

Eficiência técnica dos Serviços de água e esgoto no Brasil por tipo de atuação e gestão

Felipe Ponciano da Cruz*

Ronaldo Seroa da Motta†

Alexandre Marinho‡

Resumo

O trabalho analisa a eficiência técnica do setor de saneamento no Brasil considerando diferentes áreas de atuação, natureza da administração e tipos de serviços prestados entre os anos de 2006 e 2015. Para tal, utiliza um modelo de programação matemática denominado *Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis- DEA)* com auxílio das técnicas *Jackstrap*, para detectar os *outliers*, e do *bootstrap*, para corrigir o viés e gerar intervalos de confiança, de modo a calcular escores robustos de eficiência técnica. Os resultados indicam que há economias de escopo quando os serviços de água e esgoto são ofertados pela mesma prestadora. Em geral, também se constatou maior eficiência na gestão privada do que na pública e das prestadoras regionais em relação às locais.

Palavras-chave: Água e Esgoto; Eficiência; Análise Envoltória de Dados

JEL: L95

1 Introdução

A Lei Nacional do Saneamento Básico (Lei 11.445 de 2007)¹ define que os serviços de saneamento serão prestados com eficiência e sustentabilidade econômica e os contratos de concessão devem prever metas progressivas e graduais de expansão de serviços, de qualidade, de eficiência e de uso racional da água e da energia. E, mais ainda, que essa prestação deve conter mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da

*Mestre em economia pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas (PPGCE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1794-5946>.

†Professor Adjunto do PPGCE/UERJ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1035-4545>.

‡Técnico de Planejamento e Pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e professor associado da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FCE/UERJ). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9152-3584>.

¹Brasil (2007)

eficiência e eficácia das ações programadas. A política tarifária deve, portanto, incluir incentivos à eficiência na prestação de serviços.

A evolução regulatória e institucional da prestação de serviços de distribuição de água e coleta e tratamento de esgotos no Brasil permitiu a formação de empresas prestadoras desses serviços com distintas coberturas de atuação e de gestão (ver Seroa da Motta e Moreira, 2006; e Salles, 2008).

Quanto à abrangência da área de atuação as prestadoras seriam:

- Regional – companhias estaduais que atendem vários municípios;
- Microrregional – consórcios intermunicipais que atendem a dois ou mais municípios próximos; e
- Local – companhias municipais que atendem apenas um município.

Já quanto à natureza da administração as prestadoras seriam:

- Privada – empresa privada com gestão exclusiva de particulares;
- Pública – empresa pública ou de economia mista com gestão pública; e
- Organizações Sociais – entidade sem fins lucrativos com gestão privada.

Essas prestadoras podem atuar separadamente no serviço de abastecimento de água ou de esgoto, assim como prestar os dois serviços. Embora o poder concedente seja municipal, a dominância das regionais foi fruto do marco regulatório dos anos 70 que incentivou aos municípios a realizarem contratos com as empresas regionais para remediar a fraqueza institucional das empresas locais, aproveitar a potencial presença de economias de escala e poder exercer subsídios cruzados entre municípios ricos e pobres (ver Seroa da Motta, 2004).

As atuais 28 companhias estaduais cobrem 73,7% e 58,8% da população urbana nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário respectivamente, as quais, na maioria das vezes, prestam serviços de água e esgotos conjuntamente e, exceto em um Estado, todas são públicas (Ministério das Cidades, 2017).

Já as prestadoras locais atendem menos do que 30% dos usuários urbanos, mas mesmo com menor cobertura em termos populações do que as regionais, são em maior número, chegando a 1.408 em todo país, dentre estas apenas 85 são privadas (Ministério das Cidades, 2017). As microrregionais, as de menor representação, cobrem cerca de 0,5% dos usuários urbanos (Ministério das Cidades, 2017).

Iniciada na década de 90, a participação das empresas privadas no setor ainda é incipiente por razões políticas, incerteza no marco regulatório e conflito do poder de concessão entre estados e municípios (ver Seroa da Motta e Moreira, 2006; e Seroa da Motta, 2004).

Quase 50% das operadoras do país oferecem serviços de abastecimento de água em conjunto com os serviços de coleta e tratamento de esgoto. No restante, o serviço de esgoto não é realizado, geralmente pela restrição de financiamento, ou é prestado por outra operadora regional ou privada.

Dessa forma, cada tipo de atuação e gestão enfrenta diferentes incentivos que podem afetar a eficiência (em termos que serão definidos) da operação. A literatura que analisa esses efeitos, todavia, não é livre de controvérsia. De qualquer modo, a necessidade de operar de modo eficiente na prestação de serviços públicos é uma determinação constitucional, conforme o caput do Artigo 37 da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 2006).

