

## COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL UTILIZANDO *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*

**Ricardo Gabbay de Souza**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE/UFRJ  
Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, Sala F-105 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro-RJ  
rgabbay@pep.ufrj.br

**Marcos Pereira Estellita Lins**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE/UFRJ  
Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, Sala F-105 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro-RJ  
estellita@pep.ufrj.br

**Rogério Aragão dos Bastos Valle**

Programa de Engenharia de Produção – COPPE/UFRJ  
Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, Sala F-105 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro-RJ  
valle@pep.ufrj.br

### RESUMO

Em todo o mundo, a variação na eficiência da coleta de resíduos deve-se à complexidade dos fatores envolvidos. Neste trabalho é feita uma comparação entre as eficiências relativas dos sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos em capitais e cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes. A complexidade do problema é explorada através de um mapa conceitual, onde são identificadas variáveis de *inputs* e *outputs* desses sistemas. Através de modelos de *Data Envelopment Analysis* (DEA) VRS orientados a input, são caracterizadas as eficiências relativas dos sistemas, e investigadas suas associações com o porte populacional dos municípios e a natureza jurídica das organizações titulares do manejo de resíduos sólidos urbanos. Os resultados indicam que há poucos sistemas eficientes, sendo dois os principais: Londrina e Sorocaba. As empresas públicas apresentaram as maiores eficiências relativas, bem como as cidades com população entre 500 e 700 mil e entre 1 e 2 milhões de habitantes.

**PALAVRAS CHAVE.** Resíduos Sólidos Urbanos, *Data Envelopment Analysis*, Mapas Conceituais.

**Área principal:** ADM\*; DEA; AdP

### ABSTRACT

Throughout the world, variations on waste collection efficiencies are due to the complexity of involved factors. In this paper it is made a comparison among the relative efficiencies of urban solid waste collection systems in brazilian state capitals and cities with population above 500 thousand inhabitants. The problem's complexity is explored through a conceptual map, where are identified systems' inputs and outputs variables. Through *Data Envelopment Analysis* (DEA) models, VRS input-oriented, systems' relative efficiencies are characterized, and are investigated their associations with cities population ranges and with the juridical nature of entities responsible for the waste management. Results indicate that there are few efficient systems, being the main ones: Londrina and Sorocaba. Public companies presented the highest relative efficiencies, as well as cities with population between 500 and 750 thousand and between 1 and 2 million inhabitants.

**KEYWORDS.** Urban Solid Waste; *Data Envelopment Analysis*; Conceptual Maps  
**Main area:** ADM\*; DEA; AdP

## 1. Introdução

A ONU (ONU, 2010) reconhece que a coleta de resíduos é um serviço fundamental que está diretamente associado à saúde e à qualidade de vida urbana. No entanto, a coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil, é, em geral, ineficiente. Um fato preocupante é a atuação de catadores informais tanto na área urbana (70,4 mil pessoas, dentre elas 5,6 mil com menos de 14 anos de idade, de acordo com o IBGE, 2008), expostos aos riscos ocasionados pela coleta ineficiente dos resíduos.

A elevada expectativa gerada pela recente instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/10) só poderá se realizar caso se melhore a eficiência dos processos operacionais nos sistemas de gerenciamento. Com relação à coleta de resíduos, há variações em três indicadores particularmente importantes: o volume de resíduos coletados nos municípios, a quantidade de veículos e de funcionários que operam a coleta de resíduos (Tabela 1).

Tabela 1. Total de resíduos coletados em relação à quantidade de veículos e funcionários

Região do país	Quantidade de resíduos coletados (t/dia)	Quantidade de resíduos coletados (t/dia) / N° de caminhões de coleta	Quantidade de resíduos coletados (t/dia) / Pessoal operando a coleta regular (exceto motoristas)
Norte	14.639	9,26	4,00
Nordeste	47.206	6,90	3,47
Sudeste	68.181	7,30	3,25
Sul	37.342	8,70	4,33
Centro-Oeste	16.120	8,85	3,86

Fonte: Adaptado de IBGE (2008)

Dentre os possíveis fatores explicativos destas variações, a literatura vem destacando o peso da privatização na eficiência dos sistemas (por exemplo, a discussão feita por Nunes et al, 2007, sobre a implantação de centros para reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil). Sabe-se que 36,4% das organizações que atuam nos processos de manejo de resíduos sólidos são privadas (ou seja, atuam em sistemas parcial ou totalmente terceirizados pelas prefeituras) (IBGE, 2008).

A avaliação da eficiência dos sistemas de coleta de resíduos públicos pode trazer informações muito relevantes para sua melhor gestão:

- em que aspectos estes serviços são hoje ineficientes;
- qual a importância relativa dos aspectos para a eficiência dos sistemas;
- quais sistemas possuem melhor eficiência relativa, e podem servir de referência para melhoria dos processos.
- o que precisa ser melhorado nos sistemas considerados ineficientes;
- quais as quantidades eficientes de recursos para a produção atual.

Assim, o estudo realizado buscou comparar a eficiência relativa de sistemas de coleta de resíduos, tendo como objeto as cidades brasileiras que tenham mais de 500 mil habitantes ou que, mesmo ficando abaixo desta população, sejam capitais de estados. Primeiramente, as relações e as variáveis envolvidas com a eficiência da coleta de resíduos foram descritas através de um mapa conceitual. A seguir, algumas destas variáveis foram associadas por meio de modelos em DEA (Data Envelopment Analysis) que permitiram uma caracterização dos parâmetros para a eficiência relativa dos sistemas. Verificou-se então a associação entre eficiência da coleta e a natureza jurídica das entidades responsáveis pelo manejo de resíduos sólidos urbanos, assim como com o porte populacional dos municípios.

