

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA ATRAVÉS DE UMA MODELAGEM DEA

OTAVIO HENRIQUE PAIVA MARTINS FONTES*

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
ohfontes@yahoo.com.br

JOÃO CARLOS CORREIA BAPTISTA SOARES DE MELLO**

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ
jcsmello@producao.uff.br

RESUMO

O trabalho em questão tem como objetivo avaliar a eficiência portuária, através do desenvolvimento de um modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA). Para tal serão considerados os dados relativos aos anos de 2002, 2003 e 2004, fornecidos pela ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários). Inicialmente foram considerados para desenvolvimento do modelo, 31 (trinta e um) portos brasileiros, utilizando-se para tal um input e dois outputs: como *input* a *extensão total de cais aportável* (m) e como *outputs* a movimentação total de embarcações no período estudado e a movimentação total da carga transportada em toneladas dentro e fora do cais.

Palavras-chave: eficiência, modelo e portos.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to estimate the harbour efficiency by using the Data Envelopment Analysis (DEA). We used the dates relating to 2002, 2003 e 2004, supplied by ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários). At first, were considered for development 31 Brazilian harbour, it was used one input and two outputs: the total extension of pier for input and for output it was used the total movement of ships and the total capacity of ship load in ton, inside and outside of the pier.

Key-words: efficiency, model and harbour.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história da humanidade, o comércio marítimo sempre foi um fator de integração e desenvolvimento entre os povos. Segundo a Revista Global (2001) aproximadamente 70% das mercadorias mundialmente transportadas, são assim feitas por meio marítimo. Isto posto, cabe ressaltar a fundamental importância na determinação dos níveis de eficiência dos nossos terminais marítimos. Percebe-se atualmente a inexistência de modelos que venham a

determinar a eficiência dos nossos terminais e que sirvam de ferramentas aos seus administradores. Conhecendo-se todas as variáveis envolvidas, torna-se possível desenvolver um modelo que, permita dentro de uma realidade programar ações gerenciais, administrativas, produtivas, etc, que garantam um incremento da eficiência com resultados satisfatórios.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Análise Envoltória de Dados

O objetivo da abordagem através da Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA), é o de avaliar a eficiência das unidades produtivas, chamadas como unidades de tomada de decisão (Decision Making Units – DMU's), comparando entre si as unidades que realizam tarefas semelhantes e que se diferenciam umas das outras pelas quantidades de recursos (inputs) que consomem e bens (outputs) que produzem (Cooper et al., 2000, Lins e Angulo-Meza, 2000). Este modelo é baseado num problema de programação fracionária onde a medida de eficiência será obtida pela soma ponderada dos outputs e pela soma ponderada dos inputs. Assim sendo, torna-se possível à eficiência das DMU's através da construção de uma fronteira de eficiência, de tal forma que “aquelas que possuírem a melhor relação “produto/insumo” serão consideradas mais eficientes e estarão situadas sobre esta fronteira e as menos eficientes estarão situadas numa região inferior à fronteira, conhecida como envelope (envoltória).

O modelo clássico DEA CCR (apresentado originalmente por Charnes et al. (1978)) orientado a input, está apresentado na equação 1. Este modelo gera uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Utiliza retornos constantes de escala (ou seja, qualquer variação nas entradas, *inputs* produz variação proporcional nas saídas, *outputs*. Este modelo determina a eficiência pela divisão entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas (GOMES et al., 2003)).

$$\max h_0 = \frac{\sum_{y=1}^s v_y O_{y0}}{\sum_{x=1}^r u_x I_{x0}}$$

sujeito a :

$$\frac{\sum_{y=1}^s v_y O_{yk}}{\sum_{x=1}^r u_x I_{xk}} \leq 1, k = 1, \dots, n$$

$$u_x, v_y \geq 0, \forall x, y$$

onde:

- h_0 : eficiência da DMU 0;
- r : número total de inputs,
- s : número total de outputs;
- n : número total de DMUs.
- I_{kx} : quantidade de input x para a DMU k ; $k = 1, \dots, n$
- O_{ky} : quantidade de output y para a DMU k ; $k = 1, \dots, n$
- u_x : peso outorgado ao input x ;
- v_y : peso outorgado ao output y ;