Neste ponto, cabe uma breve discussão sobre o conceito de eficiência que será adotado no presente texto, o conceito de *Pareto-Koopmans*, largamente adotado em economia. De acordo com Koopmans (1951), uma unidade produtiva é eficiente se um aumento em qualquer *output* requer a redução da quantidade de pelo menos um outro *output* ou o aumento da quantidade de pelo menos um *input*, e se a redução de qualquer *input* requer um aumento da quantidade de pelo menos um outro *input* para manter as quantidades de todos os *outputs* ou a redução da quantidade de pelo menos um *output*. Um produtor tecnicamente ineficiente poderia produzir as mesmas quantidades de todos os *outputs* utilizando menor quantidade de pelo menos um *input* ou utilizar as mesmas quantidades de todos os *inputs* para produzir mais de pelo menos um *output*.

Entre as diversas metodologias que utilizam o conceito de *Pareto-Koopmans*, destaca-se o método não paramétrico e não estocástico conhecido como Análise Envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), devido a Charnes, Cooper e Rhodes, 1978, e que será discutido em detalhes mais adiante.

Carvalho (2014) analisa dez trabalhos internacionais que utilizaram a Análise Envoltória de Dados e verifica que há falta de consenso no que se refere ao impacto do tipo de propriedade (pública ou privada) sobre a eficiência dos prestadores. A autora com modelo DEA *input* orientado e índice de Malmquist estima escores de eficiência para operadoras brasileiras entre 2006 e 2011, os resultados indicam escores médios maiores para prestadores privados.

Carmo e Távora Junior (2003) analisando apenas as regionais apontam por meio de um modelo DEA que a ineficiência técnica é mais expressiva que a ineficiência de escala e a região com o melhor resultado foi a Sudeste e a de pior, o Nordeste.

Tupper e Resende (2004) utilizam o modelo DEA *output* orientado com retornos variáveis de escala analisando a eficiência no período de 1996-2000 apenas para as empresas regionais encontraram diferenças nos níveis de produtividade que poderiam ser reduzidos se um adequado mecanismo de estabelecimento de tarifas estivesse vigorando.

Seroa da Motta e Moreira (2006) utilizando a técnica DEA em um modelo *input* orientado e de índice de Malmquist sugere que para o período 1998-2002 há uma dominância de eficiência das locais sobre as regionais. Essa superioridade é ainda mais importante

posto que as estimativas identificam economias de escalas maiores para as regionais. Os autores não observaram diferença na eficiência entre os operadores locais públicos ou privados. Por outro lado, verificaram que o efeito emparelhamento foi maior do que a mudança de fronteira e que as prestadoras privadas se aproximaram mais rapidamente da fronteira do que as públicas.

Barbosa (2012) adota a técnica DEA com um modelo aditivo *Dynamic Slack Based Model* – DSBM para o período de 2005-2010. Os resultados indicam uma baixa evolução na produtividade geral.

Dessa maneira percebe-se a falta de consenso sobre a diferença de eficiência entre as empresas públicas e privadas e quanto a área de abrangência. Já em relação aos tipos de serviços prestados, os trabalhos que utilizaram DEA não focaram nesta comparação.

Assim, devido à indefinição sobre a melhor modelagem para as prestadoras de saneamento, o presente trabalho propõe continuar os estudos sobre a eficiência do setor com o objetivo de comparar a eficiência das diferentes áreas de atuação, natureza da administração e tipos de serviços prestados. Assim, é válido ressaltar que o trabalho não oferece um ordenamento por eficiência das operadoras de saneamento no Brasil, mas sim como suas características operativas e gerenciais determinam tendência e incentivos à eficiência.

Quanto ao método utilizado, o trabalho suaviza alguns problemas da DEA que decorrem de sua natureza determinística, adicionando robustez às análises de eficiência dos prestadores de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Primeiramente, o método proposto é sensível *outliers*, esse problema será enfrentado com o método *jackstrap* sugerido por Stošić e Sampaio de Sousa (2003), Sampaio de Sousa e Stošić (2005) e Sampaio de Sousa, Cribari-Neto e Stošić (2005). Além disso, fronteira estimada pela DEA superestima a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units* - DMUs), pois não há garantias de que a amostra retrate o melhor esforço possível de todas elas, e os estimadores de eficiência são, portanto, viesados para cima. Será utilizada a técnica *bootstrap*, a partir de Simar e Wilson (1998), de modo a corrigir o viés dos escores e estimar intervalos de confiança.