## 2. Uso de Data Envelopment Analysis em serviços públicos

A Data Envelopment Analysis tem sido largamente utilizada para avaliação da eficiência relativa de sistemas em diversos setores, por todo o mundo. No setor público, tem sido

utilizado para avaliar o desempenho de prefeituras (Worthington, 2001; Ogawa & Tanahashi, 2008), escolas e universidades (Duan, Deng & Corbit, 2008; Hu, Zhang & Liang, 2009), turismo (Cracolici, Nijkamp & Cuffaro, 2007), transportes (Jiang, 2009; Noura et al, 2010), distribuição de energia (Yang et al, 2009; Lins et al, 2007b) e hospitais (Akazili et al, 2008; Kirigia, Emrouznejad & Sambo, 2002; Lins et al, 2007a; Ozcan et al, 2009; Pahwa, Feng & Lubkeman, 2003; Sahin & Ozcan, 2000).

No entanto, a pesquisa sobre o gerenciamento de resíduos sólidos tem se valido relativamente pouco desta abordagem. Há alguns casos recentes, entre eles o uso de DEA para avaliar os incineradores de resíduos (Chen et al, 2010), e a redução na geração de resíduos industriais e poluentes atmosféricos (Honma & Hu, 2009). Simões et al (2010) utilizam DEA para avaliar o ambiente operacional da gestão de resíduos, mas não enfocam o processo de coleta. Não há trabalhos conhecidos sobre a aplicação de DEA para avaliar a coleta de resíduos sólidos no Brasil.

### **3. Modelagem para a definição da eficiência de sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil**

Este trabalho foi executado nas seguintes etapas: estruturação do problema; coleta de dados; caracterização dos Modelos; execução; comparação. Para execução dos Modelos, foram utilizados os softwares DEA Frontier e IDEAL.

#### **3.1. Estruturação do problema através de mapa conceitual**

Para estruturação do problema utilizou-se a técnica de mapeamento conceitual. Estes mapas permitem não somente verificar a complexidade das variáveis envolvidas em um problema, mas reconhecer o seu contexto, pois nos métodos quantitativos normalmente trabalhamos com aspectos mais específicos que precisam ser destacados da realidade.

O mapa conceitual gerado (Figura 1) representa definições da bibliografia sobre indicadores de eficiência no gerenciamento de resíduos sólidos (Boer et al, 2007; Gallardo et al, 2010; Larsen et al, 2010; Monteiro et al, 2001; Slack, 2002; UN, 2010; Vilhena (Coord.), 2010).

A leitura do mapa pode ser iniciada a partir do constructo “coleta e transporte (de resíduos)”, em negrito, partindo nos sentidos laterais. Assim podemos compreender que a coleta de resíduos tem como principal processo a transformação dos resíduos gerados em resíduos coletados e destinados adequadamente, utilizando recursos como os caminhões, mão-de-obra e financeiros. Acima do mapa estão os objetivos do gerenciamento de resíduos, e abaixo, a gama de indicadores que podem ser utilizados para monitoramento da eficiência da coleta.

O mapa conceitual permitiu identificar a complexidade de variáveis que podem estar envolvidas na avaliação da eficiência de sistemas de coleta de resíduos. No entanto, devido principalmente à disponibilidade de dados quantitativos, foram utilizados nos Modelos DEA somente seis destas variáveis: quatro *inputs* e dois *outputs*.