No momento em que eliminamos a propriedade do raio ilimitado, ou seja, do rendimento constante de escala, o modelo DEA CCR torna-se BCC, passando a considerar a possibilidade de rendimentos crescentes ou decrescentes na fronteira eficiente. O modelo BCC desenvolvido por BANKER *et al.* (1984), permite situações desse tipo:

$$\begin{aligned} \min \quad & h \\ \text{sujeito a} \quad & h x \geq \lambda_j x_j \\ & y \leq \sum \lambda_j y_j \\ & \lambda_j \geq 0 \quad \forall_j \\ & h \geq 0 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 0 \end{aligned}$$

Além dos modelos clássicos, serão usadas diferentes técnicas para contornar certas peculiaridades de DEA tais como atribuição de pesos nulos as variáveis, no caso do modelo BCC, por exemplo, onde certas DMU's podem se tornar eficientes por terem um maior valor para um output ou menor para input. Além disso, técnicas como avaliação cruzada, restrições aos pesos e fronteira invertida serão utilizadas.

2.2. Aplicações da Análise Envoltória de Dados no Setor Portuário

Os primeiros estudos utilizando-se DEA no setor portuário foi realizado por Roll e Hayuth (1993), que trabalharam com dados hipotéticos e demonstraram como suas eficiências poderiam ser mensuradas.

Alguns outros poucos trabalhos nesta linha foram publicados, como por exemplo Martinez-Budría et al. (1999) analisaram vinte e seis portos espanhóis no período de 1993 a 1997, em um total de 130 observações, utilizando três *inputs* (despesas com pessoal, taxas de depreciação e outros gastos) e dois *outputs* (total de carga movimentada e receita obtida no aluguel de facilidades).

Tongzon (2001) com 16 terminais de diferentes países, utilizando utilizou dois *outputs*: TEUs e seis *inputs*: número de guindastes, número de berços, número de rebocadores, número de funcionários, área do terminal e *delay time* (é a diferença do tempo total no berço mais o tempo de espera e o tempo de operação).

Itoh (2002) analisou a eficiência operacional dos oito maiores terminais de contêineres do Japão, utilizando como número de TEU movimentado por ano e os *inputs* foram divididos em 3 categorias: infraestrutura (área do terminal e número de berços), superestrutura (número de guindastes) e número de trabalhadores.

Turner et al. (2004) mediram a eficiência de 26 terminais de contêineres dos Estados Unidos e Canadá entre 1984 a 1997. Os *inputs* escolhidos foram a área do terminal, número de guindastes e tamanho do berço, e o *output*, o número de TEU movimentado.

3. MÉTODOS E MODELO

3.1. Aplicação do Modelo de Análise Envoltória de Dados. Modelagem

Para que se possa avaliar a eficiência dos portos e terminais brasileiros, utilizaremos a técnica de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), para 31 (trinta e um) portos brasileiros, baseado em dados dos anos de 2002, 2003 e 2004, fornecidos pela ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), levando-se em consideração as seguintes variáveis: como *input* utilizou-se a *extensão total de cais aportável* (m) e como *outputs* foram consideradas a movimentação total de embarcações no período estudado e a movimentação total da carga transportada em toneladas dentro e fora do cais.

Assim sendo, a tabela 1 apresenta os dados de entrada do modelo proposto:

Tabela 1 – Matriz de dados utilizadas no modelo.

<i>DMUs</i>	<i>Extensão Total de Cais (m)</i>	<i>Movimentação Total de Carga (t)</i>	<i>Movimentação Total de Embarcações</i>
AngradosReis2002	400	14738809	35
AngradosReis2003	400	14261864	23
AngradosReis2004	400	14296174	17
Aratu2002	565	21045670	552

