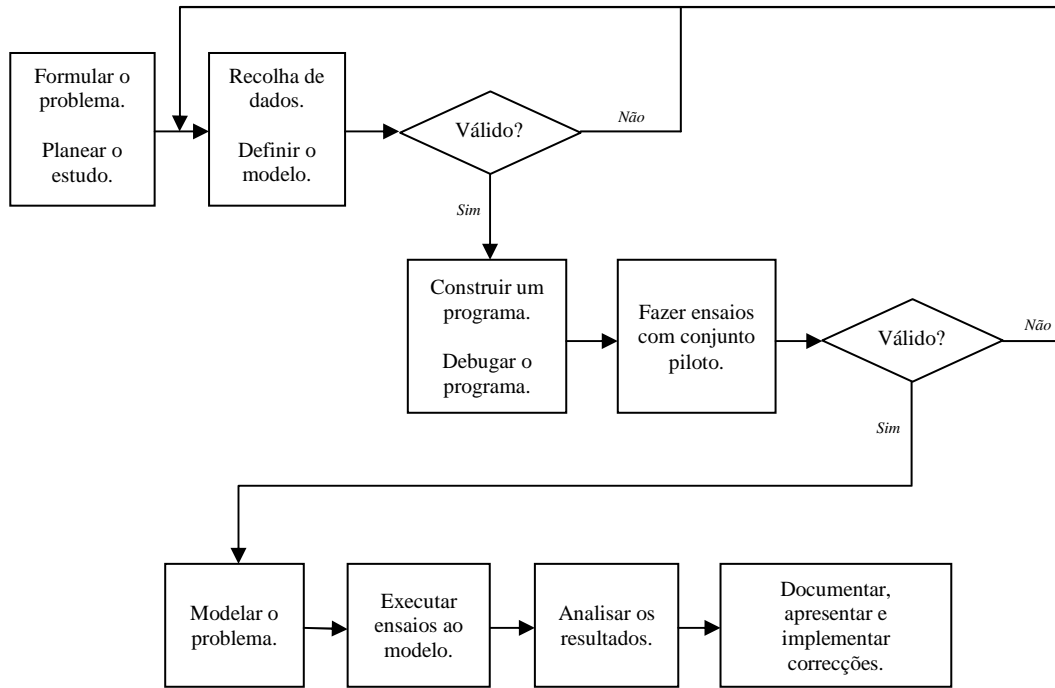
no modelo. Para tomar tais decisões, deve ser estabelecido um propósito para o modelo. Portanto, o primeiro passo na construção de um modelo é o desenvolvimento de um propósito para o mesmo que terá como causa o problema a estudar ou então o objectivo do projecto. Com base nesse mesmo propósito, são estabelecidas os limites, fronteiras e detalhes do modelo. Esta abstracção resulta num modelo que não inclui as zonas limítrofes mal definidas do sistema real. Ele recomenda ainda quatro princípios básicos de modelação:

- .: A conceptualização de um modelo requer conhecimento aprofundado do sistema, uma análise técnica crítica e ferramentas de construção de modelos.
- .: O segredo para ser um bom construtor de modelos é a capacidade de remodelar.
- .: O processo de modelação é evolucionário porque o acto de modelar revela informação importante aos poucos.
- .: O problema ou a indicação do problema é o primeiro elemento de controlo numa metodologia de resolução de problemas baseada num modelo.

Para além destes princípios, alguns autores consideram fundamental uma metodologia passo-a-passo que será apresentada de seguida. Resta salientar que a partir deste momento, o trabalho apenas focará aspectos relevantes na simulação de sistemas discretos, tendo em conta que Legato e Mazza (2001) e Canterella *et al.* (2005) a justificam como sendo a mais adequada ao estudo de Operações em Terminais de Contentores.

#### **1.4.2 Metodologia de um estudo de Simulação**

Os estudos de simulação, para Law e Kelton (1991), seguem habitualmente o algoritmo apresentado na figura 10, e considera ainda a possibilidade de supressão ou a adição de blocos, em casos particulares que o justifiquem. Sugerem ainda que a metodologia de construção de um modelo deve obedecer a uma série de processos encadeados, com pontos de validação intermédios, que lhe permitem ser mais que uma sequência e transformar-se num fluxograma retro-alimentado.



Fonte: Law e Kelton (1991)

**Figura 10** - Passos de um estudo de Simulação.

Entre as recomendações propostas consideram-se relevantes neste processo as seguintes:

Formulação do problema e planeamento do estudo. O início de cada estudo começa com a definição clara dos seus objectivos gerais e das questões específicas a ter em conta. Sem estas declarações as hipóteses de sucesso são reduzidas. Se possível, as hipóteses alternativas de estudo também devem ser delineadas, e definido um critério de avaliação da eficácia destas alternativas.

Recolha de dados e definição do Modelo. A informação e os dados devem ser recolhidos directamente do sistema a ser modelado (se ele existir) e utilizado para especificar procedimentos operacionais e distribuições de probabilidade de variáveis aleatórias a utilizar no Modelo. A maioria dos autores considera que um modelo moderadamente detalhado é o ponto de partida mais adequado ao processo heurístico de modelação de sistemas.

Considera-se assim que a metodologia de um estudo de simulação é composta genericamente por três etapas, segundo a perspectiva da criação de um modelo computacional: Modelação, Implementação e Simulação, para além das definições iniciais já citadas.

### 1.4.3 Modelação, Implementação e Simulação

O processo de modelação é a primeira particularização do problema. Neste caso, podemos afirmar que estamos na presença de simulação de eventos discretos, dado que por definição estes modelos dizem respeito a sistemas que vão ser simulados através de uma linha temporal, em que os estados das variáveis se alteram instantaneamente em pontos separados dessa mesma linha. Estes pontos no tempo são gerados á medida que o tempo do ensaio decorre, e envolvem a alteração de estado de entidades e/ou recursos do sistema.

Para modelar um sistema real de eventos discretos, segundo Kelton *et al.* (1998), devesse decidir sobre a melhor opção para obter as variáveis resposta. Segundo Silva (2007) existem três tipos de abordagens na modelação de problemas:

- ∴ **Fluxograma:** este é o método mais comum, dado que consiste em traduzir uma situação, ideia, fenómeno ou sistema, analisando o fluxo dos seus itens numa sequência de etapas de processamento, envolvendo mudanças de estado, características, de movimento e de local onde são processados.
- ∴ **Funcional:** este método é utilizado quando existe uma sequência razoavelmente clara de funções executadas pelo sistema. Neste caso é necessário identificar as funções do sistema e estabelecer a sequência em que as mesmas ocorrem, descrevendo-as com o maior detalhe possível.
- ∴ **Mudança de estado:** este caso é aplicado é utilizado quando nos sistemas existe um grande número de relações interdependentes para as quais a vinculação com o tempo pode ser observada. O tempo é dividido numa série de instantes, numa sequência tal que o seu encadeamento reproduza o funcionamento do sistema.

A etapa seguinte é executada com recurso a aplicações de simulação (simuladores), isto é, o conjunto de premissas estabelecidas na etapa anterior são formuladas numa linguagem computacional com o objectivo de utilizar a velocidade do relógio de um computador como factor de compressão de tempo, permitindo obter resultados previsionais do sistema real. De acordo com Law e Kelton um modelo de

simulação de processos discretos deve incluir um conjunto de funcionalidades tais como:

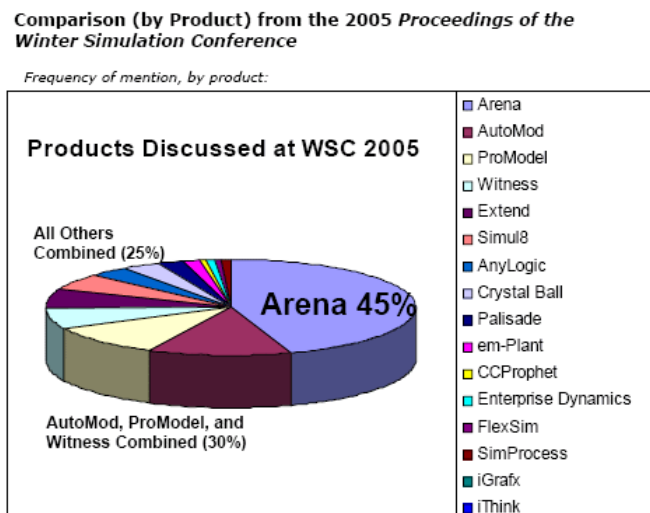
- ∴ Geração de números aleatórios, isto é, valores aleatórios de uma distribuição de probabilidade genérica  $U(0,1)$ .
- ∴ Geração de valores aleatórios a partir de distribuição de probabilidade específica (Ex: Exponencial, Weibull, ...).
- ∴ Tempo de simulação avançado, isto é, permitir simular determinado espaço temporal com recurso á velocidade de relógio do processador.
- ∴ Determinar o próximo evento na lista de eventos, e atribuí-lo ao apropriado bloco de código.
- ∴ Adicionar registos, eliminá-los ou alterá-los numa lista de registos.
- ∴ Produzir relatórios dos resultados
- ∴ Detectar as condições de erro.

As linguagens de programação gerais como o FORTRAN, C, C+, ou BASIC apresentam limitações na implementação dos modelos, nomeadamente no que diz respeito às abordagens atrás referidas. As linguagens específicas de simulação, tais como GPSS, SIMAN, SIMSCRIPT, SLAM, utilizam uma das duas orientações essenciais nestes modelos: a calendarização de eventos e os processos. Para além disso, disponibilizam blocos parametrizáveis de elementos comuns nos estudos de simulação tais como: Entidades, Filas (FIFO, LIFO) e Recursos. Estas linguagens específicas apresentam as seguintes vantagens face às linguagens de programação geral:

- ∴ As linguagens de simulação disponibilizam automaticamente a maioria das funcionalidades necessárias á implementação de um modelo, com resultados significativos no tempo de programação.
- ∴ Disponibilizam uma estrutura natural para implementação de modelos de simulação. Os blocos estão mais “*closely akin to simulation*” que os das outras linguagens tais como o FORTRAN.
- ∴ Os modelos de simulação são mais facilmente adaptáveis que os escritos nas linguagens genéricas de programação.
- ∴ A maioria das linguagens de simulação disponibiliza uma alocação automática de armazenagem dos dados durante a sua execução.

∴ A detecção de erros é praticamente automática dado que muitos dos potenciais erros já estão identificados, para além do número de linhas de código ser menor, o que por si só implica menor probabilidade de erro.

As linguagens de simulação deram origem aos simuladores, tal como as linguagens de baixo nível deram lugar às de alto nível, nomeadamente a programação por objectos. As vantagens dos interfaces gráficos, que permitem a interacção do utilizador com as aplicações através do rato, menus e caixas de diálogo, suavizaram a curva de aprendizagem aos novos utilizadores. Para além disso, as apostas em fóruns, ajuda em tempo real, e as plataformas que facilitam a troca de informações acerca da utilização contribuíram para a existência de Mercado nesta área. No ano de 2005 foi apresentado um estudo sobre as quotas de mercado destas aplicações, que concluiu que o Arena era o líder destacado das referidas (Robson, 2005).



Fonte: Robson (2005)

Figura 11 – Análise do Mercado de Simuladores em 2005.

Segundo Silva (2007) a linguagem *Arena* combina a facilidade de uso verificado em linguagens de alto nível com a flexibilidade de linguagens de simulação, através do uso do modo de programação em linguagens de propósito geral como o *Visual Basic* da *Microsoft*, *Fortran*, ou *C*. O *Arena* disponibiliza alternativas e módulos intercambiáveis de simulações gráficas, modelando e analisando módulos que podem ser combinados de modo a construir uma grande variedade de modelos, podendo manejar modelos contínuos, discretos e mistos.

O *Arena* possui uma versão livre ou para estudantes, outra profissional e de tempo real. A versão livre ou para estudantes só permite assistir a animações gráficas e análises de desempenho usando modelos simples ou já existentes no *Arena*.

A versão profissional do *Arena* engloba todas as ferramentas necessárias para tomar as melhores decisões, possibilitando a criação e combinação de modelos de diversos tipos de sistemas que irão ser modelados.

Na última etapa, as decisões tomadas nas duas anteriores vão ser decisivas na Verificação, Validação, Acreditação (VVA) do modelo de simulação.

De acordo com Balci (1997) os critérios de aplicação de VVA dependem dos seguintes cuidados na modelação e simulação (MS):

- ∴ A verificação e validação (VV) devem ser aplicadas durante todo o ciclo de vida do modelo.
- ∴ Os resultados da VVA não devem ser considerados como uma variável binária, em que o modelo se encontra absolutamente correcto ou errado.
- ∴ Um modelo de simulação é construído em função de certos objectivos e é “avaliado” de acordo a esses objectivos.
- ∴ VV requer independência, de modo a prevenir subjectividade.
- ∴ VVA é difícil e requer criatividade e profundidade de conhecimentos.
- ∴ Credibilidade será somente prescrita nas condições para as quais o modelo foi VVA.
- ∴ Teste completo do modelo de simulação não é possível.
- ∴ VVA deve ser planeada e documentada.
- ∴ Erros devem ser detectados o mais cedo possível no ciclo de vida do modelo.
- ∴ As respostas em modelos criados para resolver múltiplos problemas devem ser organizadas e reconhecidos devidamente.
- ∴ O teste das componentes de um modelo não implica o funcionamento correcto do modelo inteiro.
- ∴ Problemas de dupla validação devem ser reconhecidos e resolvidos devidamente.
- ∴ A validação de um modelo não implica credibilidade de todos os resultados.
- ∴ Um problema bem formulado é essencial para a aceitação e acreditação dos resultados da MS.

Segundo Balci (1997) para executar a VV existem dois grandes grupos de técnicas entre as 77 existentes: técnicas de modelação convencional e modelação por

objectos. Fica apenas a referência dado que o presente trabalho não as utilizará para validar o modelo apresentado para o terminal de contentores em estudo, por se considerar que não tem relevo no âmbito do presente documento.

Outras das características importantes de um modelo é a sua adaptabilidade. Como refere Silva (2007) a construção de um modelo poderá ser uma tarefa árdua, longa e economicamente dispendiosa pelo que é habitual o recurso a modelos já existentes e adaptá-lo de modo a resolver o problema em questão. A programação orientada por objectos (alto nível) facilitou a criação de modelos reutilizáveis, facilitando assim as alterações aos requisitos ou aos resultados pretendidos.

Em resumo, as técnicas de simulação constituem uma importante ferramenta na optimização vertical das Empresas devido às suas funcionalidades previsionais na melhoria dos processos internos das mesmas.

A avaliação e optimização do Terminal de Contentores de Alcântara será feita com recurso ao DEA e á Simulação Computacional. O DEA é utilizado pelos investigadores para avaliar o desempenho dos terminais, e consegue ao mesmo tempo projectar as melhorias que cada variável de estado deverá ter para atingir a linha da fronteira eficiente. Após esta avaliação transversal, os estudos de Simulação Computacional devem ter em conta, segundo a minha perspectiva, as variáveis de estado consideradas no DEA. Deste modo poder-se-á criar uma estrutura metodológica integrada que permite estabelecer objectivos de melhoria concretos na optimização vertical da Unidade, como veremos mais adiante.