Desse modo, será adotado um modelo DEA, com retornos variáveis de escala e orientação para os *outputs* com aplicação de técnicas do *jackstrap* e do *bootstrap* para tornar os estimadores de DEA mais robustos. Ademais, a amostra utilizada é proveniente do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) entre os anos de 2006 e 2015.

Após uma breve introdução serão apresentados o modelo, a base de dados, os resultados e, por fim, as conclusões.

2 O Modelo

Conforme já assinalado, o conceito de eficiência econômica é influenciado por Pareto e Koopmans (1951) e pode ser entendido como a utilização ótima de *inputs* e *outputs*,

ou seja, o valor máximo de *outputs* gerados dada uma determinada quantidade de *inputs*, ou, de maneira análoga, o mínimo de *inputs* utilizados dada uma quantidade de *outputs* produzidos.

A Análise Envoltória de Dados é um modelo não paramétrico e não estocástico, onde a fronteira de produção é gerada de maneira implícita por programação linear, pode ter retornos constante (CCR²), equivalente à eficiência técnica de longo prazo, ou variáveis (BCC³), equivalente à eficiência técnica de curto prazo. Também é possível estimar eficiência de escala. Os modelos direcionam as DMUs para a fronteira de eficiência buscando a expansão dos outputs mantendo os inputs fixos (modelos com orientação para os outputs) ou, alternativamente, podem fixar os outputs e minimizar o emprego dos inputs (modelos com orientação para os inputs). As DMU's são as unidades básicas do estudo de eficiência e devem ser homogêneas, utilizar os mesmos inputs e outputs, bem como serem autônomas no processo decisório.

A DEA é largamente adotada para a mensuração de eficiência no setor de saneamento por não demandar especificação de preços, uma vez que as prestadoras são monopolistas em sua área de atuação e as tarifas podem ser consideradas distorcidas devido a influências políticas.

O modelo DEA *output* orientado em sua forma primal (modelo da envoltória), com retornos constantes (modelo CCR) pode ser assim representado:

$$\text{Max} h_0 \tag{1}$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} -h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\ x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned}$$

No modelo da envoltória com retornos constantes de escala, h é a medida de expansão radial, λ 's são os pesos das combinações convexas das DMU's e x_{ik} e y_{jk} são os inputs i e outputs j da DMU k , $k = 1, \dots, n$; x_{i0} e y_{j0} são os inputs i e outputs j da DMU_0 . A DMU é eficiente quando encontrarmos $h_0 = 1$. Como $h_0 \geq 1$, para encontrarmos a eficiência devemos fazer $\frac{1}{h_0}$.

A diferença do BCC e do CCR do Modelo da Envoltória *output* orientado é o acréscimo da restrição, $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$, que impõe convexidade à fronteira.

²Ver Charnes, Cooper, Rhodes (1978).

³Ver Banker, Charnes, Cooper (1984).

2.1 Tratamento de *Outliers*

A base de dados do SNIS tem procedimento autodeclaratório que favorece alguns valores inconsistentes que pela sensibilidade do DEA aos valores extremos requer um cuidado especial com potenciais *outliers*. Assim sendo, vamos adotar técnica *jackstrap* proposta por Stošić e Sampaio de Sousa (2003) para tratar *outliers*. A técnica combina o esquema *jackknife* e a técnica de reamostragem *bootstrap* de modo a automatizar a detecção de *outliers* com a vantagem de não possuir inspeções manuais o que viabiliza sua utilização em grandes amostras (Sampaio de Sousa; Cribari-Neto e Stošić, 2005).

O método se baseia no cálculo do *leverage* de cada DMU, ou seja, no efeito que a retirada de determinada DMU da amostra causa na eficiência das demais DMUs. Assim o *leverage* da DMU pode ser representada pelo desvio-padrão dos escores de eficiência das demais DMUs antes e depois da retirada da DMU j do conjunto de dados:

$$\ell_j = \sqrt{\frac{\sum_{k=1, k \neq j} (\theta_{kj}^* - \theta_k)^2}{k-1}} \quad (2)$$

Onde $\theta_k | k = \dots K$ são os escores calculados utilizando todos os dados, já $\theta_{kj}^* | k = \dots K; k \neq j$ são os escores recalculados em que $j = 1, \dots, K$ representa a DMU retirada. É de se esperar que os *outliers* tenham um valor maior de *leverage* do que a média, entretanto para uma grande quantidade de DMUs a resolução de $K \times (K - 1)$ programas lineares é inviável.