Aratu2003	565	21850529	607
Aratu2004	565	26439889	638
AreiaBranca2002	166	4434356	2076
AreiaBranca2003	166	4242096	1790
AreiaBranca2004	166	4224825	2275
Belém2002	1295	13318857	2088
Belém2003	1295	16772691	936
Belém2004	1295	20059857	1353
Cabedelo2002	602	930264	172
Cabedelo2003	602	872728	336
Cabedelo2004	602	962380	380
Forno2002	300	519947	49
Forno2003	300	481307	24
Forno2004	300	473230	25
Fortaleza2002	1997	3999506	631
Fortaleza2004	1997	3763262	538
Fortaleza2004	1997	4092373	500
Imbituba2002	553	968005	103
Imbituba2003	553	1172746	107
Imbituba2004	553	1354606	130
Itajaí2002	740	3801670	841
Itajaí2003	740	4447087	913
Itajaí2004	740	5439324	871
Itaqui2002	1616	64941689	418
Itaqui2003	1616	68755599	405
Itaqui2004	1616	76958192	380
Macapá2002	786	476118	172
Macapá2003	786	1081640	69
Macapá2004	786	1541784	50
Maceió2002	878	3655710	415
Maceió2003	878	3831402	347
Maceió2004	878	4385086	372
Manaus2002	1097	10845977	167
Manaus2003	1097	11237170	101
Manaus2004	1097	12935197	72
Natal2002	540	4756313	346
Natal2003	540	4506144	330
Natal2004	540	4507302	309
Niterói2002	431	173230	20
Niterói2003	431	138829	15
Niterói2004	431	32318	7
Paranaguá2002	2943	27859879	2050
Paranaguá2003	2943	32499953	375
Paranaguá2004	2943	31481189	2204
PontaUbu2002	313	15074598	199
PontaUbu2003	313	16251807	181
PontaUbu2004	313	16555850	145
PortoAlegre2002	8028	10340013	1259
PortoAlegre2003	8028	10227371	200
PortoAlegre2004	8028	9385879	146

PraiaMole2002	730	20232741	277
PraiaMole2003	730	19405101	489
PraiaMole2004	730	20099374	533
Recife2002	3040	1529506	220
Recife2003	3040	2394505	409
Recife2004	3040	2226999	373
RiodeJaneiro2002	6740	13394362	1882
RiodeJaneiro2003	6740	14467653	1964
RiodeJaneiro2004	6740	14535665	1697
RioGrande2002	3504	16753962	2846
RioGrande2003	3504	22030505	3500
RioGrande2004	3504	22247534	3541
SãoFranc.doSul2002	750	15023855	669
SãoFranc.doSul2003	750	15591082	684
SãoFranc.doSul2004	750	16034663	630
SãoSebastião2002	150	52774256	65
SãoSebastião2003	150	52050716	78
SãoSebastião2004	150	53135930	76
Santarém2002	663	246012	1432
Santarém2003	663	900679	1566
Santarém2004	663	1417560	1332
Santos2002	11042	53474268	4002
Santos2003	11042	60077073	4161
Santos2004	11042	67609753	4261
Sepetiba2002	1670	42805354	440
Sepetiba2003	1670	51035544	491
Sepetiba2004	1670	59286049	740
Suapê2002	3885	4226363	732
Suapê2003	3885	3124653	448
Suapê2004	3885	3916987	660
Tubarão2002	1845	75192316	816
Tubarão2003	1845	76568035	845
Tubarão2004	1845	84433217	929
ViladoConde2002	419	7946354	338
ViladoConde2003	419	10399695	418
ViladoConde2004	419	11487523	468
Vitória2002	1296	6061804	1580
Vitória2003	1296	6135992	891
Vitória2004	1296	7347912	853

A tabela 2 apresenta a distribuição geográfica dos portos por regiões do país:

Tabela 2 – Distribuição geográfica dos portos por região.

<i>Região</i>	<i>Portos</i>
<i>Norte</i>	Belém, Macapá, Manaus, Santarém, Vila do Conde
<i>Nordeste</i>	Aratu, Areia Branca, Cabedelo, Fortaleza, Itaquí, Maceió, Natal, Recife, Suapê,

<i>Sudeste</i>	Angra dos Reis, Forno, Niterói, Ponta Ubu, Praia Mole, Rio de Janeiro, São Sebastião, Santos, Sepetiba, Tubarão, Vitória
<i>Sul</i>	Imbituba, Itajaí, Paranagua, Porto Alegre, Rio Grande, São Francisco do Sul,

3.2 – Análise dos Resultados

O modelo DEA BCC orientado ao output, apresentado na equação 2, foi aplicado aos dados apresentadas na tabela 1. Os resultados apresentados na tabela 3 foram obtidos através do software - SIAD- Sistema Integrado de Apoio à Decisão (Angulo Meza, et al, 2003):

Tabela 3 – Resultados obtidos na simulação com o SIAD.