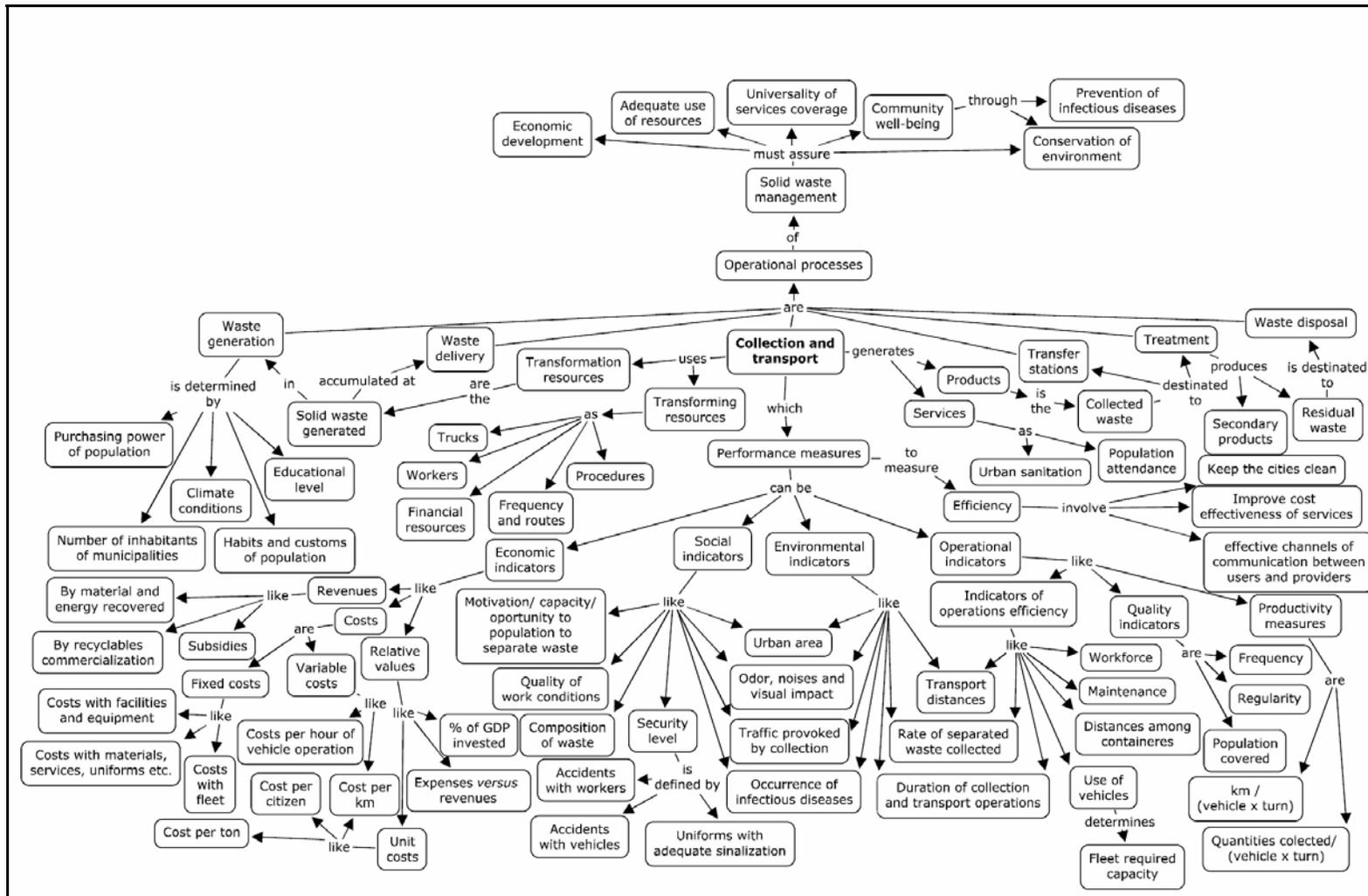


Figura 1. Mapa conceitual da eficiência na coleta pública de resíduos no Brasil

Adaptado de: Den Boer et al (2007); Gallardo et al (2010); Larsen et al (2010); Monteiro et al (2001); Slack (2002); UN-HABITAT (2010); Vilhena (Coord.) (2010)

### 3.2. Coleta de dados para a modelagem

Neste trabalho, o principal parâmetro de escolha das variáveis foi a disponibilidade de dados para as diversas cidades consideradas. No entanto, a escolha do conjunto de variáveis do modelo DEA também buscou representar os inputs e outputs de um subsistema específico da gestão de resíduos, que converte resíduos gerados, trabalhadores, caminhões e recursos financeiros em resíduos coletados e população atendida.

Utilizou-se como principal base de dados o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2007), com dados do ano de 2007, para as capitais dos estados e cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes. Nos poucos casos em que faltaram dados, estes foram completados pela pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2008), com informações referentes ao ano de 2008. Foram selecionadas as cidades brasileiras com população igual ou superior a 500 mil habitantes, ou que sejam capitais de estados. Deste escopo, somente três foram excluídos, por não disponibilidade de alguns dos dados necessários: Feira de Santana (BA), Jaboaão dos Guararapes (PE) e Osasco (SP). A modelagem foi então aplicada a 41 sistemas municipais de coleta de resíduos (doravante DMUs – *Decision Making Units* do problema em estudo, na designação do DEA).

A Tabela 2 exibe, para cada região, o número de sistemas de coleta de resíduos que foram analisados (DMUs). Também nesta Tabela pode-se observar a natureza jurídica das entidades que gerenciam os serviços de coleta nestes municípios.

Tabela 2 Quantidade dos sistemas de coleta estudados, por região e natureza da entidade prestadora dos serviços

Região	Nº de DMUs	Natureza das entidades prestadoras dos serviços de coleta			
		Administração pública direta	Empresa pública	Sociedades de economia mista com administração pública	Autarquia
Norte	7	7	0	0	0
Nordeste	9	3	3	1	2
Centro-Oeste	4	2	0	1	1
Sudeste	17	11	1	1	4
Sul	4	1	1	1	1
TOTAL	41	24	5	4	8

A geração dos resíduos, tal qual considerada neste modelo, foi calculada da seguinte forma: Obteve-se a porcentagem da população atendida pela coleta em relação à população urbana total (com base nos dados do SNIS, 2007). Considerando a média de geração de resíduos per capita, a porcentagem obtida foi aplicada aos resíduos coletados, obtendo o total gerado.

As variáveis que foram consideradas para o modelo em DEA são as informadas na Tabela 3. É importante ressaltar que estas variáveis foram utilizadas em proporção, de forma que os valores tivessem aproximadamente a mesma grandeza (da ordem de 103). Isto favorece a obtenção, nos modelos DEA, de multiplicadores com menor número de casas decimais, e permite maior clareza na determinação de restrições ao modelo. Por este motivo, as despesas foram utilizadas na razão de mil R\$/mês e a população em termos de Mil habitantes.