Desta forma, Stošić e Sampaio de Sousa (2003) propuseram um procedimento estocástico que combina o *bootstrap* com o *jackknife*, sumarizado da seguinte forma:

1. Selecionar aleatoriamente um subconjunto de L DMUs e realizar o cálculo dos *leverages* $\tilde{\ell}_{k1}$, onde k é selecionado aleatoriamente do conjunto $1 \dots K$;
2. Repetir o passo acima B vezes para calcular os *leverages* $\tilde{\ell}_{kb}$ ($b = 1, \dots, B$), de modo que para B grande o suficiente, cada DMU será selecionada $nl \approx BL/K$ vezes; e
3. Calcular o *leverage* médio de cada DMU, $\tilde{\ell}_{kb} = \sum_{b=1}^{nl} \tilde{\ell}_{kb}/nl$, e a média global $\tilde{\ell} = \sum_{k=1}^K \tilde{\ell}_k/K$.

Os valores calculados de *leverage* podem ser utilizados para encontrar, suprimir ou tratar os *outliers*. Assim podemos criar distribuições empíricas por meio da reamostragem, de modo a penalizar os altos valores de *leverage*, para tanto a função de distribuição *Heaviside step* é a que apresentou os resultados mais satisfatórios e nos permite escolher um valor limiar:

$$P(\tilde{\ell}_k) = \begin{cases} 1, & \tilde{\ell}_k < \tilde{\ell} \log K \\ 0, & \tilde{\ell}_k \geq \tilde{\ell} \log K \end{cases} \quad (3)$$

2.2 Estimando Intervalos de Confiança

Simar e Wilson (1998) propuseram um tipo especial de *bootstrap* que com auxílio dos métodos de alisamento e reflexão de modo a estimar a variância e o intervalo de confiança dos escores de eficiência de um modelo DEA.

O alisamento corrige a amostra determinada pelo *bootstrap* com o uso do fator $h\epsilon$, onde h é a faixa de amplitude (*bandwidth*) e ϵ é gerado a partir de uma distribuição normal. Ele procura impedir o aparecimento de valores repetidos, que provocariam picos na distribuição do estimador.

O método da reflexão visa evitar o problema do surgimento de uma grande quantidade de escores de eficiência próximos da unidade, o que implicaria em viés e inconsistência no estimador. A cada escore de eficiência \tilde{E}_k é calculado um reflexo $2 - \tilde{E}_k$, e usamos sempre o valor menor ou igual a unidade. De tal modo que a média, $[(\tilde{E}_k + 2 - \tilde{E}_k)/2] = 1$, será e simétrica em torno da unidade⁴.

Outros benefícios do *bootstrap* utilizado, além de gerar intervalos de confiança, são normalizar e corrigir o viés dos escores de eficiência⁵.

Em suma, as prestadoras de serviço de saneamento serão as DMUs do modelo que, portanto, defrontam com a mesma tecnologia (T), desconhecida, e por meio do DEA estimaremos a tecnologia (\hat{T}) por meio da programação linear juntamente com o princípio da extrapolação mínima.

Como a maioria das prestadoras é pública, onde a gestão de custos é mais difícil e a expansão do produto prevalece, o modelo *output* orientado parece mais apropriado. Além disso, a universalização do saneamento está longe de ser alcançada no Brasil e há um claro interesse social na expansão dos serviços.

Há que se considerar também retornos variáveis de escala dada a grande variedade entre as prestadoras locais e regionais (Sampaio e Sampaio, 2007) e pela dificuldade de as DMUs mudarem de tamanho no curto prazo.

Depois será utilizada a técnica *bootstrap* para estimar o viés e corrigir os escores de eficiência. Agora com os escores robustos será realizado, quando necessário, o teste Kolmogorov-Smirnov para comparar o desempenho das empresas discriminando por diferentes: i) áreas de atuação; ii) natureza da administração; e iii) tipos de serviços prestados.

O teste Kolmogorov-Smirnov é recomendado no caso do DEA devido à distribuição

⁴Para verificar o método detalhadamente ver Bogetoft e Otto (2011, p. 173)

⁵Conforme Bogetoft e Otto (2011, p. 173) o escore sem viés é dado por: $\hat{\theta}^k = 2\hat{\theta}^k - \hat{\theta}^{k*}$

não normal dos escores (Bogetoft; Otto, 2011). O teste t é auxiliar na comparação entre os grupos já que assume a normalidade dos dados.

Serão utilizados o pacote FEAR, que foi desenvolvido por Wilson (2008) e é disponibilizado em sua página pessoal⁶, por meio do programa R. O aplicativo Jackstrap permitirá a utilização do método desenvolvido por Stošić e Sampaio de Sousa (2003), Sampaio de Sousa e Stošić (2005) e Sampaio de Sousa, Cribari-Neto e Stošić (2005).