## 2. Enquadramento Marítimo-Portuário

---

Antes de se proceder ao estudo do caso objecto deste trabalho de investigação, torna-se necessário proceder ao enquadramento marítimo-portuário, principalmente no que concerne à carga contentorizada tanto a nível genérico e global, como a nível europeu e ibérico, no seio deste, ao terminal de contentores de Alcântara como parte do sector portuário nacional.

### 2.1 A Nível Genérico e Global

De acordo com Dias (2010) pode sintetizar-se toda esta problemática marítimo-portuária como segue. Para começar, o conceito de porto bem como os modelos de integração em sistemas ou terminologias não são objecto de unanimidade entre os mais prestigiados autores nacionais e internacionais. Uma coisa é certa: os portos são entidades fortemente complexas de integração de múltiplas e variadas organizações, onde instituições e funções, muitas vezes se cruzam a vários níveis, o que torna muito difícil identificar nos portos quem faz o quê, e porquê (Bichou and Gray, 2005).

O conceito em si pode variar e ser considerado a partir de um pequeno cais para atracação de um navio até um centro de escala muito grande, com muitos terminais associado a um *cluster* de indústrias e serviços. A literatura sobre os atributos do porto oferece uma variedade de termos tais como cais, estuário, interface marítimo, navio/terra e multimodal/interfaces intermodais, centros de distribuição e logística, corredores e passagens, marítimo/áreas de desenvolvimento industrial e do comércio marítimo, centros de distribuição, *clusters* industriais, portos secos, as zonas francas, etc. Ainda de acordo com Bichou e Gray (2005), os portos não têm de ser, necessariamente, locais constituídos apenas com ou a partir de zonas marítimas; por exemplo, para efeitos legais nos E.U.A., os portos podem incluir aeroportos (Newman and Walder, 2003).

As funções portuárias são tão diversas em termos de âmbito e natureza de que seria quase impossível apresentar uma lista exaustiva delas. De qualquer forma e sobre esta matéria pode referir-se, entre outras entidades, a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), que ao longo das últimas duas décadas publicou importantes monografias sobre gestão portuária (UNCTAD (1992);UNCTAD (1995);UNCTAD (1999)).

Além disso pode também assinalar-se que um volume de trabalho já hoje importante tem vindo a ser produzido por autores académicos. Para se aquilatar desta realidade emergente será conveniente analisar e apreciar o trabalho de Pallis *et al.*, (2010).

Para se apresentar um conceito abrangente e genérico podemos recorrer a Dias (2005), onde na página 473 se refere o seguinte:

*“pode dizer-se que um porto é um local que possibilita adequadas condições de ancoragem e permanência de navios, de forma relativamente segura, podendo estes abrigar-se de ventos e tempestades. As embarcações e navios procedem à acostagem para embarque/desembarque de passageiros e carga/descarga de mercadorias.*

*O conceito de «harbour» aplica-se à área restrita dos trabalhos necessários à sua construção, protecção, conservação, ou seja, à infra-estrutura propriamente dita. Na própria UE, existe um parecer do Comité Económico e Social sobre o «Livro Verde» relativo aos Portos e Infra-estruturas Marítimas, que refere, como funções dos portos, de uma forma clássica, “a transferência de passageiros e mercadorias do modo marítimo para os modos terrestres e vice-versa afirmando ainda que a carga movimentada nos portos é tão variada como o próprio comércio internacional”.*

Nesse documento são mencionadas as três principais actividades exercidas num porto: serviços relacionados com o navio tais como assistência naval, pilotagem, reboque, acostagem, amarração, agentes de navegação, corretagem marítima, recepção de resíduos, limpeza de navios, reparação naval; serviços relacionados com a carga e de que se podem referir a estiva, grupagem (contentores e paletes), armazenagem de carga, transitários; finalmente serviços de controlo e inspecção de que se podem mencionar o desembarço aduaneiro, inspecção de segurança do navio, mercadorias perigosas, etc. Além disto, poderá ainda referir-se que nos portos, as embarcações e os navios, poderão ter acesso às operações de manutenção que eventualmente necessitem.

Qualquer riacho natural ou braço de mar com calado e abrigo suficientes para a recepção de navios, preenche os requisitos para ser um *harbour*. Um *port* é constituído por um *harbour* complementado por estruturas de carga e passageiros e comércio externo.

O que faz com que um porto seja uma plataforma é a sua capacidade de oferecer com continuidade, eficácia em ambiente de permanente evolução os atributos desejados

pela procura; só assim poderá contribuir para a viabilidade de Cadeias de Valor que asseguram o abastecimento à escala planetária e macrologística.

Quer dizer: porto enquanto plataforma interfacial, dinâmica, ponto de encontro entre ofertas e procuras distantes que se podem consumir na oferta das infra-estruturas e super estruturas próprias e as procuras reais e potenciais que as utilizam, ou podem utilizar. Um porto será então uma verdadeira plataforma económica por via da sua capacidade de ser uma verdadeira plataforma logística, na medida em que contribui para a criação ou adição de valor em qualquer dos seus atributos fundamentais nomeadamente no que concerne à compressão do importante atributo tempo.

O mesmo autor refere ainda que:

*“Aos portos exige-se que sejam abrigados dos ventos e das vagas, que possuam profundidades que permitam chegadas e partidas rápidas e seguras aos navios, abundância de cais acostável, equipamentos portuários eficientes, fiáveis e de elevadas performances produtivas, recursos humanos qualificados e competentes, boas e seguras acessibilidades terrestres rodo-ferroviárias, desimpedidas, independentes, com pontos de confluência e interconectividade que permitam soluções multimodais e desnivelas quando os modos se tenham de cruzar ou tenha que ocorrer transferência. Acesso fácil às plataformas de produção, aos centros de «postponement» (Mendonca and Dias, 2007) consolidação ou desconsolidação (SGL, 2003), de distribuição e consumo.*

*Designam-se por infra-estruturas portuárias, fundamentalmente, os canais de navegação, os molhes de protecção, os cais de acostagem e as docas e, por superestruturas o equipamento de movimentação e a organização.”*

Relativamente ao importante tema da governança portuária, desregulamentação e a privatização, elas têm sido fundamentais nas mudanças ocorridas no sector dos transportes e portos, motivadas, em especial, pela economia e pela gestão através da busca da racionalidade e da eficiência. Tal motivação económica apela a várias razões que suportam um processo de privatização, nomeadamente, facilitar a negociação de políticas laborais, criar uma cultura empresarial e aumentar a eficiência. Cada caso é um caso e em cada país europeu, americano, asiático, etc., que se analise dar-nos-á soluções diferenciadas para casos muitas vezes similares (Elsevier, 2007). Nesta referência, em

forma de livro, encontram-se os melhores e mais prestigiados autores que apresentam os mais variados trabalhos científicos sobre esta matéria e capítulo a capítulo.

De acordo com Dias (2010), quanto ao tipo de cais ou terminais podem referir-se, sumariamente, os **graneleiros**, que respeitam às cargas a granel do tipo sólido, não pode deixar de haver gruas equipadas com acessórios especiais, tais como conchas, silos, tremonhas e tapetes rolantes que transportem ou armazenem a carga dos navios aos referidos silos ou armazéns. Quer no que respeita a granéis alimentares ou a granéis energéticos ou outros.

Também para os graneis líquidos tem de haver tanques e depósitos especiais, bem como as respectivas condutas e todo o necessário equipamento de abertura e fecho dos caudais. De certo modo, similarmente poder-se-ão referir, equipamentos adequados para a movimentação de gases, nomeadamente combustíveis, sempre que este tipo de carga se movimenta no porto, bem como o rigoroso cumprimento de severas normas de segurança e da existência quer dos mais adequados planos de emergência, bem como os mais eficazes meios de combate para o caso de situação de derrame ou catástrofe.

Relativamente aos cais ou terminais **ro-ro** (*roll-on / roll-off*), em que a carga entra e sai pelos seus próprios meios, eles necessitam, fundamentalmente, de infraestrutura sob a forma de terrapleno e plataformas rodoviárias e ferroviárias de carga e descarga das viaturas de e para os modos de transporte terrestre; outros equipamentos indispensáveis são as rampas de acesso aos navios, já que nem todas as rampas que equipam os navios podem ser compatíveis com o tipo de cais existente (Dias *et al.*, 2010). Nos terminais ro-ro europeus, os navios porta-carros trazem os veículos importados e exportam automóveis produzidos em fábricas cujas marcas estão instaladas a poucas dezenas de quilómetros de distância. Tais movimentos minimizam o transporte em vazio dos navios e reduzem para metade ambos os fretes tanto na importação como na exportação. De acordo com Mendonça e Dias (2007) e Dias *et al.*, (2009), para a importação, na esmagadora maioria deste tipo de terminais implantados em portos europeus, existem instalações onde é possível realizar operações de valor acrescentado, nomeadamente *postponement*.

Uma situação corrente nos portos que são constituídos por vários tipos de terminais especializados é a que implica uma localização bem diferenciada entre terminais ro-ro de movimentação de automóveis e os de movimentação de granéis sólidos nomeadamente os carvões ou líquidos. Tal proximidade pode trazer contaminação que destrua as pinturas dos automóveis e os contratos de concessão da

movimentação de automóveis, normalmente impõem distâncias mínimas entre tais tipos de terminais.

É corrente nos portos a existência dos designados terminais **de carga geral** tanto **fraccionada** como **contentorizada**. Ao logo do tempo a movimentação de carga geral fraccionada vai-se transferindo para contentores. Do contentor pode dizer-se que sem ele, o tamanho do navio de carga geral estaria limitado. O contentor, de alguma maneira, trouxe a revolução industrial aos portos, pelo que foi possível reduzir a mão-de-obra, melhorar a produtividade das operações, diminuição de aleatoriedade na operação portuária, redução de estadia dos navios, melhoria nas condições de segurança, etc. Além de tudo isto, enquanto unidade de carga, permitiu o conceito do transporte porta-a-porta. Com o contentor, emerge também a ciência da racionalização da distribuição e o desenvolvimento da própria logística.

Para além da logística inerente às mercadorias que transporta, é necessária a logística do contentor, propriamente dito; ela engloba as actividades da sua fabricação, compra, manutenção e reparação, transportes internos, gestão e controlo da gestão.

Tal logística não é de modo algum despicienda. Que poderá acontecer se houver mercadorias para carregar, os meios de transporte a aguardar, mas faltarem os indispensáveis contentores? Seguramente ocorrerão ineficiências e prejuízos.

Os donos das linhas, que são muitas vezes donos dos navios, são também frequentemente proprietários de um número significativo das respectivas embalagens unitizadas. Mas, para além destes, existem empresas cujo negócio fundamental é fornecer este tipo de embalagem, possuindo para frotas de contentores.

Os desequilíbrios estruturais, conjunturais e (ou) sazonais que ocorrem com a circulação física das mercadorias que se importam e exportam de e para todo o mundo, obrigam à existência de um grande número de unidades rotáveis em *stand-by*, depositadas em *buffers* instalados em certos terminais ou plataformas logísticas, já referidos por portos-secos ou *dry ports* (Dias, 2005), onde se proceda à grupagem dessas mesmas mercadorias, e logo, à consolidação e desconsolidação de contentores. Mas os armadores não estão interessados em dimensionar-se para os picos das necessidades de contentores. Para tanto, existem muitas empresas em todo o mundo cujo negócio consiste, como se viu, na logística da reposição da embalagem-contentor. A logística própria do contentor, permite pois compará-lo a uma mercadoria e quer o armador quer o transportador nem precisam de conhecer com exactidão o seu conteúdo. Entre cada utilização é necessário efectuar inspecções ao seu estado no sentido de aferir

da sua condição técnica e repará-los ou substituí-los se for caso disso. Assim, é de toda a conveniência que nos próprios terminais ou parques logísticos haja um serviço acreditado de oficinas, que efectue a inspecção e reparação de contentores, com pessoal habilitado e devidamente certificado.

Como se sabe, o movimento de contentores no interior de um terminal é bastante intenso como rigorosos são os programas baseados em modelos matemáticos de optimização (apenas um exemplo: (Herer *et al.*, 2006)) tanto na arrumação dos contentores, mesmo em transshipment, número e tipo de equipamentos envolvidos, capacidade de movimentação (*handling*) de unidades por grua (mais de 33/hora), capacidade de atracação, fundos disponíveis, formação do pessoal da estiva, etc.

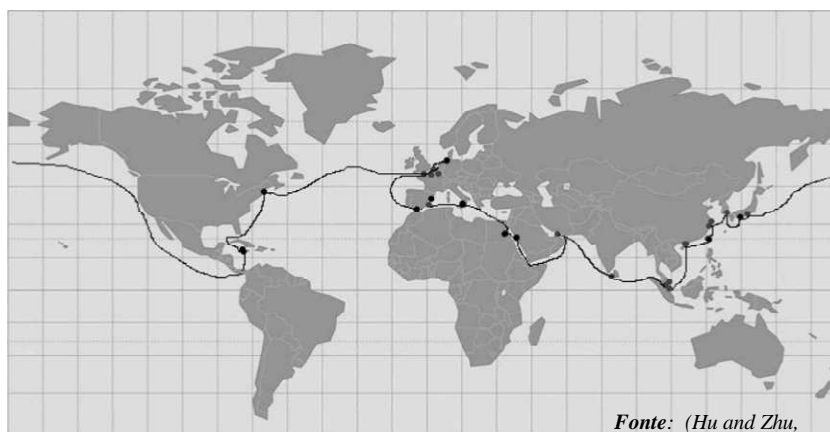
A qualidade e quantidade dos terraplenos, as valências para cargas perigosas, frigoríficas e outras, as acessibilidades rodoviárias às portarias e as ferroviárias disponíveis no interior dos terminais portuários, são de fundamental importância na produtividade de um terminal qualquer portuário nomeadamente de contentores.

Completando o que atrás foi referido, a unitização na embalagem-contentor foi portanto uma das maiores revoluções realizadas no âmbito dos transportes e da logística que mais terá alavancado (juntamente com as novas tecnologias da informação e comunicação) a economia e o comércio internacional bem como a própria globalização.

Pode referir-se um contentor como sendo uma “unidade de carga para transporte de carga, estando normalmente equipado com um encaixe em cada um dos cantos, a fim de permitir a sua movimentação através de equipamento especial.

Poderá apresentar-se sob a forma de caixa ou grade, ou tanque especialmente concebido para o transporte porta-a-porta por via marítima, aérea, rodo ou ferroviária. Devem ainda considerar-se os seguintes tipos de contentores: fechado, aberto, de tecto aberto, aquecido, frigorífico e isotérmico. Existem também contentores especiais destinados ao transporte de mercadorias também especiais, nomeadamente as perigosas. Trata-se pois de uma caixa empilhável, içável a topo, transportável por qualquer modo de transporte preparado para o efeito. Pode ainda acoplar-se a outras unidades, menores ou maiores, visto ser o contentor uma unidade modular, de acordo com as dimensões definidas pela ISO (SGL, 2003). Para tanto, todos os contentores têm alturas e larguras iguais a 8 pés, variando os comprimentos desde 5 a 40 pés, sendo os de 20 e 40 pés os mais comuns (um contentor de vinte pés mais outro de 40 pés, apesar de serem dois são contabilizados como três TEU).