DMU	Padrão	Imbituba2003	0,053148	Paranaguá2002	0,726921
AngradosReis2002	0,255208	Imbituba2004	0,063528	Paranaguá2003	0,385905
AngradosReis2003	0,246950	Itajaí2002	0,346820	Paranaguá2004	0,793825
AngradosReis2004	0,247544	Itajaí2003	0,378781	PontaUbu2002	0,326407
Aratu2002	0,494280	Itajaí2004	0,369843	PontaUbu2003	0,339312
Aratu2003	0,524435	Itaqui2002	0,809698	PontaUbu2004	0,330883
Aratu2004	0,602548	Itaqui2003	0,857250	PortoAlegre2002	0,343012
AreiaBranca2002	0,922992	Itaqui2004	0,959520	PortoAlegre2003	0,126085
AreiaBranca2003	0,803401	Macapá2002	0,070040	PortoAlegre2004	0,113584
AreiaBranca2004	1	Macapá2003	0,035328	PraiaMole2002	0,365093
Belém2002	0,822247	Macapá2004	0,035774	PraiaMole2003	0,417646
Belém2003	0,469255	Maceió2002	0,179247	PraiaMole2004	0,440772
Belém2004	0,639313	Maceió2003	0,155234	Recife2002	0,066571
Cabedelo2002	0,073875	Maceió2004	0,168339	Recife2003	0,121724
Cabedelo2003	0,138859	Manaus2002	0,175036	Recife2004	0,111039
Cabedelo2004	0,157918	Manaus2003	0,162534	RiodeJaneiro2002	0,523387
Forno2002	0,027251	Manaus2004	0,183162	RiodeJaneiro2003	0,543665
Forno2003	0,017158	Natal2002	0,187304	RiodeJaneiro2004	0,459256
Forno2004	0,017400	Natal2003	0,178190	RioGrande2002	0,843746
Fortaleza2002	0,218271	Natal2004	0,171155	RioGrande2003	0,988742
Fortaleza2004	0,188138	Niterói2002	0,009800	RioGrande2004	1
Fortaleza2004	0,178281	Niterói2003	0,007490	SãoFranc.doSul2002	0,409535
Imbituba2002	0,048770	Niterói2004	0,003064	SãoFranc.doSul2003	0,421856

SãoFranc.doSul2004	0,411368	Santos2004	1	Tubarão2004	1
SãoSebastião2002	0,993193	Sepetiba2002	0,527147	ViladoConde2002	0,246058
SãoSebastião2003	1	Sepetiba2003	0,628502	ViladoConde2003	0,313362
SãoSebastião2004	1	Sepetiba2004	0,757464	ViladoConde2004	0,348373
Santarém2002	1	Suapê2002	0,219955	Vitória2002	0,584587
Santarém2003	0,996590	Suapê2003	0,125627	Vitória2003	0,347157
Santarém2004	0,747645	Suapê2004	0,194544	Vitória2004	0,341837
Santos2002	0,984012	Tubarão2002	0,890554		
Santos2003	1	Tubarão2003	0,907534		

Observando os resultados obtidos, percebemos que os seguintes portos foram eficientes: Areia Branca 2004, Belém 2002, Rio Grande 2004, São Sebastião 2003 e 2004, Santarém 2002, Santos 2003 e 2004, e Tubarão 2004.

Utilizando como referência os resultados de Pires, Bertoloto e Soares de Mello [2005], que através de uma análise multicritério estabeleceram um ranking para os 06 (seis) principais portos brasileiros, faremos uma análise inicial destes portos através de seus gráficos de eficiência, baseados nos dados da tabela 3 e assim analisaremos sua evolução nos últimos anos. A tabela 4 e as figuras de 1 a 5 mostram estes dados:

Tabela 4 – Eficiências padrões dos 6 maiores portos pela modelagem Multicritério de Pires, Bertoloto e Soares de Mello [2005].