Tabela 3 Inputs e outputs do modelo DEA

Inputs	Outputs
1. Despesas totais com a coleta de resíduos (mil R\$/mês)	1. Total de resíduos coletados (ton/dia)
2. Total de trabalhadores envolvidos no manejo dos resíduos (nº de trabalhadores)	2. População atendida (mil habitantes)
3. Caminhões de coleta (nº de caminhões)	

4. Total de resíduos gerados (ton/dia)	
--	--

### 3.3. Restrições para os modelos DEA

Não pretendemos apresentar uma explicação teórica sobre a formulação, execução e interpretação de modelos em DEA. Se houver alguma dúvida quanto à metodologia da DEA recomendamos referir-se a Thanassoulis *et al in* Fried et al (2008), e a trabalhos como os citados no Item 2. Vamos nos ater às particularidades dos modelos utilizados neste trabalho.

Todos os modelos são VRS orientados a input, o que quer dizer que desejamos obter a mesma produtividade dos sistemas, utilizando menos recursos. Conforme já mencionado, foram calculadas as projeções das DMUs menos eficientes nas regiões Pareto-eficientes. Foram utilizadas restrições aos pesos (ou multiplicadores), apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Restrições aos pesos dos inputs e outputs do modelo

Restrição	Razão	Valor mínimo	Valor máximo
R1	Trabalhadores/caminhão	1,7	5,25
R2	Despesas da coleta/trabalhadores	0,1	6
R3	Despesas da coleta/resíduos gerados	0,1	6
R4	Resíduos coletados/caminhões de coleta	6,8	20,4
R5	Resíduos gerados/resíduos coletados	1	1,18
R6	Resíduos coletados/população atendida	0,1	1,5

As restrições estão fundamentadas em referências brasileiras (Monteiro et al, 2001; Vilhena (Coord.), 2010). A R1, por exemplo, indica que há, comumente, 2 a 5 trabalhadores por caminhão nos sistemas de coleta, sendo que o número de caminhões operantes deve ser 85% do total da frota. A R4 aponta o volume de resíduos que podem ser coletados por cada caminhão operante. No mínimo, são 4 toneladas vezes 2 turnos por dia, e no máximo, 8 toneladas para três turnos. A R5 indica que os resíduos gerados devem ser maiores ou iguais aos coletados. A R6 representa a geração de resíduos per capita da população atendida que é aceitável (de 0,1 a 1,5kg por dia), segundo a literatura atual. As demais restrições representam valores razoáveis para a relação entre despesas e outros inputs.

Utilizando estas restrições aos pesos, foram executados três modelos VRS:

- Modelo 1: adota todas as 41 DMUs, com valores absolutos de inputs e outputs;
- Modelo 2: Adota os valores absolutos, e exclui as megacidades São Paulo e Rio de Janeiro;
- Modelo 3: Adota todas as 41 DMUs, com todos os dados relativizados em função da população urbana total dos municípios.

A exclusão das megacidades no Modelo 2 busca verificar o quão estas cidades, que possuem, em função de seus portes, números bastante superiores às outras, (especialmente no caso dos outputs), são determinantes para a fronteira de eficiência, como out liners que “esticam” a fronteira para longe das demais DMUs (ver São Paulo na Figura 3).

No caso dos dados relativizados no Modelo 3, deve-se tomar a cautela de compreender que, em um primeiro momento, este Modelo já está executando um CRS antes do VRS, pois todos os dados do Modelo são razões cujo denominador é a população urbana dos municípios. Os resultados dos três Modelos são apresentados, discutidos e comparados a seguir.

#### 4. Resultados e discussão

Foram analisadas as eficiências relativas das DMUs usando um Modelo sem restrições e três Modelos com as restrições aos pesos.

##### 4.1. Modelo sem restrições aos pesos

O Modelo sem restrições apresentou uma grande quantidade de DMUs eficientes: 31 das 41 analisadas.

No entanto, este Modelo permitiu que algumas das variáveis tivessem pesos nulos atribuídos (Tabela 5), o que significa que há folgas entre o valor do *input* ou *output* e o alvo projetado na fronteira de eficiência. Desta forma, as DMUs eficientes neste Modelo não são eficientes em todas as dimensões da fronteira.

Tabela 5. Eficiência relativa e multiplicadores de DMUs no modelo sem restrições aos pesos

DMU	Eficiência (h)	Multiplicadores dos inputs na fronteira de eficiência relativa			
		Despesas	Trabalhadores	Caminhões	Resíduos gerados
Palmas	1,00	0,00000	0,00232	0,00000	0,00064
Fortaleza	1,00	0,00006	0,00000	0,00213	0,00000
Brasília	1,00	0,00000	0,00001	0,00024	0,00017
Belo Horizonte	1,00	0,00006	0,00000	0,00207	0,00000
Porto Alegre	1,00	0,00014	0,00000	0,00495	0,00000
Goiânia	0,993	0,00000	0,00000	0,00000	0,00083

##### 4.2. Modelos com restrições aos pesos

Os Modelos com restrições foram programados de acordo com as definições mencionadas no Item 3.3.

Uma das conseqüências da utilização das restrições foi a maior distribuição dos pesos virtuais – porcentagem da importância relativa dos *inputs* e *outputs*, calculadas multiplicando os pesos pelos valores das variáveis. A Tabela 6 exibe alguns valores para pesos virtuais no Modelo 1. Nesta Tabela, pode-se verificar que algumas variáveis (como as despesas em Palmas, ou os resíduos gerados em Nova Iguaçu) ainda recebem pesos relativos bastante elevados. Por outro lado, se as restrições fossem mais punitivas, teríamos ainda menos DMUs eficientes nas fronteiras.