A figura 12 mostra os 25 portos mundiais mais conectados, em que é prevalente a movimentação de carga contentorizada, evidenciam uma distribuição geográfica desequilibrada, embora numa lógica de alinhamento transversal ao globo. Estes portos estão localizados, principalmente, na Ásia e na Europa, incluindo treze portos na Ásia e Oriente Médio, um na África, nove na Europa, um na América do Norte e ainda outro na América Latina. Conforme se pode ver eles estão particularmente localizados ao longo das linhas de leste a oeste e não norte/sul).



**Figura 12 - A Distribuição Geográfica dos 25 portos Mundiais mais Conectados.**

O estudo do caso Maersk (Fremont, 2007) que é o maior armador (SGL, 2003), mundial, demonstra que os serviços marítimos de ligação directa não são incompatíveis configurações de serviços que incluem *transshipment*.

Rank (09)	Rank (08)	Port	Country	2008		2009	
				Total	Growth	Total	Growth
1	1	Singapore	Singapore	29,918	7.1	25,866	△13.5
2	2	Shanghai	China	27,980	7.0	25,002	△10.6
3	3	Hong Kong	Hong Kong	24,494	2.1	20,983	△14.3
4	4	Shenzhen	China	21,414	1.5	18,250	△14.8
5	5	Busan	S.Korea	13,453	1.4	11,980	△10.9
6	8	Guangzhou	China	11,001	19.6	11,190	1.7
7	6	Dubai	U.A.E	11,827	11.0	11,124	△5.9
8	7	Ningbo / Zhoushan	China	11,226	19.9	10,503	△6.4
9	10	Qingdao	China	11,001	16.3	10,260	△6.7
10	9	Rotterdam	Netherlands	10,800	0.1	9,743	△9.8
11	14	Tianjin	China	8,500	19.7	8,700	2.4
12	12	Kaohsiung	Taiwan	9,677	△5.7	8,581	△11.3
13	13	Port Kelang	Malaysia	7,974	12.0	7,310	△8.3
14	15	Antwerp	Belgium	8,664	6.0	7,310	△15.6
15	11	Hamburg	Germany	9,737	△1.5	7,010	△28.0
16	16	LA	U.S.A	7,850	△6.0	6,749	△14.0
17	18	Tanjung Pelepas (PTP)	Malaysia	5,600	1.8	6,000	7.1
18	17	Long Beach	U.S.A	6,488	△11.3	5,068	△21.9
19	22	Xiamen	China	5,035	8.8	4,680	△7.0
20	21	Laem Chabang	Thai	5,134	10.6	4,622	△10.0

**Fonte:** <http://foreign.busanpa.com> (19/12/2011)

**Figura 13 - Os vinte maiores portos de contentores do mundo, 2008/2009 (TEU).**

Na figura 13, podemos ver a classificação dos 20 maiores portos mundiais. Verifica-se que só estão no continente europeu os portos de Roterdão (9º/10º), Antuérpia (14º/13º) e Hamburgo (15º/11º). A crise mundial evidencia os menores valores de 2009.

Rank	Shipping Line	Country	Share (%)	Total		Owned		Chartered	
				TEU	Vessel	TEU	Vessel	TEU	Vessel
1	Maersk Line	Denmark	15.8	2,048,421	548	1,118,663	207	929,758	341
2	MSC	Switzerland	12.6	1,626,160	412	858,591	202	767,569	210
3	CMA-CGM	France	8.3	1,069,953	372	343,351	85	726,602	287
4	APL	Singapore	4.5	586,269	146	170,373	45	415,896	101
5	Evergreen	Taiwan	4.3	556,142	152	319,263	87	236,879	65
6	Hapag-Lloyd (HLC)	Germany	4.1	529,957	122	292,613	60	237,344	62
7	COSCO	China	3.8	487,979	132	271,305	87	216,674	45
8	Harjin	S.Korea	3.5	447,206	98	104,068	19	343,138	79
9	China Shipping (CSCL)	China	3.4	437,564	121	250,099	71	187,465	50
10	CSAV	Chile	3.2	419,517	114	41,410	8	378,107	106
11	NYK	Japan	2.7	354,177	92	280,379	54	73,798	38
12	MOL	Japan	2.7	351,890	92	151,250	27	200,640	65
13	OOCL	Hong Kong	2.7	348,052	74	246,705	41	101,347	33
14	Hamburg-Sud	Germany	2.6	331,994	107	137,726	37	194,268	70
15	K-LINE	Japan	2.6	331,853	86	199,537	36	132,316	50
16	ZIM	Israel	2.5	319,503	94	165,482	35	154,021	59
17	Yang Ming	Taiwan	2.4	313,379	77	187,201	45	126,178	32
18	HMM	S.Korea	2.1	273,278	53	74,325	12	198,953	41
19	PIL	Singapore	1.7	219,495	121	133,229	80	86,266	41
20	UASC	U.A.E.	1.5	199,082	50	113,596	27	85,486	23

Fonte: <http://foreign.busanpa.com> (19/12/2011)

**Figura 14** - Os vinte maiores armadores mundiais em 2010 (TEU e Navios).

Vejamos ainda quais os vinte maiores armadores do mundo. Relativamente aos maiores armadores do mundo, a *Maersk* é de longe o maior, seguido a uma razoável distância pela *MSC*, e este, seguido de perto, em terceiro lugar pela *CMA-CGM*.

Dá para baixo, embora os armadores apresentem uma quantidade variável de navios, o fosso dos três primeiros para os restantes em termos de movimentação de TEU é abissal. Estes, os armadores, são os principais clientes dos terminais de contentores de todo o mundo. Entre estes a *Maersk* e a *MSC* são operadores integrais na medida em que asseguram aos seus clientes em terra o transporte porta-a-porta

(Fremont, 2007) controlando assim os mais diversos operadores de todos os modos de transporte inclusive muitos portuários. Conhecidos os 20 principais terminais mundiais de contentores, e os 20 maiores armadores que são os seus clientes apresentam-se de seguida os vinte principais concessionários do mundo que servem os terminais de contentores.

Ranking	Operator	2008		2007	
		Million TEU	%Share	Million TEU	% Share
1	HPH	67.6	13.0	66.3	13.3
2	APMT	64.4	12.3	60.3	12.1
3	PSA	59.7	11.4	54.7	11.0
4	DPW	46.2	8.9	43.0	8.7
5	Cosco	32.0	6.1	27.3	5.5
6	MSC	16.2	3.1	14.4	2.9
7	Eurogate	13.2	2.5	13.2	2.7
8	Evergreen	10.3	2.0	10.4	2.1
9	HHLA	7.4	1.4	7.3	1.5
10	SSA Marine	7.4	1.4	7.7	1.6
11	CMA-CGM	7.0	1.3	4.9	1.0
12	Hanjin	5.7	1.1	5.8	1.2
13	Dragados	5.5	1.1	5.8	1.2
14	NYK Lines	5.5	1.1	5.4	1.1
15	APL	5.4	1.0	6.0	1.2
16	OOCL	3.9	0.7	3.1	0.6
17	ICTSI	3.8	0.7	3.2	0.6
18	K Line	3.4	0.6	3.2	0.7
19	MOL	3.2	0.6	3.4	0.7
20	Grup TCB	3.2	0.6	3.3	0.7

Fonte: <http://foreign.busanpa.com> (19/12/2011)

**Figura 15** - Os vinte maiores operadores portuários mundiais em 2010 (TEU x 10<sup>3</sup>).

É notável a escassez de empresas europeias, e de entre estas, o destaque vai para a *Dragados* de Espanha, que inclusive detém algum capital em empresas concessionárias de Portos em Portugal.

## 2.2 A Nível Europeu e Ibérico

Do excelente trabalho conduzido pelo Professor Théo Notteboom da Universidade de Antuérpia (ITMMA – *Institute of Transport and Maritime Management Antwerp*) que preparou o Relatório “*Report Serving as Input for the Discussion on the TEN-T Policy*”, para o Comité ESPO (*European Sea Port Organization*), denominado “*Economic Analysis of the European Seaport System*” (2009), logo na página 6, apresenta o ranking dos 15 maiores portos europeus e a evolução da movimentação de contentores no período 1985/2008.

in 1000 TEU								
R	1985	1995	2000	2005	2006	2007	2008	R
1	Rotterdam 2655	Rotterdam 4787	Rotterdam 6275	Rotterdam 9287	Rotterdam 9690	Rotterdam 10791	Rotterdam 10784	1
2	Antwerp 1243	Hamburg 2890	Hamburg 4248	Hamburg 8088	Hamburg 8862	Hamburg 9890	Hamburg 9737	2
3	Hamburg 1159	Antwerpen 2329	Antwerpen 4082	Antwerpen 6488	Antwerpen 7019	Antwerpen 8177	Antwerpen 8664	3
4	Bremen 986	Felixstowe 1924	Bremen 2793	Bremen 3736	Bremen 4450	Bremen 4892	Bremen 5448	4
5	Felixstowe 726	Bremen 1518	Gioia Tauro 2752	Algeciras 3161	Gioia Tauro 3245	Valencia 3445	Valencia 3597	5
6	Le Havre 566	Algeciras 1155	Gioia Tauro 2653	Algeciras 2937	Felixstowe 3080	Algeciras 3420	Gioia Tauro 3468	6
7	Marseille 488	Le Havre 970	Algeciras 2009	Felixstowe 2700	Gioia Tauro 2938	Felixstowe 3343	Algeciras 3324	7
8	Leghorn 475	La spezia 965	Genoa 1501	Le Havre 2287	Valencia 2612	Valencia 3043	Felixstowe (*) 3200	8
9	Tilbury 387	Barcelona 689	Le Havre 1465	Valencia 2100	Barcelona 2317	Le Havre 2638	Barcelona 2569	9
10	Barcelona 353	Southampton 683	Barcelona 1388	Barcelona 2096	Le Havre 2310	Barcelona 2610	Le Havre 2300	10
11	Algeciras 351	Valencia 672	Valencia 1310	Genoa 1625	Genoa 1657	Zeebrugge 2021	Marsaxlokk 2337	11
12	Genoa 324	Genoa 615	Piraeus 1161	Piraeus 1450	Zeebrugge 1653	Marsaxlokk 1900	Zeebrugge 2210	12
13	Valencia 305	Piraeus 600	Southampton 1064	Marsaxlokk 1408	Southampton 1500	Southampton 1869	Genoa 1767	13
14	Zeebrugge 218	Zeebrugge 528	Marsaxlokk 1033	Southampton 1395	Marsaxlokk 1485	Genoa 1855	Southampton (*) 1710	14
15	Southampton 214	Marsaxlokk 515	Zeebrugge 965	Zeebrugge 1309	Piraeus 1399	Constanza 1411	Constanza 1380	15
TOP 15	10450	TOP 15 20841	TOP 15 34698	TOP 15 50067	TOP 15 54217	TOP 15 61305	TOP 15 62695	
TOTAL Europe	17172	TOTAL Europe 33280	TOTAL Europe 51000	TOTAL Europe 73729	TOTAL Europe 79840	TOTAL Europe 89990	TOTAL Europe 90710	
Share R'dam	15%	Share R'dam 14%	Share R'dam 12%	Share R'dam 13%	Share R'dam 12%	Share R'dam 12%	Share R'dam 12%	
Share top 3	29%	Share top 3 30%	Share top 3 29%	Share top 3 32%	Share top 3 32%	Share top 3 32%	Share top 3 32%	
Share top 10	53%	Share top 10 54%	Share top 10 57%	Share top 10 58%	Share top 10 58%	Share top 10 58%	Share top 10 59%	
Share top 15	61%	Share top 15 62%	Share top 15 68%	Share top 15 68%	Share top 15 68%	Share top 15 68%	Share top 15 69%	

(\*) Estimate

Fonte: (Notteboom, 2009)

Figura 16 - Evolução entre 1985/2008 dos maiores portos europeus de contentores.

Na página 57 deste Relatório (Notteboom, 2009) aparece um mapa da Europa ocidental já nosso velho conhecido (o mapa da banana) e agora denominado “*The ‘blue banana’ in transition*”.



Fonte: (Notteboom, 2009)

Figura 17 - Blue banana in transition.

A banana tradicional aproxima agora a sua forma de uma outra nova, um bumerangue; isto como resultado das recentes extensões da União Europeia para a Europa Central e Oriental e dos investimentos significativos na região do Mediterrâneo (em particular, feitos pela Espanha).

A expansão da 'blue' banana também anda de mãos dadas com o desenvolvimento dos fluxos comerciais nas regiões do Báltico, Europa Central, Europa e América do arco latino (alongamento ao longo do litoral do sul da Espanha e do norte de Itália). Até agora, os portos do Norte, em Hamburgo particular, tinham sido os que mais beneficiaram do alargamento da EU, ao passo que novas oportunidades de desenvolvimento podem agora surgir para os sistemas portuários no Adriático, no Mar Negro e no Mar Báltico. Uma grande parte deste transporte está a ter lugar através da estrada, mas também inclui os modos ferroviário e fluvial (especialmente sobre o Rio Danúbio) os quais desempenham um importante papel no desenvolvimento do conjunto. A República Checa, Polónia, Eslovénia e Hungria têm fortes redes ferroviárias embora as redes viárias dos países do Leste Europeu, em geral, estejam ainda menos desenvolvidas. Constata-se, também, um importante aumento no transporte multimodal nestas infra-estruturas que está a ter lugar nas fronteiras entre a Europa Oriental e Ocidental em particular nas fronteiras com a Alemanha, o que parece óbvio e inevitável face à forte economia do motor europeu.

O *hinterland* (Dias, 2010) de Madrid, centro de gravidade ibérico e relevante plataforma de produção, serviços e consumo, constitui o extremo mais ocidental da “banana” agora transformada em “boomerang” que se alarga já na zona de Barcelona. Também não parece que tal constitua algo que não fosse espectável pelo menos desde há uma década, face ao dinamismo que os multi-portos, centrados no porto de Barcelona têm desenvolvido em linha, aliás, com a sua localização estratégica no mediterrâneo. Os *hinterland* locais e regionais continuam a ser a base de carga mais importante para os portos de contentores em toda a Europa, mesmo para os seus maiores portos *gateway* (Roso *et al.*, 2009).

No entanto, os portos com uma forte base assente na formação de carga local, mais cedo ou mais tarde serão tentados a aumentar a sua penetração para o interior através do aumento e melhoria da respectiva capacidade intermodal de oferta de maneira a aumentar a sua área de acção e captura. Tais fenómenos são por demais evidentes nos portos situados na zona da Flandres. Relativamente a contentores para destinos mais distantes verifica-se que certos portos de carga local já são beneficiários



interface (aduaneira, marítima, portuária), os tarifários praticados, a relação nem sempre fácil entre autoridades portuárias e os executivos municipais envolventes, a agressividade dos grupos ambientalistas relativamente às actividades dos portos, tudo junto, enfim, tem levado, a graves perdas de produtividade e prejuízos económicos.

Nestas condições o processo de concessão de cais e terminais aos privados emerge por motivação evidentemente económica, mas também para promover a libertação dos governos de pesados encargos financeiros e da gestão das operações e da movimentação de carga inerente à prestação de um serviço considerado «público».

Com o advento da globalização emergiu também o problema da competitividade a um nível muito mais alargado e vasto que antes. Este novo quadro veio colocar questões interessantes tais como a competição/colaboração, entre portos ou competição/complementaridade, ou tão só competição ou tão só complementaridade.