PORTOS	Eficiência Padrão (%)		
	2002	2003	2004
Santos	98,4	100	100
Tubarão	89,0	90,7	100
Itaqui	80,9	85,7	95,9
Rio Grande	84,3	98,8	100
Rio de Janeiro	52,3	54,3	45,9
Sepetiba	52,7	62,8	75,7

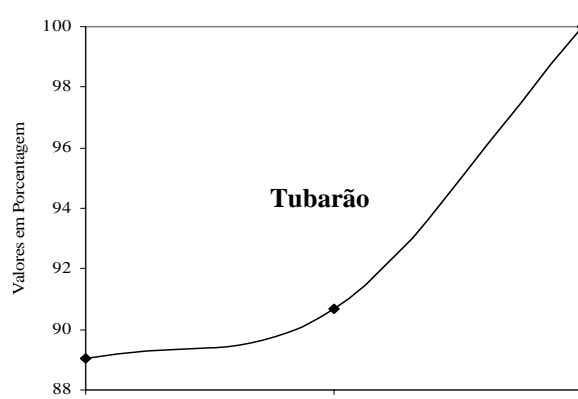
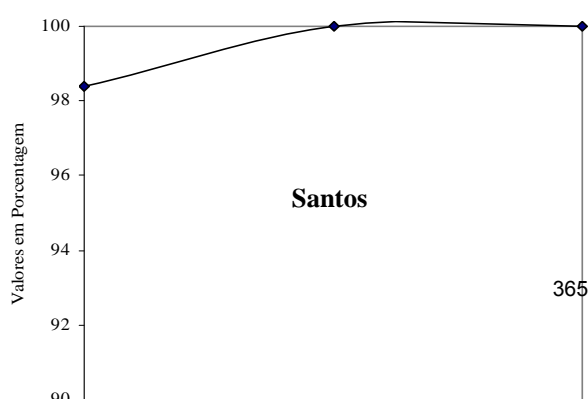


Figura 1 – Gráfico de eficiência dos Portos de Santos e Tubarão.

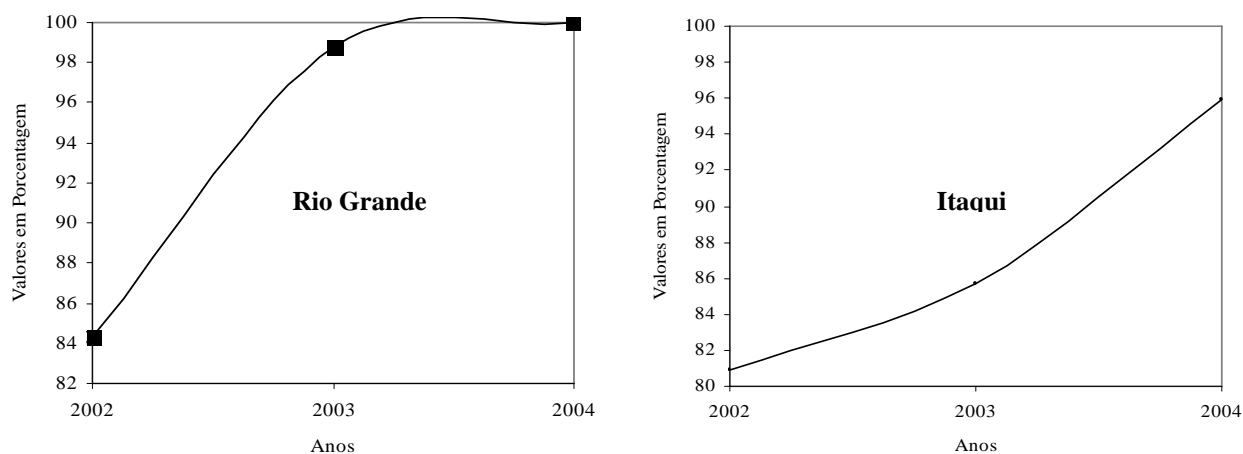


Figura 2 - Gráfico de eficiência do Porto de Rio Grande e Itaqui.