3 Base de Dados

Os dados que serão utilizados no trabalho serão da série histórica do SNIS entre os anos de 2006 e 2015⁷. As variáveis selecionadas se encontram no Quadro 1 abaixo.

Como *input* será utilizada a Despesa de exploração (FN015) atualizada para o ano 2015 utilizando o IGP-DI, de modo a refletir os custos de produção dos serviços. Esse indicador é adequado para a mensuração de eficiência (Seroa da Motta e Moreira, 2006) e está presente na maioria dos estudos analisados (Seroa da Motta e Moreira, 2006; Barbosa, 2012; e Carvalho, 2014).

Os *outputs* referem-se aos três principais serviços de água e esgoto, a saber: (i) economias ativas de água (AG003) e volume consumido (AG010) relativos ao abastecimento de água potável; (ii) economias servidas por coleta de esgoto (ES003) e volume coletado (ES005) relativos à coleta de esgotos; e (iii) volume de esgoto tratado (ES006) relativo ao tratamento.

Os *outputs* AG003 e ES003 significam a disponibilidade dos serviços e representam o objetivo da universalização com o aumento da cobertura da prestação dos serviços de água e esgoto, respectivamente.

Já AG010, ES005 e ES006 são volumes dos serviços de saneamento prestados. O acréscimo da variável relativa ao volume de esgoto tratado é justificado, pois nem todo o esgoto coletado é tratado.

A amostra inicial contou com 9308⁸ observações entre os anos de 2006 e 2015, tal como mostra a Tabela 1.

A Tabela 1 demonstra que a maioria da amostra conta com prestadoras públicas e locais, mas, apesar do menor número, as prestadoras regionais atendem a maioria da população brasileira (Ministério das Cidades, 2017). Vale observar também que as Organi-

⁶<<http://www.clemson.edu/economics/faculty/wilson/Software/FEAR/fear.html>>

⁷<<http://www.snis.gov.br>>

⁸Foram descartadas as observações que não contavam com informações sobre os inputs e outputs utilizados no estudo seguindo os seguintes critérios: i) FN015 sem informação; ii) Prestadora de Água com AG003 ou AG010 sem informação; iii) Prestadora de Esgoto com ES003 ou ES005 ou ES006 sem informação; e iv) Prestadora de Água e Esgoto com AG003 ou AG010 ou ES003 ou ES005 ou ES006 sem informação.

Quadro 1 - Descrição dos *inputs* e *outputs* utilizados

Variáveis	Sigla / Unidade	Definição no Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
Despesas de exploração (input)	FN015 (R\$/ano)	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica, serviços de terceiros, água importada, esgoto exportado, despesas fiscais ou tributárias computadas na DEX, além de outras despesas de exploração.
Economias ativas de água (output)	AG003 (economias)	Quantidade de economias ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
Economias ativas de esgotos (output)	ES003 (economias)	Quantidade de economias ativas de esgotos que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
Volume de Água Consumido (output)	AG010 (1.000 m ³ /ano)	Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido (AG008), o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (AG019) para outro prestador de serviços.
Volume de Esgoto Coletado (output)	ES005 (1.000 m ³ /ano)	Volume anual de esgoto lançado na rede coletora. Em geral é considerado como sendo de 80% a 85% do volume de água consumido na mesma economia. Não inclui volume de esgoto bruto importado (ES013).
Volume de Esgoto Tratado (output)	ES006 (1.000 m ³ /ano)	Volume anual de esgoto coletado na área de atuação do prestador de serviços e que foi submetido a tratamento, medido ou estimado na(s) entrada(s) da(s) ETE(s). Não inclui o volume de esgoto bruto importado que foi tratado nas instalações do importador (informação ES014), nem o volume de esgoto bruto exportado que foi tratado nas instalações do importador (ES015).

Fonte: Os Autores (2019). em Economias Ativas de Água, a palavra Economia - Imóvel de uma única ocupação, ou subdivisão de imóvel com ocupação independente das demais, perfeitamente identificável ou comprovável em função da finalidade de sua ocupação legal, dotado de instalação privativa ou comum para o uso dos serviços de abastecimento de água ou de coleta de esgoto. Ex: um prédio com 10 apartamentos possui uma ligação e 10 economias. Fonte:<<http://www.mzweb.com.br/copasa/web/conteudo_pt.asp?idioma=0&tipo=28109&conta=28&id=74922>>

zações Sociais e as empresas Microrregionais são de baixa representatividade na amostra que reflete a situação no quadro nacional.