A competição faz-se hoje até sentir entre terminais dentro do mesmo porto, embora também entre terminais de diferentes portos tentando acompanhar os seus clientes nessa competição tal como aconselham as políticas comunitárias. Pode até dizer-se que é cada vez mais difícil não aceitar que a competição entre terminais se traduz em ganhos de eficiência com aumentos de produtividade.

Assim, apesar da natureza e variedade dos objectivos evocados para defender a posição da privatização portuária existe um núcleo duro de razões que está na base de todo o processo e de entre as quais se pode destacar uma essencial: a da integração dos portos no mercado do *shipping* e no interesse estratégico dos grandes armadores mundiais que já organizam cadeias porta-a-porta, chegando mesmo a assumir-se como operadores portuários em terminais dedicados ou assumindo parcerias estratégicas duradouras com operadores portuários específicos.

Tal significa reorientar a sua gestão na direcção do mercado e da satisfação dos clientes, ou seja, a não subordinação do sector portuário à burocracia dos estados, mas à vontade dos clientes/consumidores que são quem comanda ou puxa (*pull*) as novas cadeias de valor integradas e globais.

Poder-se-ia finalmente colocar a questão de saber se as autoridades portuárias devem por via da respectiva tutela do Estado colocar os portos do lado da oferta (transportes e obras públicas) se do lado da procura (economia) ou, ainda, face ao tempo e custo de construção das respectivas infra-estruturas portuárias e marítimas se não deverão estar, simultaneamente com a oferta e com a procura e como é que isso pode ser possível.

Ainda sobre a situação do sector portuário em Portugal, o quadro legal aponta para a concessão de serviço público consagrado por um contrato em que o primeiro outorgante é a administração portuária (autoridade portuária) e o segundo o respectivo concessionário; não se pode pois verdadeiramente falar em privatização mas de actividade exercida por privados por concessão de serviço público ou uso privativo com adjudicação, no primeiro caso, por concurso público internacional.

No entanto, apesar de tudo isto parecer simples, em Portugal, as taxas pagas pelos navios e pela carga vão muito para além do que estipulam os contratos de concessão entre as autoridades portuárias e os operadores de terminais. Com efeito, do DL 273/2000 de 9 de Novembro, conclui-se que as Autoridades portuárias, independentemente das taxas fixas e variáveis devidas pelo cumprimento dos contratos de concessão recebem mais algumas outras taxas através dos agentes de navegação: taxa de utilização do porto pela carga (TUP carga) paga pelo carregador (agente passivo) e taxa de utilização do porto pelo navio (TUP navio) paga pelo armador (agente passivo). Esta última é tratada pelos artigos 13º e seguintes do referido DL e, a outra, a da carga, pelos artigos 19º e seguintes. Refiram-se também as taxas de pilotagem também embolsadas pelas autoridades portuárias (artigo 22º).

Vários órgãos do Estado central vão aos portos obter importantes receitas, nomeadamente a Autoridade aduaneira (artigo 49º) e a Autoridade marítima (artigo 48º). Finalmente, muitas entidades privadas realizam negócios enquanto operadores portuários complementares de entre as quais se podem referir os reboques de navios (artigo 27º), de amarração e desamarração de navios (artigo 32º) ou até o fornecimento de víveres ou *ship chandlers* (SGL, 2003), combustíveis e outros apoios logísticos.

## 2.3 O Terminal de Contentores de Alcântara

A carga contentorizada é movimentada apenas na margem Norte do Porto de Lisboa, distribuída por três terminais: o de Alcântara, o de Santa Apolónia e o do Beato, que opera essencialmente navios de cabotagem, de e para as ilhas e inter-ilhas.

**Tabela 4 - Movimentação de mercadorias pelos portos nacionais de 2005- 2009.**

*Fonte: Dias (2005)*

<i>x 10<sup>6</sup> ton</i>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>LISBOA</b>	513	511	554	555	501
<b>LEIXÕES</b>	352	378	435	450	450
<b>SINES</b>	51	94	150	223	253
<b>AVEIRO</b>	0	0	0	0	0
<b>SETÚBAL</b>	13	16	12	20	23
<b>OUTROS</b>	9	10	11	10	13
<b>TOTAL</b>	<b>938</b>	<b>1009</b>	<b>1162</b>	<b>1258</b>	<b>1240</b>

Relativamente ao ano de 2010, a distribuição do movimento de contentores pelos respectivos terminais do porto de Lisboa é a que segue:

**Tabela 5 - Movimentação de contentores pelo porto de Lisboa em 2009**

*Fonte: Sítio da APL, estatísticas online (18/11/2011)*

<b>Designação</b>	<b>Nº Contentores</b>	<b>TEU</b>	<b>Toneladas (inclui Taras)</b>
Terminal de Contentores de Santa Apolónia	135.629	201.678	2.145.368
<b>Terminal de Contentores de Alcântara</b>	<b>148.784</b>	<b>231.764</b>	<b>2.368.941</b>
TML - Terminal Multiusos de Lisboa	43.011	62.640	537.602
Outros	9.854	16.707	125.560
<b>Total:</b>	<b>337.278</b>	<b>512.789</b>	<b>5.177.471</b>

Das entrevistas efectuadas ao concessionário ficou evidente que sendo os terminais de Alcântara e Sta.Apolónia da sua gestão conjunta, é do terminal de Alcântara que se alimenta e sobrevive o de Sta.Apolónia. Basta dizer que a profundidade do canal e do cais, a área de terraplano, bem como a distância à barra do rio Tejo transformam Sta.Apolónia num terminal dependente ou satélite do de Alcântara. Também existe o problema da distância (aprox. 30 milhas náuticas): uma embarcação a uma velocidade média de 7 nós demora cerca de 30 minutos a percorre-la. Ou seja, mais uma hora de viagem no total. De referir que essas 3 milhas tem tráfego

marítimo intenso a algumas horas do dia, o que pressupõe um aumento da perigosidade, um conhecido factor penalizador de prémios de seguro.



*Fonte:* Google earth (11/11/11)

**Figura 19** - Terminal de Contentores de Alcântara do porto de Lisboa.

As principais características deste terminal são as seguintes (Fonte: APL):

- ∴ Pórticos de cais – 3
- ∴ Área (ha) – 12
- ∴ Parque – 16
- ∴ Cais – 630 m
- ∴ TEU - 211828

Tais características serão mais adiante utilizadas aquando da aplicação do modelo DEA.

## Estudo do novo

# 3. Terminal de Contentores de Alcântara

---

Após a revisão da literatura onde se procurou estabelecer o actual Estado da Arte concernente à avaliação e optimização de desempenho, bem como do indispensável enquadramento marítimo-portuário, chegou o momento de aplicar a estrutura metodológica exposta mais atrás. A abordagem apresentada por Kelten (2009) será aplicada neste estudo, acrescida da adaptação da técnica DEA no bloco da Análise do Sistema.

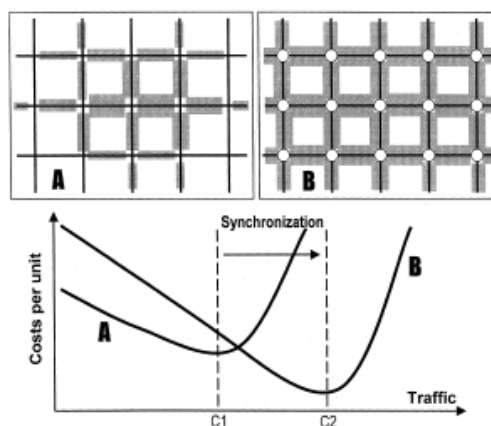
### 3.1 Unidades Decisoras

Na definição de optimização apresentada no Capítulo 2 podemos considerar implicitamente que os sistemas a optimizar não estão no seu *optimum*. Portanto, os sistemas estarão num estado inicial, e após serem executadas alterações de melhoria no mesmo, os sistemas passarão a um estado optimizado. Neste contexto, a avaliação da actual performance do Terminal de Contentores de Alcântara (TCA) não poderá ser deixada de parte.

Os terminais de contentores são considerados nós das redes logísticas globais, como refere Dias (2005), existindo ainda a distinção entre *hubs* e *feeders* conforme o seu posicionamento nas redes. Se tivermos em conta que as melhorias tecnológicas não permitiram uma significativa diminuição do tempo de trânsito das mercadorias, compreendemos que a eficiência dos transportes é principalmente alcançada nos terminais intermodais (Rodrigue, 1999). Nesta perspectiva, os terminais representam um importante papel na eficiência das redes de logísticas, e segundo Hesse e Rodrigue (2004) o conceito de impedância, ou o somatório de custos friccionais provocados pelos processos Logísticos e da distribuição física, devem ser observados por quatro vertentes distintas: os tradicionais custos de transporte, mas também a organização da cadeia de abastecimento, e os ambientes físicos e transaccionais em que a distribuição física está envolvida.

As operações portuárias devem ser consideradas como factores de impedância ligadas directamente ao ambiente físico. A natureza sistémica da Logística não permite que a Gestão ignore os outros três, pois também eles vão afectar a performance dos terminais. A optimização deverá ser apoiada em análises económicas e de *trade-offs*

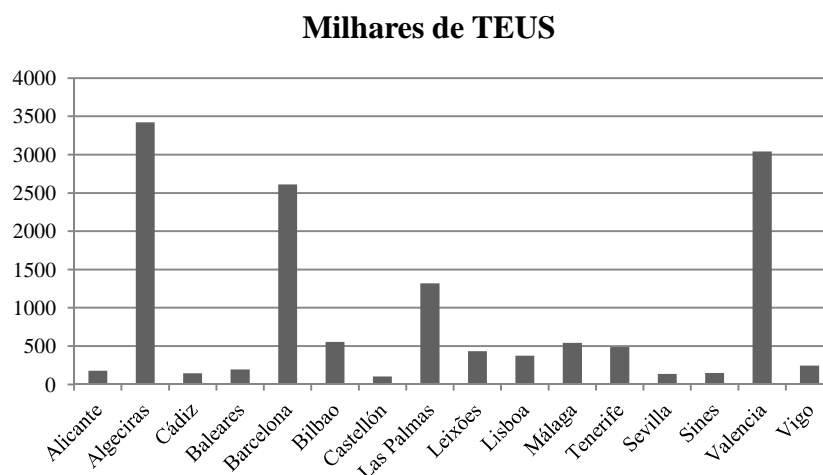
com o objectivo de achar o ponto óptimo entre tráfego e investimento, á semelhança do que acontece com o ponto de desamarração das cadeias de valor. A figura 20 ilustra este equilíbrio e relaciona-o com a dimensão da rede que se pretende otimizar.



Fonte: Rodrigue, J.P. (1999)

Figura 20 - Custo de transporte por unidade redes A e B.

O modelo de funcionamento dos portos da Península Ibérica é similar, ou seja, o Estado reclama os direitos de gestão destas áreas, e empossa as autoridades portuárias na organização e desenvolvimento das mesmas. As autoridades portuárias, em função do ambiente que as rodeia, concessionam a exploração de zonas ao sector privado. A circulação de bens e mercadorias depende da Economia Global e os portos ganham ou perdem relevo nas redes logísticas globais essencialmente em função da sua posição geográfica e respectivos *hinterlands*. A sua importância é geralmente avaliada pela quantidade de carga movimentada, quer em peso quer em TEU, o que pressupõe que a área abrangida pela actividade portuária tenha massa crítica económico-financeira capaz de gerar fluxos de bens e mercadorias suficientes para tornar o negócio portuário atractivo. Estas diferenças levam a que os portos sejam classificados como *hub's* ou *feeder's* de acordo com o livro branco para a politica marítimo-portuária, da MEPAT (1997), que sejam destinados a Transporte Marítimo de Curta Distancia (SSS) e/ou Transporte Marítimo de Longa Distancia (DSS), que tenham capacidade para fazer *transshipment*, e a suas infra-estruturas de intermodalidade. O cenário estudado por Gaspar (2001) apresenta e justifica a distribuição da influência gravítica de sete portos ibéricos, e as estatísticas recolhidas referentes ao ano de 2007 permitem concluir que o cenário pouco ou nada se alterou, excepto no crescimento da procura de movimentação de contentores. A figura apresenta os movimentos de contentores em 2007, em milhares de TEU, e para portos que apresentem um volume movimentado acima dos 100.000 TEU.



*Fonte: Quaresma Dias et al. (2009)*

**Figura 21** - Carga movimentada nos principais Portos da Península Ibérica em 2007.

Em termos geográficos, regista-se uma menor distância entre os portos Atlânticos, com o Porto de Bilbao isolado no Norte. Na costa Mediterrânica, o Porto de Algeciras também isolado, agora a Sul, e dois grandes portos umas boas milhas marítimas a Oriente de Gibraltar.



*Fonte: Autor*

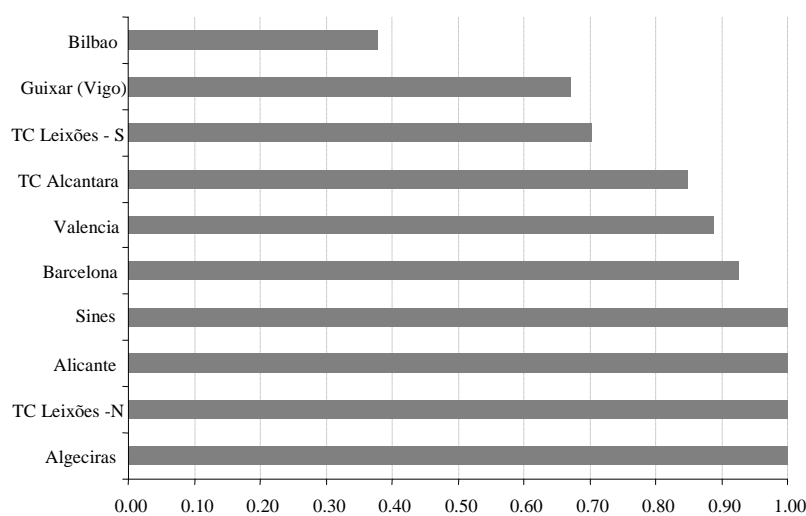
**Figura 22** - Principais portos ibéricos.

No entanto existem alguns portos que têm mais que um terminal de contentores e que estão concessionados a empresas diferentes. Também a natureza dos terminais pode ser diversa e devido a este facto foi ajustado o valor das variáveis, de forma a contabilizar apenas os terminais de contentores. Após a consulta dos sítios das administrações portuárias apresenta-se na tabela, os terminais avaliados e os respectivos portos.