Tabela 6. Pesos virtuais dos inputs e outputs nas DMUs mais eficientes do Modelo 1

DMU	Pesos virtuais na fronteira de eficiência relativa					
	Inputs				Outputs	
	Despesas	Trabalhadores	Caminhões	Resíduos gerados	Resíduos coletados	Pop. atendida
São Paulo	35,7%	7,2%	0,3%	56,9%	0,549	0,470
Belém	31,1%	10,5%	0,3%	58,2%	0,494	0,648
Palmas	75,1%	15,1%	0,1%	9,6%	0,082	0,060
Porto Alegre	17,7%	18,7%	0,2%	63,4%	0,634	0,612
São Gonçalo	27,7%	6,1%	0,3%	65,9%	0,659	0,648
Sorocaba	32,2%	7,1%	0,1%	60,5%	0,515	0,486
Londrina	22,0%	9,5%	0,2%	68,3%	0,683	0,581
Nova Iguaçu	23,4%	4,6%	0,2%	71,8%	0,718	0,369
Campo Grande	27,8%	5,7%	0,1%	66,3%	0,564	0,555

### 4.2.1. Eficiência das DMUs

Diferentemente do Modelo sem restrições, há poucas DMUs eficientes nos Modelos restritos: no Modelo 1, são 7 das 41 analisadas; no Modelo 2, 8 DMUs eficientes; e no Modelo 3, apenas 2 DMUs. Apenas duas DMUs foram consideradas eficientes nos três Modelos: os sistemas de Londrina e Sorocaba.

Em geral, os Modelos com restrições aos pesos, em detrimento das peculiaridades em suas formulações (Item 3.3), apresentaram boa coerência em seus resultados. A Figura 2 exibe as eficiências relativas das DMUs consideradas mais eficientes nos três Modelos. A Figura 3 exibe as eficiências das DMUs consideradas menos eficientes.

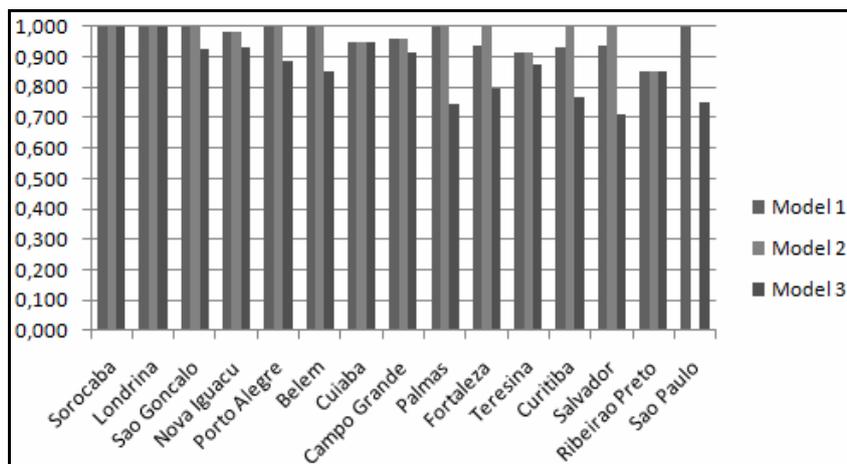


Figura 2. Eficiências relativas das DMUs mais eficientes nos três Modelos

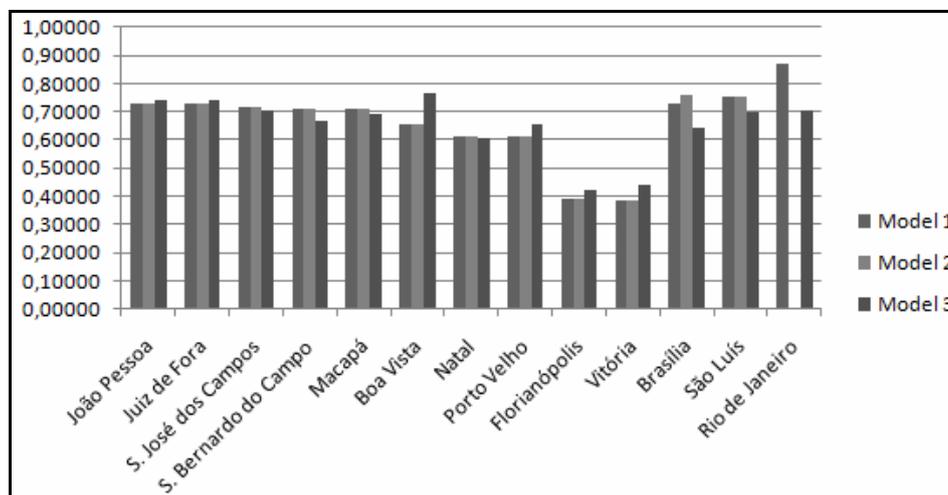


Figura 3. Eficiências relativas das DMUs menos eficientes nos três Modelos

O Modelo 3 foi mais restritivo, pois desconsiderou o porte populacional que, nos Modelos 1 e 2, era proporcional aos maiores valores de outputs, bem como aos menores valores de inputs. Isto explica as variações que ocorreram nas eficiências de DMUs como Palmas (menor população dentre as DMUs analisadas) e São Paulo (maior população). As demais variações dos resultados do Modelo 3 em relação aos outros dois Modelos restritos podem ser explicadas pelas deformações provocadas na fronteira de eficiência, pelas DMUs eficientes, que distanciaram das DMUs ineficientes as faces das fronteiras (Figura 4). Na Figura 4, a fronteira é apresentada para

os valores relativizados em função da população, mas ainda sem a aplicação das restrições. Quando isto ocorre, somente Londrina e Sorocaba permanecem na fronteira.