Tabela 1 - Natureza da Administração (Pública, Privada ou Organização Social), Área de Abrangência (Regional, Local ou Microrregional) e Serviços Prestados (Água, Esgoto ou Água e Esgoto) das prestadoras utilizadas no estudo.

Formato das Prestadoras	Pública	Privada	Organização Social	Total
Local / Esgoto	1139	19	0	1158
Local / Água	3094	221	17	3332
Local / Água e Esgoto	4215	288	0	4503
Regional / Esgoto	0	0	0	0
Regional / Água	19	0	0	19
Regional / Água e Esgoto	238	10	0	248
Microrregional / Esgoto	0	0	0	0
Microrregional / Água	9	0	0	9
Microrregional / Água e Esgoto	24	15	0	39
Total	8738	553	17	9308

Fonte: Os Autores (2019).

4 Resultados

Para tratamento dos outliers utilizou-se, a exemplo de Schettini (2014), o jackstra com 2000 réplicas das amostras com tamanho 500, os retornos de *esc21a* utilizados foram o constante, variável e o não-decrescente. O *leverage* limite foi calculado utilizando a equação (3). Foram identificadas 466 observações como *outliers*, cerca de 5% da amostra.

Tabela 2 - Estatísticas resumo dos *escores* de eficiência antes e depois do *Jackstrap*

Jackstrap	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Antes	0,002	0,089	0,172	0,227	0,324	1,000	0,179
Depois	0,007	0,288	0,453	0,479	0,645	1,000	0,235

Fonte: Os Autores (2019).

Comparando os resultados do DEA antes e depois da retirada dos *outliers* percebemos uma elevação considerável dos *escores* de eficiência, a média e a mediana, por exemplo, mais do que dobraram. O indicador de dispersão também aumentou passando de 0,179 para 0,235.

Conforme a Tabela 3, o grupo com mais *outliers* foi o das prestadoras locais de serviços de esgoto com gestão privada. Das 19 observações onde 7 foram consideradas *outliers*. Já o segundo grupo onde existe a maior proporção de *outliers* é o das regionais, onde mais de 20% das observações apresentou o valor do *leverage* mais elevado do que o limite estabelecido pela equação (3).

Os resultados do *bootstrap* com mil repetições, na amostra sem os *outliers*, gerou uma

Tabela 3 - Proporção de *outliers* por categoria das prestadoras

Formato das Prestadoras	Pública	Privada	Organização Social	Total
Local / Esgoto	13,52%	36,84%	-	13,90%
Local / Água	2,97%	0,45%	0,00%	2,79%
Local / Água e Esgoto	3,63%	1,74%	-	3,51%
Regional / Esgoto	-	-	-	-
Regional / Água	10,53%	-	-	10,53%
Regional / Água e Esgoto	21,01%	10,00%	-	20,56%
Microrregional / Esgoto	-	-	-	-
Microrregional / Água	0,00%	-	-	0,00%
Microrregional / Água e Esgoto	0,00%	6,67%	-	2,56%
Total	5,16%	2,71%	-	5,01%

Fonte: Os Autores (2019).

redução dos escores com a média diminuindo cerca de 5% e do desvio padrão de 8%.

Também se observa no Gráfico 1, que compara os escores antes e depois do *bootstrap*, uma redução significativa dos escores próximos da unidade, isto é, entre 0,9 e 1,0. E mais ainda, após o *bootstrap* nenhuma DMU permanece com o escore unitário, ou seja, nenhuma é plenamente eficiente.

Os escores de eficiência da Tabela 4 indicam, por meio das medidas de tendência central, que houve uma perda eficiência entre os anos de 2006 e 2015⁹, embora com uma grande dispersão. O período inicial da amostra, 2006, é um ano antes da LNSB, assim é uma informação relevante não observarmos uma evolução clara na eficiência até 2015, ou seja, indica-se que o novo marco regulatório ainda não impactou a eficiência técnica do setor.