**Tabela 6** - Conjunto das unidades de decisoras.

<b>Porto</b>	<b>Terminal</b>	<b>Ref<sup>a</sup></b>
Algeciras	Juan Carlos I (Terminal 2000) e Isla Verde (TCA)	DMU1
Barcelona	Sul (TCBCN) e Príncipe d'Espanya (TerCat)	DMU2
Valencia	Principe Felipe (Marvalsa) e Levante (TCV)	DMU3
Bilbao	Santurzi-Zierbena A1 e A2 (TMB)	DMU4
Vigo	Guixar (Termavi)	DMU5
Alicante	Alicante (TCAALC)	DMU6
Lisboa	Alcântara (Liscont)	DMU7
Leixões	Sul (TCL)	DMU8
Leixões	Norte (TCL)	DMU9
Sines	Terminal XXI (PSA)	DMU10

O estudo de *Benchmarking* apresentado por Dias *et al.* (2009) utiliza a metodologia DEA com análise recursiva de dados relativamente às operações portuárias dos principais terminais de contentores da Península Ibérica. A figura 23 apresenta os resultados obtidos,

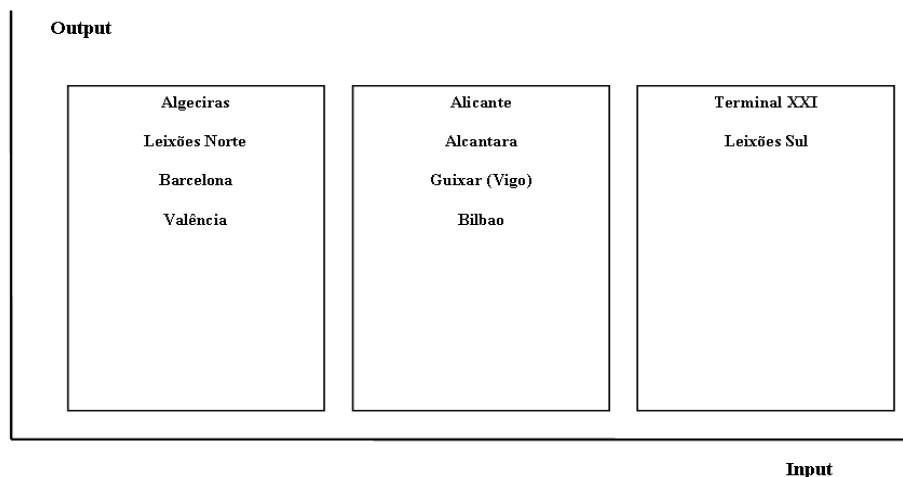


Fonte: Dias *et al.* (2009)

**Figura 23** – Resultados da análise de eficiência.

A metodologia DEA quando utilizada em conjunto com técnicas de análise recursiva de dados permite obter resultados mais objectivos na classificação das DMU, neste caso os terminais de contentores Ibéricos, e identificar claramente qual o terminal mais eficiente seguinte. Será conveniente referir que a análise foi orientada para as saídas com retorno variável de escala, conforme recomendado por Sharma e Yu (2009), com dados relativos ao ano de 2007.

A figura apresenta o arranjo dos terminais de contentores da Península Ibérica segundo a sua eficiência, e identificamos o Terminal de Contentores de Alicante como referência de melhoria do TCA.



Fonte: Dias et al. (2009)

**Figura 24** - Eficiência dos Terminais Contentores da Península Ibérica.

Para além desta análise, este método permite também uma outra denominada: *Improvement Path* (IP) ou Caminho de Melhoria (CM). Esta análise permite identificar quais as entradas mais ineficientes, face às das DMU eficientes, e atribui-lhe qual o valor que deverá ter para ser considerada eficiente, ficando assim sobre a fronteira determinada pelo método DEA. A utilização desta metodologia permite identificar quais serão, segundo a eficiência, as entradas com menor desempenho, e na minha proposta, as que devem ser objecto de optimização.

As entradas menos eficientes remetem-nos para o “factor crítico” como atrás foi referido: quais as variáveis utilizadas neste estudo? No fundo, qual a origem destes valores de eficiência.

### **3.2 Variáveis e Parâmetros do Sistema**

A conferência da UNCTAD de 1976 (UNCTAD, 1976) pode ser considerada a génese da uniformização dos indicadores de performance portuários, e é manifestamente um ponto de referência para os investigadores desta área. No seu texto são sugeridos vários indicadores para avaliar a performance operacional e financeira dos mesmos. As tradicionais formas de abordagem ao desempenho portuário, tal como a síntese cronológica de estudos publicados sobre o tema, assim como os seus conceitos

associados apresentadas por Marlow e Casaca (2003) sintetizam os estudos durante esse período. Com a evolução do próprio conceito de Logística, em que os respectivos operadores são classificados segundo o seu nível de intervenção na Cadeia de Abastecimento, e que em última instância são designados por *Transport Service Providers* (TSP) facilmente percebemos que avaliar o nível eficiência destas entidades não se resume a aspectos quantitativos, mas serão necessários indicadores qualitativos conforme (Antao *et al.*, 2005). No entanto, o âmbito deste estudo é mais reduzido e centra-se exclusivamente na movimentação de contentores num terminal, naquilo que é entendido como *handling*.

Neste sentido, e em consonância com vários estudos existentes nesta área ((Roll and Hayuth, 2006); (Tongzon, 2001); (Turner *et al.*, 2004); (Cullinane *et al.*, 2004); (Sharma and Yu, 2009), no presente são objecto de avaliação os indicadores apresentados na tabela 7.

**Tabela 7** – Indicadores utilizados no estudo.

*Fonte:* Dias *et al.* (2009)

<b>Indicador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ref<sup>a</sup></b>
Número total de pórtilhos de mar [Un.]	Input	E1
Número de funcionários [Un.]	Input	E2
Área do terminal [ha]	Input	E3
Número de tractores [Un.]	Input	E4
Número total de equipamentos de pátio [Un.]	Input	E5
Comprimento total do terminal [m]	Input	E6
TEU's [Un.]	Output	S1
Movimento contentores por navio por hora [Un.]	Output	S2

Considerando o que foi referido anteriormente, o número total de unidades a comparar deverá ser de dezasseis. Os valores de eficiência apresentados dizem respeito a dez unidades. De facto, foram apenas contempladas as variáveis E1, E3, E5, E6, S1.

O número de funcionários, o número de tractores e o movimento contentores por navio por hora foram impossíveis de registar para todos os terminais avaliados, dada a sua indisponibilidade nos meios consultados e pela falta de resposta dos contactados.

As variáveis utilizadas apresentam algumas nuances que devem ser tidas em conta na avaliação dos resultados, nomeadamente:

1. *Número de Pórticos de mar*: não distingue o tipo (PANAMAX (12~13), POST-PANAMAX (18), SUPER POST-PANAMAX (+22))
2. *Área do terminal*: não distingue as condições do pavimento; não existe precisão na informação da área de estacionamento efectiva.
3. *Número total de equipamentos de pátio*: não distingue os diferentes tipos de equipamentos Transtainers, RTG, Stradle Carriers, Reach Stackers, Fork Lifts;
4. *Comprimento total do terminal*: não distingue as condições de atracagem; não distingue os calados;
5. *TEU*: não distingue o número de navios estivados; não distingue o peso de cada contentor.

### ***3.3 Avaliação do novo Terminal de Contentores de Alcântara***

Neste sentido, podemos considerar um segundo cenário para procurar obter resultados que permitam responder às seguintes questões: Qual será o nível de eficiência espectável do novo TCA face aos seus concorrentes ibéricos? Qual ou quais as estruturas operacionais passíveis de melhoria?

#### **3.3.1 Construção do modelo de avaliação**

A argumentação para a utilização de modelos de retorno variável de escala (RVE) nos anteriores estudos de eficiência em terminais de contentores é adequada aos propósitos. No entanto, na orientação do modelo será interessante comparar os resultados dado que no caso de:

1. **Minimização das entradas** – a análise dos resultados terá em conta que dados os correntes níveis de saídas que a unidade produz, quanto é que seria possível reduzir as entradas, mantendo os níveis correntes de saídas.
2. **Maximização das saídas** – a análise dos resultados terá em conta que dados os actuais valores de entradas na unidade, quais os níveis de saídas máximos que se podem atingir.

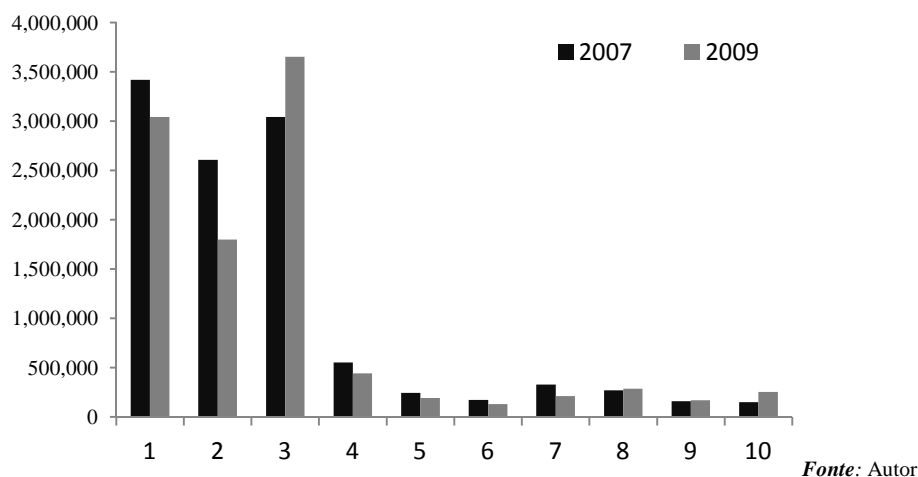
As DMU consideradas neste estudo são onze, todas elas concorrentes no *hinterland* ibérico. Uma das unidades é virtual, isto é, o novo TCA. Ou seja, dez das Unidades constituem o grupo de teste, ou os Benchmarks, com o qual serão comparados as variáveis de entrada e saída apresentadas nos planos de expansão do novo TCA.

O grupo de teste será formado pelos terminais considerados no estudo de Dias *et al.* (2009). Os dados são relativos ao ano de 2009, e as variáveis consideradas são idênticas ao referido estudo. Os dados relativos ao novo TCA foram disponibilizados pelo actual concessionário, enquanto a outra recolha dos valores para os restantes terminais foi feita através da consulta dos sítios das várias Entidades envolvidas no negócio.

Os dados foram recolhidos pela mesma via (consulta dos sítios das autoridades portuárias, e dos terminais) durante os meses de Março e Abril do ano de 2011. Foram

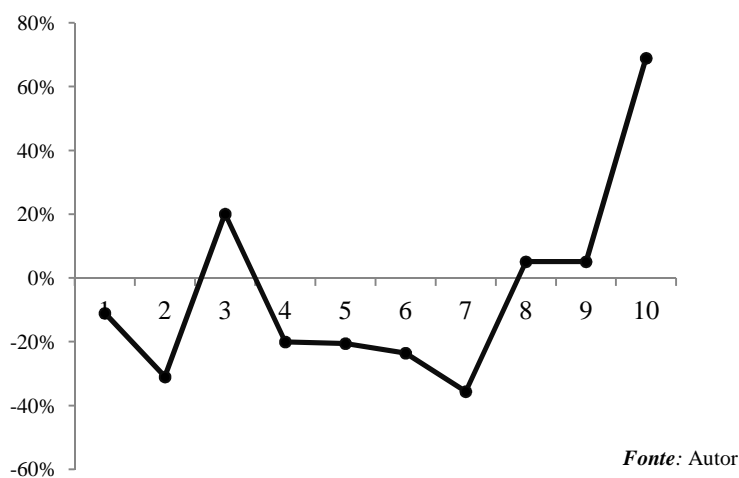
enviados questionários (anexo 2) para os endereços de contacto público desses mesmos sítios, com o objectivo de aumentar o número de dados de entrada e saída (conforme as recomendações do estudo de 2007 – anexo 3). Apenas se obteve uma resposta incompleta... finalizado com a seguinte referência: “It is not customary for us to answer these type of questions but on this occasion we shall make an exception.”

Será importante verificar as alterações ao nível das saídas entre os anos de 2007 e 2009 com o auxílio do gráfico da figura 24.



**Figura 25** – Comparação TEU movimentados em 2007 e 2009.

Refira-se que existiu uma variação negativa de 7% no valor total de movimentos nos terminais abrangidos pelo estudo. A figura 26 mostra que apenas 4 dos terminais aumentaram o seu volume de movimentação de carga, com Sines e Valência em evidência. Pela negativa, os terminais de Algeciras e Barcelona apresentam quebras significativas.



**Figura 26** – Variação de TEU (%) movimentados em 2007 e 2009.

A tabela 8 apresenta as unidades a serem avaliadas pelo método DEA,

**Tabela 8** – Conjunto original das DMU avaliadas.

<b>Porto</b>	<b>Terminal</b>	<b>Ref<sup>a</sup></b>
Algeciras	Juan Carlos I (Terminal 2000) e Isla Verde (TCA)	<i>DMU1</i>
Barcelona	Sul (TCBCN) e Príncipe d'Espanya (TerCat)	<i>DMU2</i>
Valência	Príncipe Felipe (Marvalsa) e Levante (TCV)	<i>DMU3</i>
Bilbao	Santurzi-Zierbena A1 e A2 (TMB)	<i>DMU4</i>
Vigo	Guixar (Termavi)	<i>DMU5</i>
Alicante	Alicante (TCAALC)	<i>DMU6</i>
Lisboa	Alcântara (Liscont)	<i>DMU7</i>
Leixões	Sul (TCL)	<i>DMU8</i>
Leixões	Norte (TCL)	<i>DMU9</i>
Sines	Terminal XXI (PSA)	<i>DMU10</i>
<b>Lisboa</b>	<b>Nova Alcântara (Liscont)</b>	<b><i>DMU11</i></b>

As variáveis consideradas,

**Tabela 9** – Conjunto das variáveis consideradas.

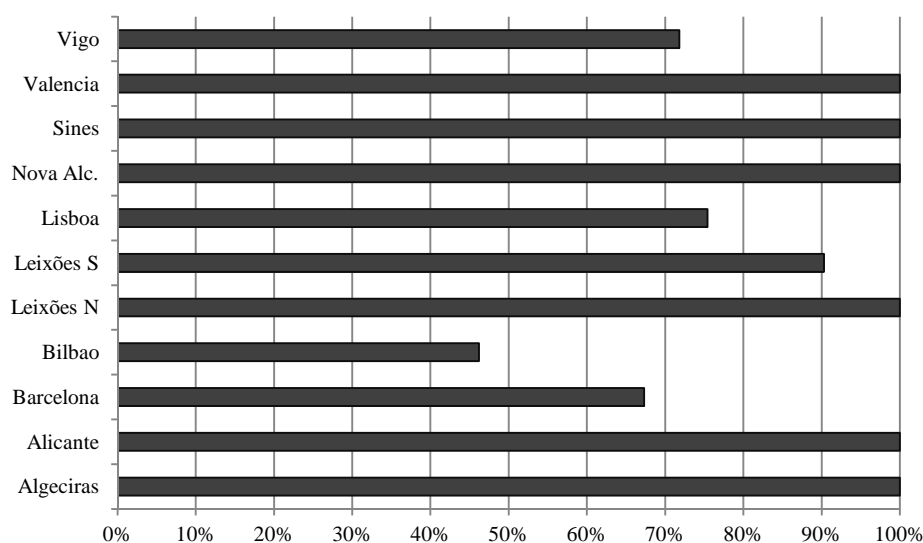
<b>Indicador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ref<sup>a</sup></b>
Número total de pórtricos de mar [Un.]	Input	<i>E1</i>
Área do terminal [ha]	Input	<i>E3</i>
Número total de equipamentos de pátio [Un.]	Input	<i>E5</i>
Comprimento total do terminal [m]	Input	<i>E6</i>
TEU [Un.]	Output	<i>S1</i>