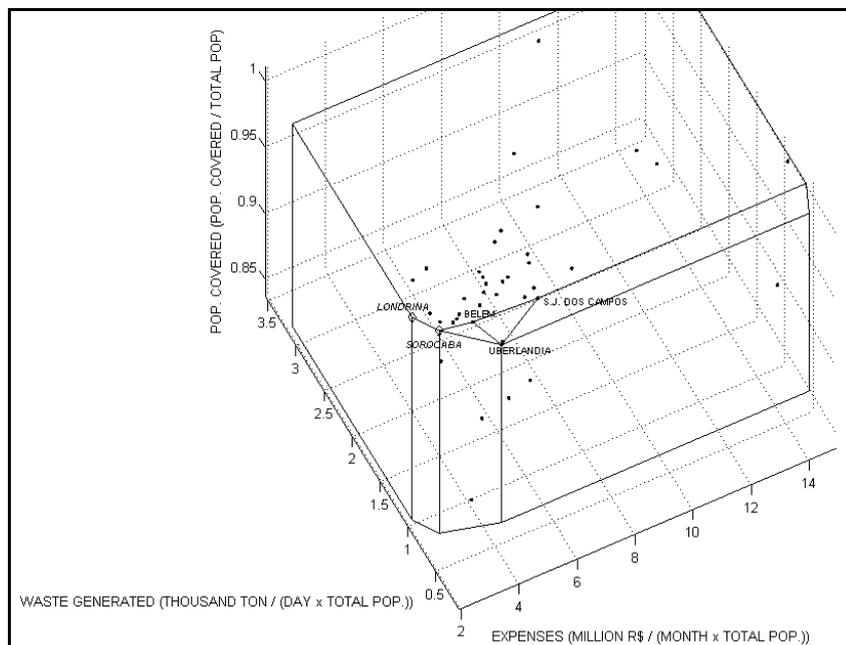


Figura 4. Fronteira de eficiência do Modelo 3 (sem restrições)

#### 4.2.2. Validação dos resultados

Os resultados obtidos nos Modelos DEA são, em alguns casos, validados por referências da literatura. No caso de Porto Alegre, seu sistema de manejo de resíduos sólidos é pioneiro no país em diversos aspectos (por exemplo, é um dos únicos municípios a ter 100% da população atendida pela coleta seletiva), e é considerado uma referência de topo no país, ou seja, um benchmark para outros sistemas (Costa et al, 2006; Simonetto & Borenstein, 2007).

A cidade de Londrina, em 2008, tinha 85% da sua população atendida pela coleta seletiva, a um custo unitário relativamente muito baixo (US\$ 21,76 por tonelada coletada em Londrina, em Porto Alegre US\$ 159,41/ton, chegando a US\$ 587/ton na cidade de Santos), fator que atesta um gerenciamento mais eficiente dos resíduos deste município. Como indicativo de eficiência, em 2010 Londrina conseguiu expandir sua coleta seletiva para 90% da população, reduzindo o custo unitário para US\$ 7,2/ton. Porto Alegre reduziu o custo para US\$ 81/ton, mantendo os 100% de atendimento (CEMPRE, 2010). Todos estes progressos na coleta seletiva refletem uma evolução na eficiência da coleta de resíduos sólidos urbanos.

#### 4.2.3. Avaliação segundo o porte populacional dos municípios e a natureza jurídica das entidades responsáveis pelo manejo dos resíduos

Segundo o porte populacional dos municípios, as maiores eficiências dos sistemas de coleta de resíduos concentraram-se em duas faixas populacionais: entre 500 e 750 mil habitantes; e entre 1 e 2 milhões de habitantes (Figura 5). Destas, a primeira faixa pode ser considerada a mais eficiente, pois teve uma coerência nos três Modelos restritos. A segunda faixa (1-2 milhões de habitantes) foi considerada mais eficiente nos Modelos 1 e 2, e a segunda mais eficiente no Modelo 3. Isto se justifica pelo já exposto anteriormente: que uma maior população implica em maiores valores absolutos para os *outputs* dos sistemas. No Modelo 3, verifica-se a dominância da faixa entre 500-750 mil habitantes para as maiores eficiências (Figura 6, onde lê-se a população no eixo y, e as eficiências no eixo x).