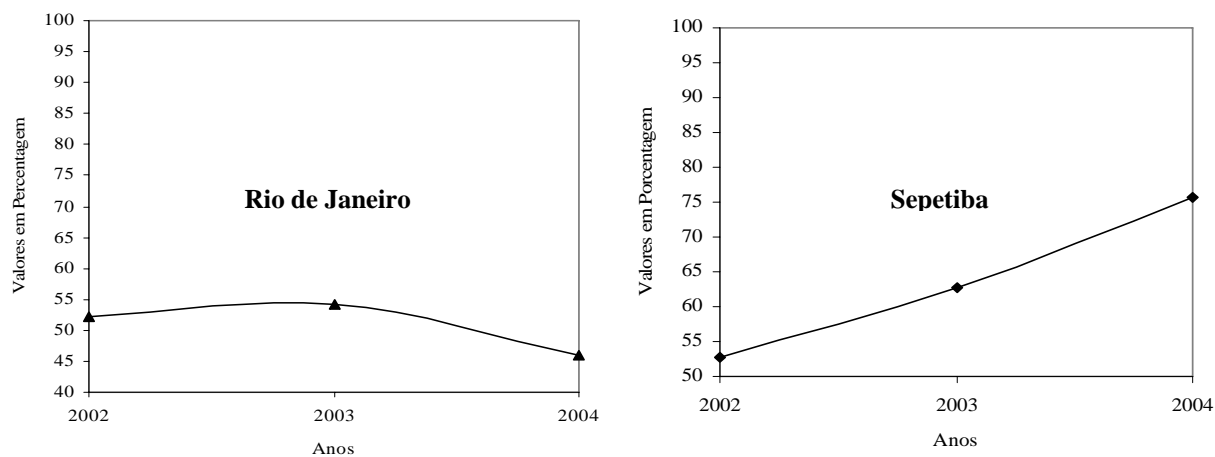


Figura 3 – Gráficos de eficiência dos Portos do Rio de Janeiro e Sepetiba.

A análise dos seis gráficos acima plotados, nos permite efetuas observações importantes:

- todos os portos, exceto o do Rio de Janeiro, conseguiram um aumento de sua eficiência, para respectiva capacidade física de operação;

- o porto do Rio de Janeiro muito provavelmente está superdimensionado para a sua capacidade de operação;
- a baixa eficiência do porto do Rio de Janeiro pode ser justificada por fatores diversos: superdimensionado, desempenho melhor num tipo específico de carga, competição entre os demais portos do estado.

Analisando o resultado do modelo BCC, mostrado na tabela 3, temos os seguintes portos com eficiência média superior a 90%: Areia Branca, Rio Grande, Santarém, Santos, São Sebastião e Tubarão. As figuras 4 e 5 mostram os gráficos de eficiência dos portos de Areia Branca, Belém, Santarém e São Sebastião. Os gráficos dos demais portos (Rio Grande, Santos e Tubarão) estão apresentados nas figuras 1 e 2:

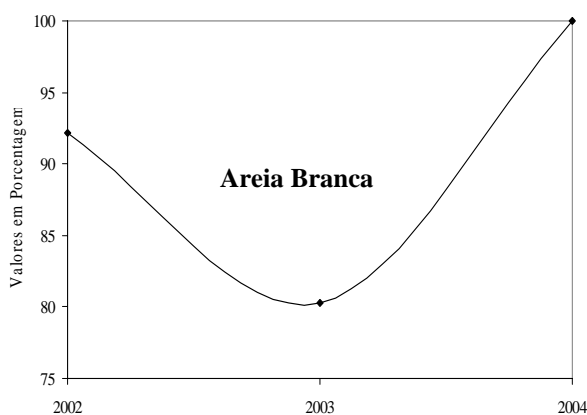


Figura 4 - Gráficos de eficiência do Porto de Areia Branca.

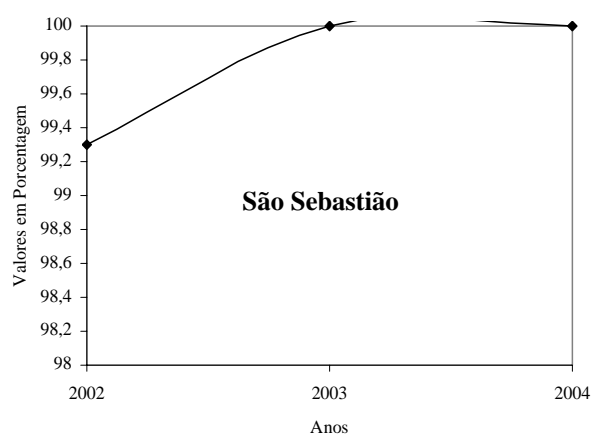
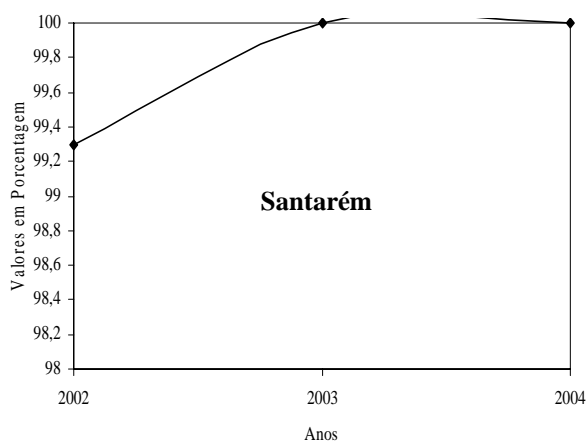