A tabela seguinte apresenta a MEC,

**Tabela 10** – MEC a implementar o algoritmo DEA-RVE.

	<b>Pórtricos</b>	<b>Área</b>	<b>Parque</b>	<b>Cais</b>	<b>TEU</b>
Algeciras	21	86,6	68	2804	3042782
Barcelona	21	97,6	115	2480	1800662
Valência	23	143,0	117	3100	3653890
Bilbao	8	49,0	28	1500	443464
Vigo	3	13,0	16	760	193921
Alicante	2	6,8	9	354	132059
Lisboa	3	12,0	16	630	211828
Leixões Sul	3	16,0	17	540	285977
Leixões Norte	2	6,0	5	360	168526
Sines	3	18,0	6	380	253495
<b>Novo TCA</b>	<b>7</b>	<b>27,3</b>	<b>17</b>	<b>1130</b>	<b>910000</b>

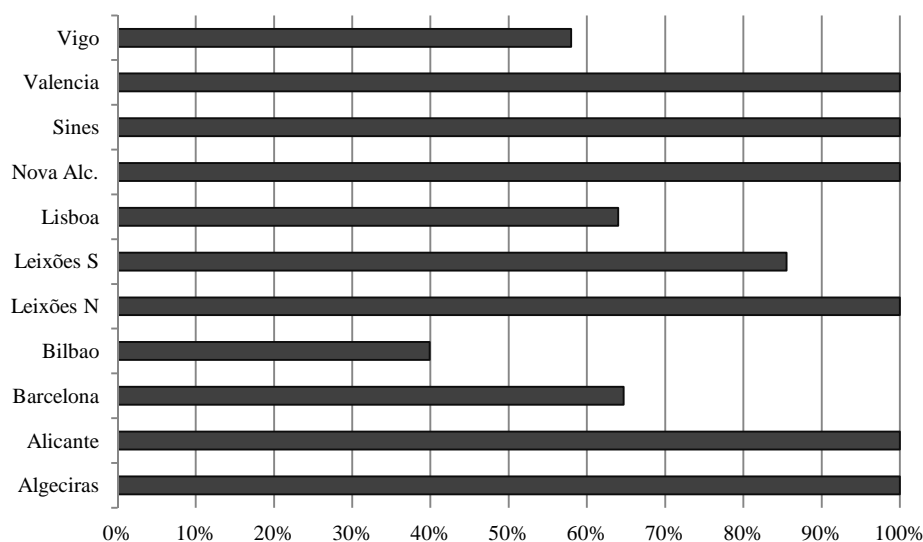
### **3.3.2 Resultados modelo BCC, radial, minimizar entradas (2009)**



**Figura 27** – Resultados modelo BCC orientado para entradas.

As unidades Algeciras, Alicante, Leixões Norte, Nova Alcântara, Sines e Valência são eficientes. Neste modelo os resultados de 2009 do actual TCA ficam um pouco acima dos 70%.

### **3.3.3 Resultados modelo BCC, radial, maximizar saídas (2009)**



**Figura 28** - Resultados modelo BCC orientado para saídas.

Como se pode verificar as unidades eficientes são as mesmas, mas a orientação para as saídas, revela que as unidades ineficientes têm resultados mais penalizadores na sua eficiência.

### **3.3.4 Modelo de avaliação otimizado**

Os resultados obtidos com o conjunto de dados relativos ao desempenho das unidades no ano de 2009 mostram que o novo TCA se encontra localizado na linha da fronteira de eficiência, o que impossibilita desde já a obtenção de directivas para a optimização vertical a efectuar no modelo de simulação do terminal.

Como foi referido, o ano de 2009 teve uma quebra de 7% na movimentação de TEU, o que pressupõe que em 2007, com as mesmas entradas foram obtidas saídas superiores, nomeadamente naqueles terminais que estão abaixo da linha de água na figura 26. Portanto, para termos um modelo mais exigente em termos de avaliação podemos pensar numa MEC que contenha um *mix* optimizado de unidades de referência.

**Tabela 11** – MEC com *mix* dos melhores resultados dos anos 2007 e 2009.

	<b>Pórticos</b>	<b>Área</b>	<b>Parque</b>	<b>Cais</b>	<b>TEU</b>
Algeciras	17	86,6	39	2970	3420533
Barcelona	21	93,3	107	2484	2610100
Valência	23	143,0	117	3100	3653890
Bilbao	15	46,7	18	1527	554558
Vigo	3	18,0	7	769	244065
Alicante	2	6,8	15	354	172729
Lisboa	3	12,0	16	630	329000
Leixões Sul	3	16,0	17	540	285977
Leixões Norte	2	6,0	5	360	168526
Sines	3	36,4	6	380	253495
<b>Novo TCA</b>	<b>7</b>	<b>27,3</b>	<b>17</b>	<b>1130</b>	<b>910000</b>

### **3.3.5 Modelo BCC, radial, orientado para minimizar entradas**

Os resultados mostram que o novo TCA estava no limiar da sua eficiência relativamente aos dados de 2009, dado que nesta nova avaliação apresenta um resultado ligeiramente inferior a 90%, sendo inclusivamente superado pelo desempenho de 2007 do referido terminal.

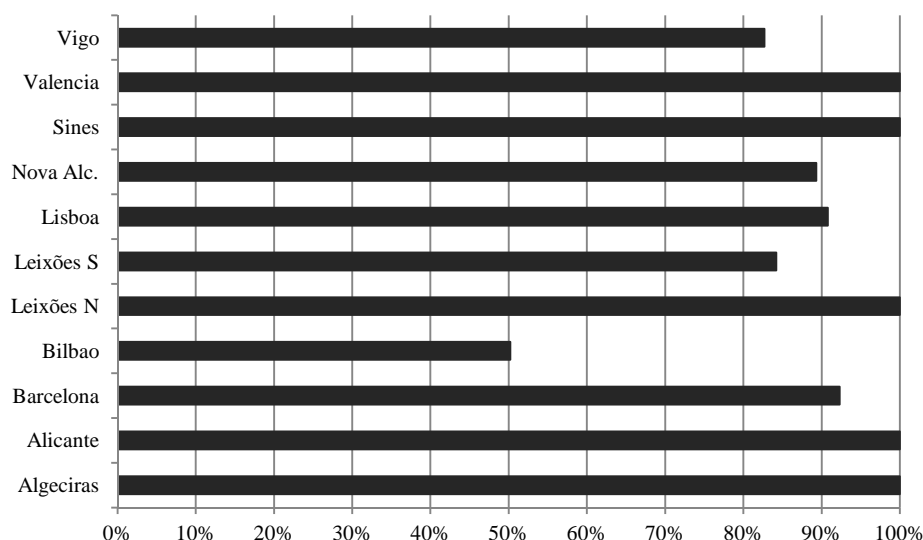


Figura 29 – Resultados modelo otimizado orientado para entradas.

### 3.3.6 Caminho de Melhoria do novo TCA (min. entradas)

Estes resultados permitem então identificar quais os indicadores que penalizam o desempenho teórico do novo TCA. A figura 30 mostra que existe um sobredimensionamento dos equipamentos de movimentação de carga.

#### **89,29% Nova Alc.**

##### *Potential Improvements*

Variable	Actual	Target	Potential Improvement
Area	27,30	24,38	-10,71 %
Cais	1130,00	955,09	-15,48 %
Parque	17,00	12,75	-24,99 %
Porticos	7,00	5,42	-22,57 %
TEU's	910000,00	910000,00	0,00 %

##### *Peer Contributions*

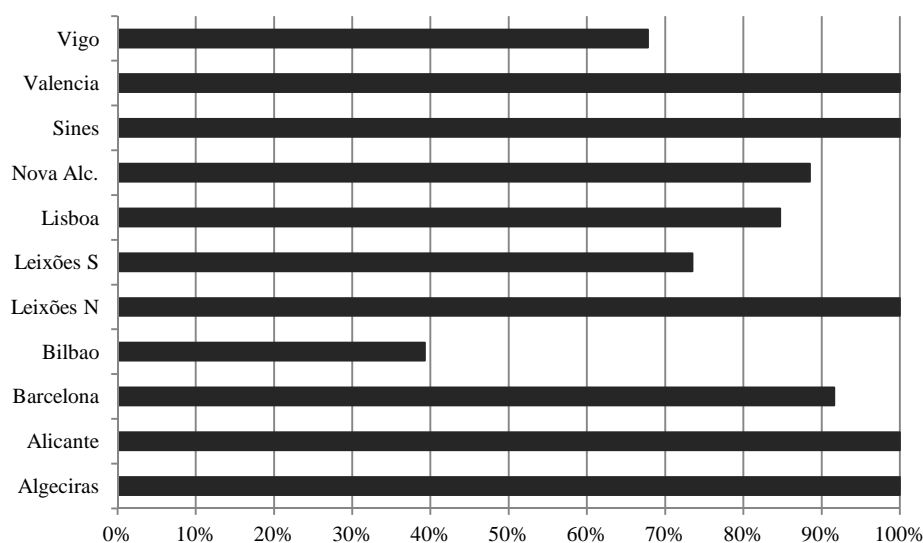
Algeciras	Area	81,00 %
Algeciras	Cais	70,90 %
Algeciras	Parque	69,73 %
Algeciras	Porticos	71,51 %
Algeciras	TEU's	85,70 %
Leixões N	Area	19,00 %
Leixões N	Cais	29,10 %
Leixões N	Parque	30,27 %
Leixões N	Porticos	28,49 %
Leixões N	TEU's	14,30 %

##### *Input / Output Contributions*

Area	100,00 %	Input
Cais	0,00 %	Input
Parque	0,00 %	Input
Porticos	0,00 %	Input
TEU's	100,00 %	Output

Figura 30 – Caminho de melhoria do novo TCA orientado para entradas

### 3.3.7 Modelo BCC, radial, orientado para maximizar saídas



**Figura 31** - Resultados modelo otimizado orientado para entradas.

Os resultados apresentam a mesma tendência penalizadora nos índices de eficiência das unidades já verificada com o conjunto de dados relativa ao ano de 2009.

### 3.3.8 Caminho de Melhoria do novo TCA (max. saídas)

#### **88,53% Nova Alc.**

##### *Potential Improvements*

Variable	Actual	Target	Potential Improvement
Area	27,30	27,30	0,00 %
Cais	1130,00	1049,74	-7,10 %
Parque	17,00	13,99	-17,73 %
Porticos	7,00	5,96	-14,80 %
TEU's	910000,00	1027927,35	12,96 %

##### *Peer Contributions*

Algeciras	Area	83,83 %
Algeciras	Cais	74,77 %
Algeciras	Parque	73,70 %
Algeciras	Porticos	75,33 %
Algeciras	TEU's	87,94 %
Leixões N	Area	16,17 %
Leixões N	Cais	25,23 %
Leixões N	Parque	26,30 %
Leixões N	Porticos	24,67 %
Leixões N	TEU's	12,06 %

##### *Input / Output Contributions*

Area	100,00 %	Input
Cais	0,00 %	Input
Parque	0,00 %	Input
Porticos	0,00 %	Input
TEU's	100,00 %	Output

**Figura 32** - Caminho de melhoria do novo TCA orientado para saídas.

Neste caso, o comprimento do cais, o número de pórticos e de equipamentos de parque está a penalizar o desempenho do futuro terminal. Enquanto a área está sobre a linha de eficiência face às unidades utilizadas neste modelo.

**Tabela 12** – Resumo da avaliação DEA

	<b>Minimizar entradas</b>			<b>Maximizar saídas</b>		
	Actual	Objectivo	Potencial de Melhoria	Actual	Objectivo	Potencial de Melhoria
Área	27,3	24,4	<b>-10,7%</b>	27,3	27,3	<b>0,0%</b>
Cais	1130	955	<b>-15,5%</b>	1130	1050	<b>-7,1%</b>
Parque	17	12,7	<b>-25,0%</b>	17	14	<b>-17,7%</b>
Pórticos	7	5,4	<b>-22,6%</b>	7	6	<b>-14,8%</b>
TEU	910000	910000	<b>0,0%</b>	910000	1027927	<b>13,0%</b>

A tabela 12 mostra que no caso da minimização das entradas, os equipamentos de movimentação de carga estão sobredimensionados em cerca de 25%. Embora o comprimento do cais embora apresente um potencial de melhoria inferior também poderá ser mais reduzido. No caso da maximização de saídas, o modelo mostra que o novo TCA ficará com uma folga de 13% na movimentação de TEU. Os equipamentos de movimentação de carga vão ter uma taxa de ocupação inferior á registada no ano de 2007, no mesmo terminal.

Perante este cenário podemos afirmar que os esforços de optimização vertical do novo TCA devem ser direccionados para as operações de movimentação de carga. Para além de existir um sobredimensionamento dos referidos, os custos desta maquinaria são elevados, e segundo o concessionário representam 50% no total do investimento a efectuar, dado existirem poucas obras no cais.

### ***3.4 Modelo de simulação do novo TCA***

Com base no fluxograma da figura 5, chegou o momento de construir um modelo de simulação do novo TCA. A figura 10 mostra que existe retro alimentação nas fases iniciais deste processo, ou seja, um reequacionar do problema até serem validados os objectivos da modelação. Conclui-se portanto, que o primeiro passo será o de validar os objectivos do modelo antes de entrar no passo de modelação propriamente dito.

Na secção 3.3, os resultados da avaliação do novo TCA mostram que existe espaço para a melhoria nas operações navio-terra, nas operações do terminal, e no comprimento do cais de atracação. Estas três variáveis incluídas no modelo de avaliação devem agora estar visíveis no modelo de simulação. Os objectivos de melhoria sugeridos pela aplicação do modelo DEA, que permitirá que a unidade se situe na fronteira de eficiência, são outra informação importante a ter em conta, na óptica do Autor. No fundo, perceber como reage o modelo, e quais os parâmetros a alterar, para que a unidade se desloque tendencialmente para a linha de eficiência.

Portanto, o modelo apresentado tem como objectivo: determinar os níveis de serviço a atingir, através da simulação de processos discretos, para que a unidade seja considerada eficiente face à avaliação efectuada pelo método DEA. Os níveis de serviço referidos são identificados na forma do valor dos parâmetros dos blocos utilizados na implementação do modelo. Por último, os valores considerados como sendo os objectivos são os que dizem respeito á maximização de saídas.

#### **3.4.1 Modelação do problema**

Dos vários trabalho de modelação e simulação de terminais de contentores enumerados por Silva (2007), destacam-se os estudos de Nam *et al.* (2002) e Henesey *et al.* (2004) por tratarem especificamente do objectivo validado. A consulta do sítio do *Institute of Shipping Economics and Logistics* (ISL) ([www.isl.org](http://www.isl.org)) também disponibiliza informação relativa sobre a modelação de terminais.