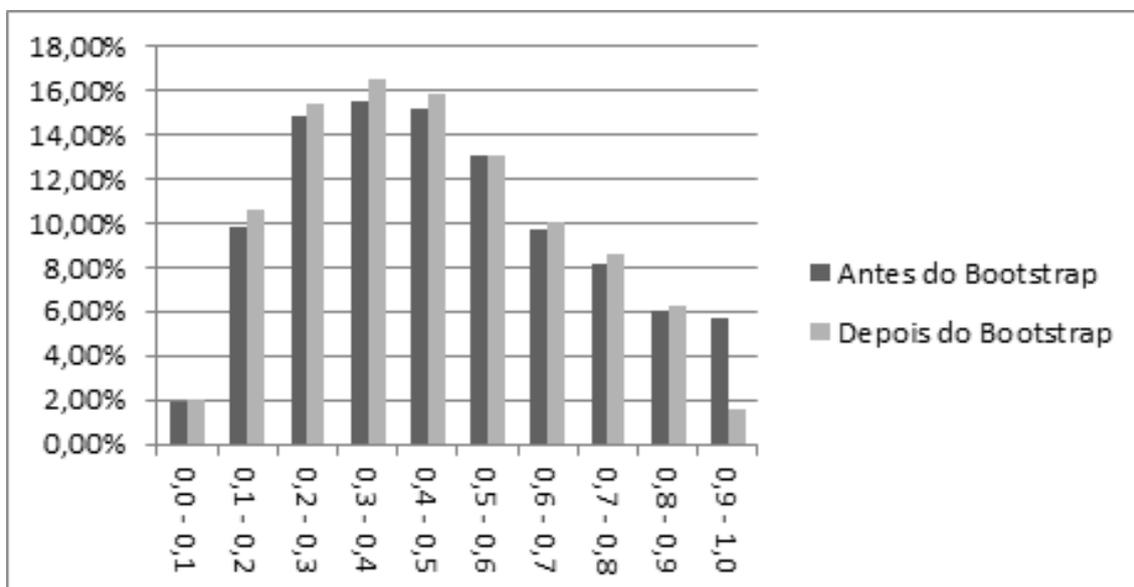
4.1 Eficiência por tipo de serviço

Analisando os escores agregados para os tipos de serviços, os resultados da Tabela 5 indicam que as prestadoras que fornecem os serviços de água e esgoto conjuntamente apresentam clara vantagem de eficiência sobre as demais.

O grupo das prestadoras que ofertam apenas serviços de esgoto apresentam uma média de escore maior, porém com menor mediana, do que as que prestam somente serviços de água. Podemos perceber também na Tabela 5 que a prestadora mais eficiente oferece serviço somente de água e a menos eficiente somente de esgoto.

⁹A metodologia mais indicada para análise dinâmica da eficiência é o índice de Malmquist (ver Carvalho, 2014 e Seroa da Motta e Moreira, 2006).

Gráfico 1 - Distribuição dos escores de eficiência antes e depois do bootstrap



Fonte: Os Autores (2019).

Tabela 4 - Estatísticas resumo dos escores de eficiência, 2006 - 2015.

Ano	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão	Total de prestadoras
2006	0,075	0,315	0,456	0,475	0,631	0,967	0,205	524
2007	0,061	0,322	0,479	0,490	0,651	0,972	0,202	535
2008	0,078	0,353	0,487	0,504	0,652	0,953	0,196	548
2009	0,056	0,302	0,450	0,471	0,638	0,933	0,216	612
2010	0,028	0,271	0,421	0,447	0,602	0,963	0,219	900
2011	0,021	0,262	0,411	0,439	0,596	0,978	0,217	1054
2012	0,015	0,250	0,400	0,425	0,573	0,958	0,217	1250
2013	0,007	0,274	0,427	0,452	0,617	0,970	0,222	1128
2014	0,021	0,267	0,423	0,447	0,605	0,956	0,218	1181
2015	0,026	0,274	0,427	0,453	0,617	0,968	0,216	1110
Total	0,007	0,279	0,433	0,454	0,614	0,978	0,216	8842

Fonte: Os Autores (2019).

Na Tabela 6 são apresentados testes que comparam os escores das prestadoras de serviços de água e esgoto. Primeiro observamos que o teste t não revela diferença entre as médias.

Já o teste Kolmogorov-Smirnov testa a hipótese de que a distribuição acumulada dos escores dos dois grupos é igual (H0), contra a hipótese alternativa (H1) de que uma distribuição acumulada fica abaixo da outra. Um grupo apresentar a distribuição acumulada abaixo de outro significa que seus escores são significativamente maiores, ou seja, a acei-

Tabela 5 - Estatísticas resumo dos escores de eficiência por diferentes tipos de serviço.

Tipo de Serviço Prestado	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Água	0,054	0,221	0,323	0,359	0,459	0,978	0,179
Esgoto	0,007	0,165	0,310	0,365	0,523	0,956	0,246
Água e Esgoto	0,067	0,396	0,538	0,541	0,695	0,970	0,196

Fonte: Os Autores (2019).

Tabela 6 - Testes entre médias dos escores por prestação de serviço de água e esgoto.