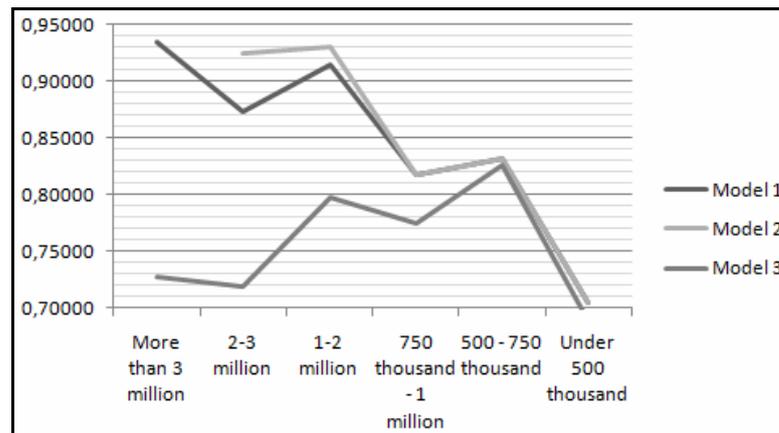


Figura 5. Eficiências médias das DMUs segundo porte populacional

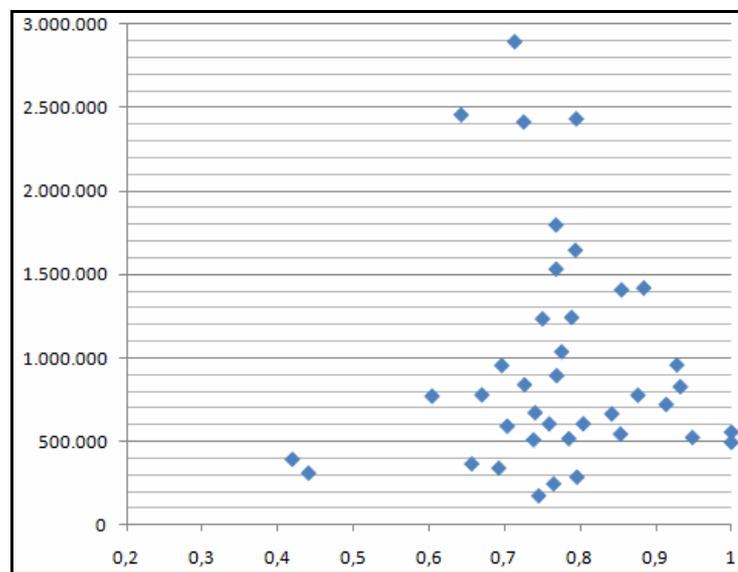


Figura 6. Dispersão das eficiências das DMUs no Modelo 3, segundo população

Analisando as eficiências em função da natureza jurídica das entidades responsáveis pelo manejo de resíduos (englobando todos os serviços de gerenciamento de resíduos ilustrados na Figura 1), observa-se uma coerência nos três Modelos, em considerar mais eficiente as empresas públicas. Por outro lado, as sociedades de economia mista com capital público foram consideradas menos eficientes em todos os Modelos (Figura 7).

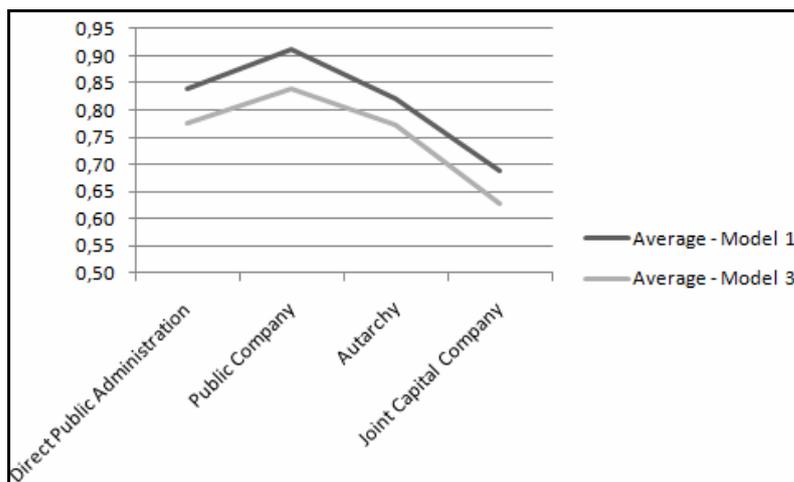


Figura 7. Eficiências médias segundo a natureza jurídica das entidades

## 5. Conclusões

Em síntese, as principais conclusões neste trabalho são:

- O modelo clássico, sem restrições, apresentou uma grande quantidade de DMUs eficientes, mas permitiu que fossem atribuídos pesos nulos para alguns de seus *inputs* e *outputs*. Os modelos com restrições geraram um número baixo de DMUs eficientes, mas não permitiram que houvesse folgas na fronteira de eficiência;
- Londrina e Sorocaba foram os únicos sistemas considerados eficientes em todos os modelos, e, portanto, são os *benchmarks* mais interessantes para as demais DMUs;
- Houve coerência nas eficiências obtidas nos Modelos 1, 2 e 3, comparativamente, tanto para as DMUs mais eficientes quanto para as mais ineficientes;
- Em função do porte populacional dos municípios, as maiores eficiências concentraram-se na faixa entre 500 e 750 mil habitantes, considerando os três Modelos restritos. A faixa entre 1 e 2 milhões de habitantes foi mais eficiente nos Modelos 1 e 2, e a segunda mais eficiente no Modelo 3;
- Em função da natureza jurídica das entidades responsáveis pelo manejo de resíduos, as empresas públicas foram as mais eficientes, e as sociedades de economia mista, as menos eficientes, nos três Modelos restritos.