Figura 5 - Gráficos de eficiência dos Portos de Santarém e São Sebastião.

A baixa eficiência observada pelo porto do Rio de Janeiro no gráfico da figura 3, já era esperada. De acordo com os dados fornecidos pela ANTAQ, houve uma brusca queda na movimentação total de cargas ao longo dos anos. Em 1986, o porto movimentou um total de 23.850.688 toneladas, contra 14.535.665 toneladas em 2003, o que representa uma queda de aproximadamente 40%. Outro fato motivador para esta baixa eficiência foi a competição com os demais portos do estado. O porto de Sepetiba por exemplo, que tem com ponto forte o embarque de granéis sólidos, tais como minério de ferro e produtos siderúrgicos, teve uma movimentação total de cargas em 1986 de 17.079.719 toneladas contra um total de 59.286.049 toneladas, um aumento de 247%.

4 . Conclusões

A utilização da modelagem DEA BCC orientada a output permitiu uma ordenação dos portos brasileiros. Ficou bastante claro que no caso do porto do Rio de Janeiro, existe uma baixa eficiência operacional, uma vez que este vem perdendo capacidade ao longo dos anos, estando assim superdimensionado para sua atual capacidade de movimentação de cargas. Esta análise da eficiência está diretamente relacionada às características físicas dos portos, e não possui qualquer ingerência direta do gestor.

O próximo passo é o de inferir alguma variável de gestão que permita vislumbrar a variação da eficiência dos portos estudados.

5. Referências Bibliográficas

- Angulo-Meza, L. Um enfoque multiobjetivo para os modelos de determinação de alvos em DEA. Exame de qualificação ao Doutorado, Programa de Engenharia de produção, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with models, Applications, References and DEA-Solver Software. Kluwer Academic Publishers, USA 2000.

- Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Assis, A.S.; Morais, D.; Cardoso de Oliveira, N.A. (2003). Uma Medida de Eficiência em Segurança Pública. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*. Disponível em: < <http://www.producao.uff.br/rpep/revista32003.htm>>.
- ITOH, H. Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA. *Rurds*, v. 14, n. 2, 2002.
- Martinez-Budria, E.; Diaz-Armas, R.; Navarro-Ibanez, M.; Ravelo-Mesa, T. A study of the Efficiency of Spanish port authorities using Data Envelopment Analysis, *International Journal of Transport Economics*, v. 26, n. 2, pp. 237-253, 1999.
- Pires, L. S.; Bertoloto, R.F.; Soares de Mello, J.C.C.B. (2005). Estudo do tamanho dos portos brasileiros: uma análise multicritério. XIII Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha. Niterói. Rio de Janeiro.
- REVISTA GLOBAL*. São Paulo: Março, 2001. Mensal.
- Roll, Y; Hayuth, Y. Port performance comparison applying DEA. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, pp. 153-161, 1993.
- Tongzon, J. Efficiency Measurement of select Australian an International Port using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research, Part A*, v. 35, pp. 113-128, 2001.
- Turner, H.; Windle, R.; Dresner, M. North American containerport productivity: 1984–1997. *Transportation Research, Part E*, v. 40, pp. 339-356, 2004.
- * Otavio Henrique Paiva Martins Fontes, *Mestrando em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense, Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, RJ*
ohfontes@yahoo.com.br
- ** João Carlos C. B. Soares de Mello, *Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal Fluminense, Rua Passos da Pátria, 156, São Domingos, CEP: 24210-240, Niterói, RJ*
jcsmello@producao.uff.br