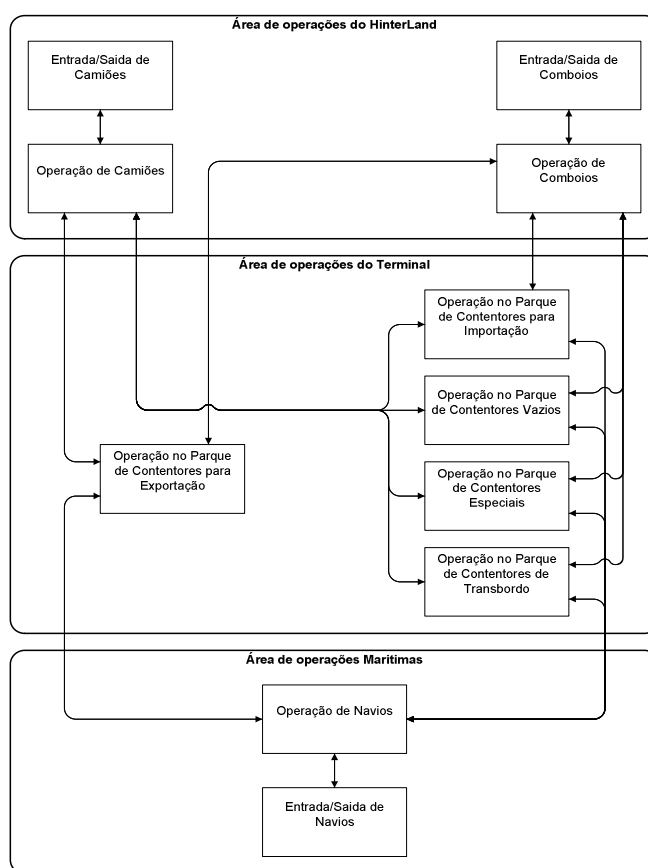
O estudo de Nam *et al.* (2002) analisa a dimensão óptima de um terminal de contentores em termos de comprimento de cais e o número de pórticos de cais atribuído a cada navio. A simulação foi efectuada conforme quatro cenários diferentes, representando quatro padrões de operação diferentes. Os resultados revelaram que o

aumento do comprimento de cais, assim como partilhar pórticos de cais ao longo de todo o comprimento, aumenta a produtividade do terminal.

O estudo de Henesey *et al.* (2004) analisa a atribuição de cais através de técnicas de simulação. Propõe o BAMS (*Berth Allocation Management System*) que  constituído por duas componentes: um simulador do TC e um simulador administrativo. Em conjunto, as duas componentes desenvolvem planos de alocação dos pórticos de mar para os navios atracados.

São analisadas duas políticas de amarrações diferentes para diversos cenários de chegadas de navios, abordando diferentes comprimentos de cais, diferentes espaços entre navios e diferentes taxas de chegada de navios. As políticas são avaliadas em termos de tempo de serviço e distâncias percorridas pelos transportadores. Os resultados indicam que a administração dinâmica do cais proporciona um melhor uso dos recursos, melhorando ambos os aspectos acima mencionados.

A figura 33 mostra o esquema genérico de operações num terminal intermodal de contentores, onde se podem identificar três zonas distintas: *Hinterland*, Terminal e Marítimas.



Fonte: Silva (2007)

**Figura 33** – Esquema das operações num terminal intermodal de contentores.

Ainda segundo Silva (2007), as operações marítimas são as que vão ditar o ritmo de operação existente num terminal intermodal. Este aspecto reflecte a importância que os armadores têm para o porto. Ter uma produtividade elevada associada a um tempo de espera reduzido é nos dias de hoje questões cada vez mais importantes e passíveis de serem avaliadas e analisadas.

As operações marítimas no TCA iniciam-se quando um navio avisa a APL da sua chegada. Geralmente requisita rebocadores e piloto, e fica então a aguardar na entrada da barra pela sua chegada para coordenar a sua navegação no estuário do Tejo e posterior atracagem no terminal. Caso o terminal não tenha posto de acostagem livre no cais de destino fica a aguardar à entrada da barra. O cais de destino é o local que o concessionário indica ao navio para ele atracar, e no caso do actual TCA, existem cabeças de amarração ao longo dos 630 metros de linha de cais. Nesta linha, segundo o concessionário, podem estar 3 navios *feeder* ou dois um pouco maiores.

A periodicidade da chegada de navios á entrada da barra é outra questão pertinente. No contexto da carga contentorizada, os operadores organizam-se em serviços regulares devido á grande dispersão de clientes que utiliza o mesmo navio. O interlocutor do concessionário utilizou a imagem do mercado dos transportes passageiros como imagem para explicar a diferença entre carga contentorizada e carga a granel. O operador traça uma rota de uma carreira que disponibiliza um serviço de transporte com determinado percurso e regularidade. Os passageiros com diferentes origens, destinos e regularidade adaptam-se á oferta. Do lado da procura, o operador poderá também criar novas carreiras, face as alterações do mercado, e com isto criar uma rede de transporte. Por outro lado, os autocarros turísticos só têm um cliente, portanto com rota e periodicidade definidos pelo mesmo. Neste sentido, as linhas de carga contentorizada tem geralmente uma periodicidade semanal, e nalguns casos quinzenal. Também existem rotas sazonais, como por exemplo as de transporte de fruta da América do Sul.

Na fase seguinte, depois do navio atracar no cais, inicia-se a operação de estivagem do navio de acordo com o manifesto de carga. Este documento contém vários elementos relevantes para a movimentação de contentores entre Navio e Parque. Esta movimentação é executada pelos pórticos de cais (que asseguram a ligação navio cais) e pelos *trailers* (que movimentam a carga entre o cais e o parque). A caracterização deste processo no actual enquadramento do TCA, segundo o concessionário é o seguinte: o número médio de movimentos por escala ronda os 200 movimentos, e em 95% dos

casos situa-se entre os 150 a 250 movimentos. De referir, que existem casos que podem ser 80, e noutros 450, e já se fizeram mais de 1000 num navio. Estes movimentos podem ser descritos como 47% importação e 30% vazios. De referir que o terminal dispõe de 250 tomadas para contentores *reefer*.

Os pórticos fazem uma média de 23 movimentos por hora. Existem outros terminais que ultrapassam os 35 movimentos por hora, numa média anual. Para minimizar as esperas dos pórticos, os *trailers* organizam-se segundo uma tática de *double cycle* (DC).

Os trailers fazem o seu percurso entre as zonas especificadas para a localização dos contentores segundo as seguintes categorias: Importação; Exportação; Vazios e *Reefers*. A figura seguinte mostra a sua localização no actual TCA.



**Figura 34** - Areas armazenamento TCA.

Depois de estivado, o navio aguarda pelo piloto e rebocadores. Após a sua chegada, os serviços de amarração libertam o navio para ele zarpar.

O alargamento do terminal tem como objectivo aumentar a movimentação de TEU, e este risco comercial é acompanhado de uma estratégia comercial para captar linhas que utilizem o novo TCA. Portanto, é difícil nesta fase estar a especular sobre como esse aumento vai ser conseguido: ou por aumento do número de navios com uma baixo número de movimentos, ou por um aumento de navios com um grande número de movimentos. Quer num caso, quer no outro, as táticas passam por um aumento dos movimentos de *transhipment* ou um alargamento do *hinterland* do terminal.

### 3.4.2 Implementação do Modelo

De acordo com Silva (2007) foram necessários 7 meses para implementar as operações do terminal de contentores de Sines na aplicação *Arena Simulation*. Conforme foi referido atrás, a adaptabilidade dos modelos é uma das principais vantagens dos estudos de simulação. Nesta medida vão ser utilizados dois modelos genéricos disponíveis como exemplos na referida aplicação para implementar o modelo descrito acima. Ou seja, o autor propõe que seja utilizado um novo modelo a partir de outros dois já existentes, alterando os parâmetros e variáveis do sistema de acordo com as características do atual TCA e do novo TCA conforme os objetivos estabelecidos anteriormente.

O primeiro modelo refere-se ao exemplo *port modeling concepts*, e o segundo ao *container harbour logistics*. O primeiro modelo implementa as operações do navio até à sua chegada ao cais, e a sua posterior saída do porto. O segundo simula as operações do navio quando está atracado. Os diagramas lógicos dos modelos são,

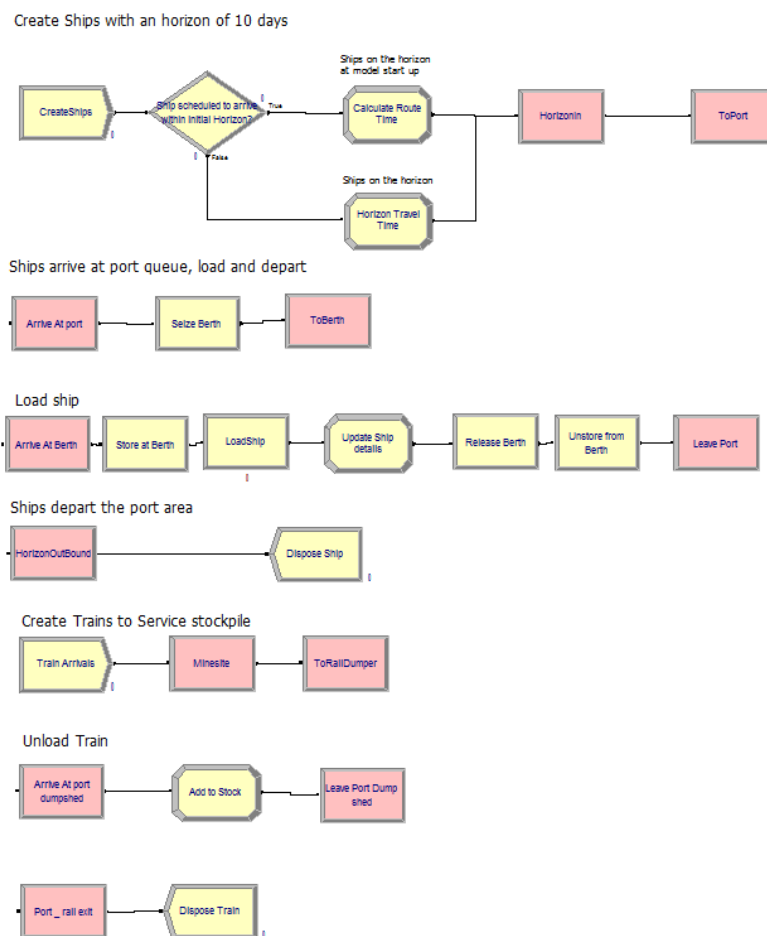
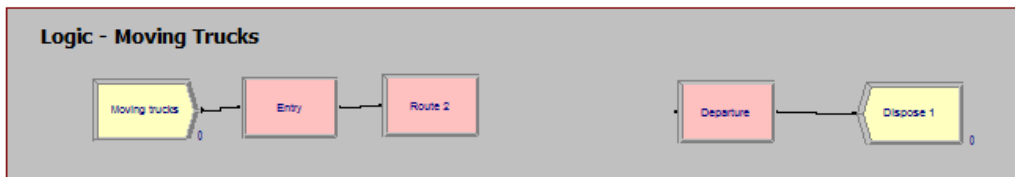
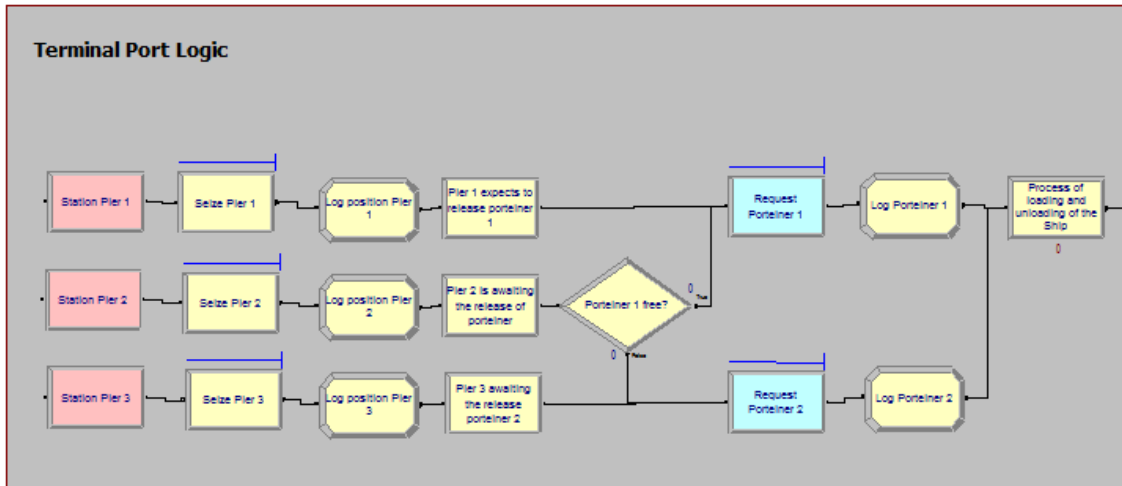
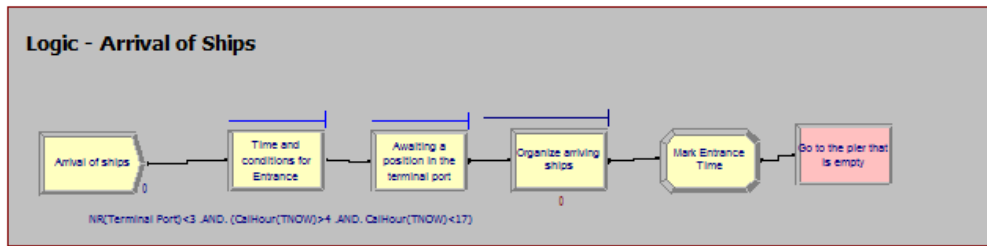


Figura 35 - Diagrama lógico: *port modeling concepts*.



**Figura 36 - Diagrama lógico: container harbour logistics.**

O diagrama lógico utilizado na simulação das operações encontra-se em anexo.

### **3.4.3 Simulação e resultados**

Após as adaptações feitas ao modelo de Simulação não foi possível obter resultados relevantes face ao objectivo proposto. Deste modo, e tal como o próprio algoritmo indica, será necessário reformular o modelo para a obtenção dos mesmos. Neste pressuposto, será necessário detalhar com maior profundidade as actividades portuárias, nomeadamente as operações marítimas para que o modelo lógico possa fornecer resultados relevantes. Dadas as limitações temporais deste estudo, apresenta-se o trabalho desenvolvido até à data no anexo 4.

## 4. Conclusões e Desenvolvimento Futuro

---

Este trabalho, segundo o ponto de vista científico, apresenta uma alteração face aos demais publicados até á data: integra um método matemático, DEA, num dos passos utilizados na criação de modelos de simulação: Análise do sistema.

Segundo a minha perspectiva, esta inovação poderá acrescentar valor às informações disponíveis aos decisores, quer a nível quantitativo (caminho de melhoria de uma Unidade em análise) e também qualitativo (resultados mais confiáveis relativamente a outras metodologias).

Como já foi referido, as entidades envolvidas na actividade portuária é diversa, e os seus objectivos nem sempre coincidem. Naturalmente as informações relevantes para uns, nem sempre são suficientes para outros. Portanto, segue-se a apresentação dos resultados produzidos pela aplicação das metodologias propostas, dado que carecem de uma análise e sugestões para futuros trabalhos de investigação.

### 4.1 Análise de resultados

Este trabalho reforça que os Organismos e Autoridades Portuárias devem olhar com mais atenção para a necessidade de maior uniformização e disponibilização de informação relevante, que caracterize as actividades portuárias, permitindo assim a sua avaliação de desempenho individual, e das redes logísticas onde estão inseridos. Na realidade, para além da eficaz e eficiente movimentação das mercadorias, os vários intervenientes das Cadeias Logísticas devem considerar os fluxos de informação como factores de diferenciação no Mercado (Porter and Millar, 1985), assim como factores compressores do espaço-tempo, geradores de mais-valias para o seu negócio (Dias *et al.*, 2008).