## Referências

- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais, *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. ABRELPE (www.abrelpe.org.br), 2008.
- Akazili, J. *et al* (2008), Using Data Envelopment Analysis To Measure The Extent Of Technical Efficiency Of Public Health Centres In Ghana, *BMC International Health and Human Right*, 8:11.
- Compromisso Empresarial para Reciclagem, *Pesquisa Ciclossoft 2010*, CEMPRE (www.cempre.org.br), 2010.
- Chen, H.W. *et al* (2010), Environmental Performance Evaluation Of Large-Scale Municipal Solid Waste Incinerators Using Data Envelopment Analysis, *Waste Management*, 30, 1371-1381.
- Costa *et al*, *Experiências de Êxito em Serviços Municipais de Saneamento*, Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, Brasília, 2006.
- Cracolici, M.F., Nijkamp, P. e Cuffaro (2007), Efficiency And Productivity Of Italian Tourist Destinations: A Quantitative Estimation Based On Data Envelopment Analysis And The Malmquist Method, *Advances in Modern Tourism Researches*, Part III, 325-343.
- Den Boer *et al* (2007), LCA-IWM: a Decision Support Tool for Sustainability Assessment of Waste Management Systems, *Waste Management*, 27, 1032-1045.

- Duan, X., Deng, H. e Corbit, B.** (2008), The Impacts Of Government Policies On The Efficiency Of Australian Universities: A Multi-Period Data Envelopment Analysis, *International Conference on Computational Intelligence and Security*, 1, 522-527.
- Gallardo, A. et al** (2010), Comparison of Different Collection Systems for Sorted Household Waste in Spain, *Waste Management*, 30, 744-754.
- Honma, S. e Hu, J.L.** (2009), Efficient Waste And Pollution Abatements For Regions In Japan, *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 16, No. 4, August 2009, 270-285.
- Hu, Y., Zhang, Z., e Liang, W.** (2009), Efficiency Of Primary Schools In Beijing, China: An Evaluation By Data Envelopment Analysis, *International Journal of Educational Management*, Vol. 3, N° 1, 34-50.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, IBGE (www.ibge.gov.br), 2008.
- Jiang, C.** (2009), A Model Of Evaluating Transportation System Efficiency Based On Data Envelopment Analysis, *Second International Symposium on Eletronic Commerce and Security*, 2, 337-342.
- Kirigia, J.M., Emrouznejad, A. e Sambo, L.G.** (2002), Measurement Of Technical Efficiency Of Public Hospitals In Kenya: Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Medical Systems*, Vol. 26, No. 1, 39-45.
- Larsen, A.W. et al** (2010), Waste Collection Systems for Recyclables: an Environmental and Economic Assessment for the Municipality of Arhus (Denmark), *Waste Management*, 30, 744-754.
- Lins, M.P.E. et al** (2007a), O Uso Da Análise Envoltória De Dados (DEA) Para Avaliação De Hospitais Universitários Brasileiros, *Ciência & Saúde Coletiva*, 12, 985-998.
- Lins, M.P.E. et al** (2007b), Integrating The Regulatory And Utility Firms Perspectives, When Measuring The Efficiency Of Electricity Distribution, *European Journal of Operational Research*, 181, 1413-1424.
- Monteiro, J.H.P. et al**, *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, IBAM (www.ibam.gov.br), 2008.
- Noura et al** (2010), A New Method For Measuring Congestion In Data Envelopment Analysis, *Socio-Economic Planning Sciences*, 44, 240-246.
- Nunes, K.R.A. et al** (2007), Evaluation of Investments in Recycling Centres for Construction and Demolition Wastes in Brazilian Municipalities, *Waste Management*, 27, 1531-1540.
- Ogawa, H. e Tanahashi, K.** (2008), Effect of New Public Management: Data Envelopment Analysis, *Government Auditing Review*, 15.
- Ozcan, Y.A. et al** (2009), Evaluating The Performance Of Brazilian University Hospitals, *Annals of Operational Research*, 1-15.
- Pahwa, A., Feng, X. e Lubkeman, D.** (2003), Performance Evaluation Of Electric Distribution Utilities Based On Data Envelopment Analysis, *Transactions on Power Systems*, 18, Issue 1, 400-405.
- Sahin, I., Ozcan, Y.A.** (2000), Public Sector Hospital Efficiency For Provincial Markets In Turkey, *Journal of Medical Systems*, 24, Issue 6, 307-320.
- Simões, P., De Witte, K. e Marques, R.C.** (2010), Regulatory Structures and Operational Environment in the Portuguese Waste Sector, *Waste Management*, 30, 1130-1137.
- Simonetto, E.O. e Borenstein, D.** (2007), A Decision Support System for the Operational Planning of Solid Waste Collection, *Waste Management*, 27, 1286-1297.
- Ministério das Cidades**, *Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (2007)*, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (www.snis.gov.br), 2007.
- Slack, N. et al**, *Administração da Produção (2ª. Ed.)*, Atlas, São Paulo, 2002.
- Thanassoulis, E., Portela, M.C.S. e Despic, D.**, *Data Envelopment Analysis: Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis*, in: **Fried, H.O., Knox Lovell, C.A., Schmidt, S.S. (Eds.)**, *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*, Oxford University Press, Inc., New York, 2008.



**UN-HABITAT**, Solid Waste Management in World 's Cities: Water and Sanitation in The World's Cities, UN-Habitat/Earthscan, London/Washington D.C., 2010.

**Vilhena (Coord.)**, *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado* (3ª. Ed.), CEMPRE, São Paulo, 2010.

**Worthington, A.C.** (2001), Measuring Efficiency In Local Government: An Analysis Of New South Wales Municipalities, *Policy Studies Journal*, 29, Issue 2, 232.

**Yang, A. et al** (2009), Data envelopment analysis based efficiency assessment of power plants, *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*.