De uma forma geral, os sítios consultados apresentam-se com maior e melhor informação, relativamente ao estudo apresentado no anexo 3, pelo que os dados recolhidos apresentam maior fiabilidade relativamente ao mesmo.

A implementação do modelo de simulação sugere que a medida operacional de *output* no modelo DEA, não seja TEU mas sim movimentos. As diferenças no formato dos contentores vão refletir-se no tempo individual de estiva, assim como, na opinião do autor o seu peso. Embora não esteja contemplado no estudo, o indicador de *input* “Area” também não parece ser adequado para avaliar operacionalmente um terminal,

dado que a altura das pilhas de contentores introduz erro neste indicador. Na prática é utilizado o termo *slot* que corresponde á referência de localização do contentor no parque. Por exemplo, em termos teóricos, numa determina área de parque, se o terminal utilizar uma política de pilhas de 4 contentores terá menos 20% de capacidade de armazenagem se utilizar pilhas de 5 contentores, no que se refere a *slots*.

## ***4.2 Investigação futura***

A aplicação da abordagem proposta deverá ser aplicada ao estudo de outros casos, e se possível nouro ramo de actividade. A análise transversal obtida através da integração das técnicas DEA pode acrescentar valor ao processo de avaliação e optimização operacional conseguida através da Simulação Computacional. Por outro lado, a análise DEA de unidades disponibiliza mais informação aos agentes envolvidos na Logística Portuária sobre a variação dos indicadores escolhidos, e ainda poderá fundamentar a alteração da escolha dos mesmos.

Uma outra perspectiva surge quando olhamos para o diagrama do caminho de melhoria. Será que a trajectória linear é a mais recomendada para uma unidade ineficiente atingir a fronteira de eficiência? Poderão ser utilizadas outras estratégias como uma trajectória logarítmica? Exponencial? Ou mesmo quadrática? E em que situações?

## 5. Referências Bibliográficas e Netgráficas

- ANTAO, P., SOARES, C. G. & GERRETSEN, A. 2005. Benchmarking analysis of European ports and terminals. *Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, Vols 1 and 2*, 1303-1310.
- ANTONIOU, A. & LU, W.-S. 2007. *Practical Optimization – Algorithms and Engineering Applications*, Springer.
- BALCI, O. 1997. Principles of simulation model validation, verification, and testing. *Transactions of the Society for Computer Simulation*, 14, 3-12.
- BANKER, R. D., CHARNES, A. & COOPER, W. W. 1984. SOME MODELS FOR ESTIMATING TECHNICAL AND SCALE INEFFICIENCIES IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS. *Management Science*, 30, 1078-1092.
- BANKER, R. D., CONRAD, R. F. & STRAUSS, R. P. 1986. A comparative application of Data Envelopment Analysis and Translog methods. *Management Science* [Online], 32-44.
- BANKS, J. 1998. *Handbook of Simulation*, Wiley-Interscience.
- BARR, R. S. 2004. DEA software tools and technology - A state-of-the-art survey. *Handbook of Data Envelopment Analysis*, 539-566.
- BICHOU, K. & GRAY, R. 2005. A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 39, 75-92.
- CANTERELLA, G. E., DE LUCA, S. & CARTENI, A. 2005. *Simulation of a container terminal through a discrete event approach: Literature review and guidelines for application. European Transport Conference*. Strasbourg, France.
- CHARNES, A., COOPER, W. W. & RHODES, E. 1978. MEASURING EFFICIENCY OF DECISION-MAKING UNITS. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- COOPER, W. W., SEINFORD, L. M. & ZHU, J. 2004. *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- CULLINANE, K., WANG, T.-F., SONG, D.-W. & JI, P. 2004. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics* [Online], 3.
- CULLINANE, K., WANG, T.-F., SONG, D.-W. & JI, P. 2006. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research* [Online], Part A.
- DIAS, J. C. Q. 2005. *Logística Global e Macrologística*, Silabo.
- DIAS, J. C. Q. 2010. *O papel integrador dos portos em Sistemas de Abastecimento Globais*, Edições Silabo.
- DIAS, J. C. Q., AZEVEDO, S. G., FERREIRA, J. & PALMA, S. F. 2009. A comparative benchmarking analysis of main Iberian container terminals: a DEA approach. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 1, 260-275.
- DIAS, J. C. Q., CALADO, J. M. F. & MENDONÇA, M. C. 2010. The role of European "ro-ro" port terminals in the automotive supply chain management. *Journal of Transport Geography*, 18, 116-124.
- DIAS, J. C. Q., CALADO, J. M. F., OSORIO, A. L. & MORGADO, L. F. 2008. Intelligent Transport System based on RFID and Multi-agent approaches. In: CAMARINHAMATOS, L. M. & PICARD, W. (eds.) *Pervasive Collaborative Networks*.

- DONG-WOOK, S. 2003. Port co-opetition in concept and practice. *Maritime Policy & Management*, 30, 29.
- DOYLE, J. & GREEN, R. 1994. EFFICIENCY AND CROSS-EFFICIENCY IN DEA - DERIVATIONS, MEANINGS AND USES. *Journal of the Operational Research Society*, 45, 567-578.
- DPLP 2010. Optimização. *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa*.
- ELSEVIER 2007. *Devolution, Port Governance and Port Performance*, Elsevier, Ltd.
- FAZLI, S. & AGHESHLOUEI, V. 2009. A Hybrid model of Efficiency in Performance Measurement: An application to Concrete Industries. *G. U. Journal of Science* [Online], 22.
- FREMONT, A. 2007. Global maritime networks - The case of Maersk. *Journal of Transport Geography*, 15, 431-442.
- FRITZSON, P. 2004. *Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1*, Wiley.
- FUKUNAGA, D. 2004. *Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para avaliação de eficiência técnica baseada em DEA*. MsC, Universidade Federal do Paraná.
- GASPAR, J. 2001. Atracção gravítica dos principais portos da Península Ibérica, por movimento de carga contentorizada. *Estudo de impacte sócio-económico do Porto de Lisboa*. Ed. APL - Administração do Porto de Lisboa, SA ed. Lisboa.
- GHORBANI, A., AMIRTEIMOORI, A. & DEGHANZADEH, H. 2010. A comparison of DEA, DFA and SFA Methods using data from Caspian Cattle Feedlot Farms. *Journal of Applied Sciences 10 (14)* [Online].
- HENESEY, L., DAVIDSON, P. & PERSSON, J. A. Using Simulation in evaluating berth allocation at a container terminal. 3rd International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, 2004 Sweden.
- HERER, Y. T., TZUR, M. & YUCESAN, E. 2006. The multilocation transshipment problem. *Iie Transactions*, 38, 185-200.
- HESSE, M. & RODRIGUE, J.-P. 2004. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 12, 171-184.
- HODGES, W. 2009a. First-order Model Theory. In: ZALTA, E. N. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 2009 ed.
- HODGES, W. 2009b. Model Theory. In: ZALTA, E. N. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Fall 2009 ed.
- HODGES, W. 2010. Tarski's Truth Definitions. In: ZALTA, E. N. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Fall 2010 ed.
- HU, Y. & ZHU, D. 2009. Empirical analysis of the worldwide maritime transportation network. *Physica a-Statistical Mechanics and Its Applications*, 388, 2061-2071.
- INFORMS. 2010. *Institute for Operations Research and Management Sciences* [Online]. Available: <http://www.informs.org/> [Accessed 25 Maio 2010].
- JENSEN, P. A. 2004. *Operations Research Models and Methods*. Available: <http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/models/index.html>.
- KELTEN, K. 2009. *Mathematical Modeling and Simulation - Introduction for Scientist and Engineers*, Wiley.
- KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P. & SADOWSKI, D. A. *Simulation with Arena*, New York, USA, McGraw-Hill.
- KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P. & SADOWSKI, D. A. 1998. *Simulation with Arena*, New York, USA, McGraw-Hill.

- KOHONEN, T. 1982. SELF-ORGANIZED FORMATION OF TOPOLOGICALLY CORRECT FEATURE MAPS. *Biological Cybernetics*, 43, 59-69.
- LAW, A. M. & KELTON, W. D. 1991. *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Book Co.
- LEGATO, P., GULLI, D. & TRUNFIO, R. 2008. SRMULATION AT A MARITIME CONTAINER TERMINAL: MODELS AND COMPUTATIONAL FRAMEWORKS. *22nd European Conference on Modelling and Simulation, Proceedings*, 261-269.
- LEGATO, P. & MAZZA, R. M. 2001. Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. *European Journal of Operational Research*, 133, 537-547.
- LIAO, W., CHEN, Y.-X. & LI, K. Fuzzy DEA model based on cloud theory. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Dec 02-05 2007 Singapore, SINGAPORE. 90-94.
- LINS, M. P. E. & MOREIRA, M. C. B. 1999. Método I-O stepwise para seleção de variáveis em modelos de Análise Envoltória Dados. *Pesquisa Operacional [Online]*, 19.
- MACEDO, M. A. S. & BENGIO, M. C. 2002. Avaliação de eficiência Operacional através da análise envoltória de dados. *VIII Congreso de Contabilidad*. <http://eco.unne.edu.ar/contabilidad/costos/VIIIcongreso/140.doc>.
- MARLOW, P. B., A, CASACA, A. C. P., A, B & 1 2003. Measuring lean ports performance. *International Journal of Transport Management*, 1, 189-202.
- MARTINEZ, F. M., GUTIERREZ, I. G., OLIVEIRA, A. O. & BEDIA, L. M. A. 2004. Gantry crane operations to transfer containers between trains: A simulation study of a Spanish terminal. *Transportation Planning and Technology*, 27, 261-284.
- MENDONCA, M. C. & DIAS, J. C. Q. 2007. 'Postponement' in the logistical systems of new automobiles marketed in portugal: The brands and quality. *Total Quality Management & Business Excellence*, 18, 681-696.
- MINSKY, M. L. Matter, Minds and Models. International Federation Information Processing Congress, 1965 Washington. Spartan Books, 45-49.
- NAM, K. C., KWAK, K. S. & YU, M. S. 2002. Simulation study of Container Terminal performance. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-Asce*, 128, 126-132.
- NEWMAN, D. & WALDER, J. H. 2003. Federal ports policy. *Maritime Policy & Management*, 30, 151-163.
- NIESWAND, M., CULLMAN, A. & NEUMANN, A. 2009. Overcoming Data Limitations in Nonparametric Benchmarking: Applying PCA-DEA to Natural Gas Transmission. Available: <http://ssrn.com/abstract=1592867>.
- NOTTEBOOM, T. 2009. Economic Analysis of the European Seaport System. *Report serving as Input for the discussion on the TEN-T Policy*. European Sea Port Organization.
- PALLIS, A. A., VITSOUNIS, T. K. & DE LANGEN, P. W. 2010. Port Economics, Policy and Management: Review of an Emerging Research Field. *Transport Reviews*, 30, 115-161.
- PORTER, M. E. & MILLAR, V. E. 1985. HOW INFORMATION GIVES YOU COMPETITIVE ADVANTAGE. *Harvard Business Review*, 63, 149-160.
- PRASNIKAR, J., DEBELJAK, Z. & AHCAN, A. 2005. Benchmarking as a tool of strategic management. *Total Quality Management & Business Excellence*, 16, 257-275.

- RARDIN, R. L. 1998. *Optimization in Operations Research*, Prentice-Hill, Inc.
- RCUK 2005. *Evaluation: Practical Guidelines*. In: KINGDOM, R. C. U. (ed.). All cartoons.
- ROBSON, C. Simulating customer ownership patterns for technology goods in the mature market phase. Proceedings of the 37th conference on Winter simulation, 2005.
- RODRIGUE, J.-P. 1999. Globalization and the synchronization of transport terminals. *Journal of Transport Geography*, 7, 255-261.
- ROLL, Y. & HAYUTH, Y. 2006. *Port Performance Comparison applying Data Envelopment Analysis (DEA)*.
- ROSO, V., WOXENIUS, J. & LUMSDEN, K. 2009. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland. *Journal of Transport Geography*, 17, 338-345.
- SACONE, S. & SIRI, S. 2009. An integrated simulation-optimization framework for the operational planning of seaport container terminals. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 15, 275-293.
- SGL 2003. *Glossário Marítimo-Comercial*, Sociedade de Geografia de Lisboa.
- SHANNON, R. E. 1976. Systems Simulation: The Art and Science. *SIGSIM Simul. Dig.*, 7, 3-3.
- SHARMA, M. J. & YU, S. J. 2009. Performance based stratification and clustering for benchmarking of container terminals. *Expert Systems with Applications*, 36, 5016-5022.
- SHARMA, M. J. & YU, S. J. 2010. Benchmark optimization and attribute identification for improvement of container terminals. *European Journal of Operational Research*, 201, 568-580.
- SILVA, C. 2007. *Simulação da Carga Movimentada num Terminal Intermodal*. MsC, Instituto Superior Técnico.
- STRACK, J. 1984. *Modelação e simulação de sistemas*, Rio de Janeiro, Brasil, Editora LTC.
- TOFALLIS, C. 2001. Combining two approaches to efficiency assessment. *Journal of the Operational Research Society*, 52, 1225-1231.
- TONGZON, J. 2001. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 35, 107-122.
- TRICK, M. & CORNUEJOLS, G. 1998. Strengths and limitations of DEA. *Quantitative Methods for Management Sciences - Course Notes*.
- TURNER, H., WINDLE, R. & DRESNER, M. 2004. North American Container Port Productivity: 1984-1997. *Transportation Research Part E* [Online], 40.
- UNCTAD 1976. *Port performance indicators*. New York: United Nations Conference on Trade and Development.
- UNCTAD 1992. *Development and Improvement of Ports: The principles of Modern Port Management and Organisation*. Geneva: UNCTAD.
- UNCTAD 1995. *Comparative analysis of Deregulation, Commercialisation and Privatisation of ports*. Geneva: UNCTAD.
- UNCTAD 1999. *The Forth Generation Port*. *UNCTAD Ports Newsletter*. UNCTAD.
- WAGNER, J. M. & SHIMSHAK, D. G. 2007. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: Procedures and managerial perspectives. *European Journal of Operational Research*, 180, 57-67.

- WEISS, W. & D'MELO, C. 1997. Fundamentals of Model Theory. [http://www.math.toronto.edu/weiss/model\\_theory.html](http://www.math.toronto.edu/weiss/model_theory.html): Department of Mathematics - University of Toronto.
- ZHANG, H.-L. & JIANG, Z.-B. 2008. Simulation studies of Heuristic approaches for dynamic scheduling of container terminal operations. 28.
- ZHU, J. 2003. *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking*, Kluwer Academic Publishers.

*Sítios:*

<http://foreign.busanpa.com>

<http://www.portodelisboa.pt>

<http://www.imarpor.pt>

<http://www.isl.org>

<http://www.ferrmed.com>

# *Anexo 1*

Resumo estudos de avaliação de desempenho em Terminais de Contentores

## ***Anexo 2***

Questionário enviado aos concessionários

## ***Anexo 3***

Artigo: A comparative benchmarking analysis of main Iberian container terminals: a DEA approach.

## ***Anexo 4***

Relatório da simulação do Terminal de Contentores de Alcântara.