Teste t (bilateral)		Kolmogorov-Smirnov			
Comparação entre as médias		H1: Distribuição acumulada dos escores de esgoto "abaixo" de água		H1: Distribuição acumulada dos escores de água "abaixo" de esgoto	
Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor
0,761	0,446	0,096	0,000	0,156	0,000

Fonte: Os Autores (2019).

tação da H1 significa que o grupo que apresenta a distribuição abaixo é o mais eficiente. Os resultados da Tabela 6 apontam para aceitação das duas hipóteses alternativas, o que na verdade revela que os resultados são inconclusivos. Isso acontece porque as distribuições acumuladas se cruzam. Nota-se, no Gráfico 2, que a distribuição acumulada dos escores das prestadoras de serviços de esgoto, inicialmente, estava acima da distribuição acumulada das prestadoras de fornecimento de água. Mas as posições se invertem antes de chegar a 40% da distribuição acumulada. Por esse motivo, sempre são testadas duas hipóteses alternativas. Somente podemos afirmar que um dos grupos é mais eficiente, com o teste Kolmogorov-Smirnov, se aceitarmos uma hipótese alternativa e rejeitarmos a outra.

Ou seja, a prestação de água e esgoto em separado é igualmente eficiente na média, mas menos do que as que prestam esses dois serviços conjuntamente.

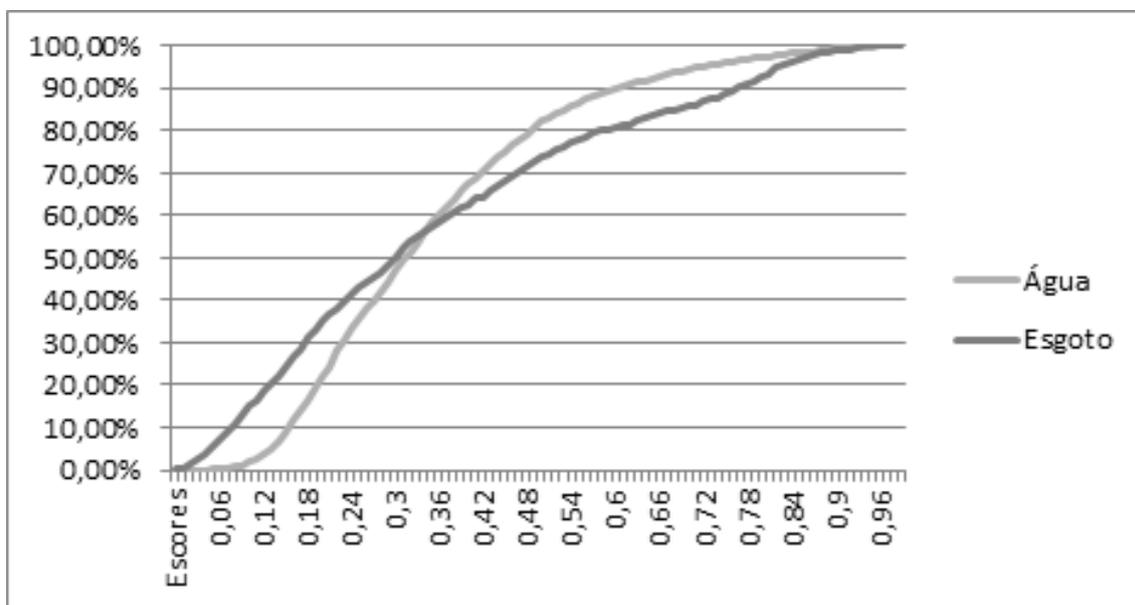
4.2 Eficiência por natureza da gestão

Antes de analisar os escores por natureza de gestão, vale ressaltar que as observações das prestadoras privadas são apenas 6% das prestadoras públicas. Dessa forma, os resultados da Tabela 7 a seguir devem ser considerados com certa precaução.

Contudo, podemos observar na Tabela 7, que os escores das prestadoras privadas é maior em todas as medidas de tendência central. Essa vantagem é referendada pelo teste não paramétrico Kolmogorov-Smirnov e pelo Teste t da Tabela 8, ambos ao nível de significância de 1%, o que garante essa superioridade.

A Tabela 9 compara apenas as prestadoras locais por tipo de serviço prestado de modo

Gráfico 2 - Distribuição acumulada dos escores de eficiência das prestadoras de água e esgoto.



Fonte: Os Autores (2019).

Tabela 7 - Estatísticas resumo dos escores de eficiência por natureza da gestão.

Naturezas da Gestão	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Pública	0,007	0,274	0,430	0,452	0,613	0,972	0,217
Privada	0,089	0,340	0,471	0,494	0,640	0,978	0,202

Fonte: Os Autores (2019).

Tabela 8 - Testes entre médias dos escores por natureza da gestão.

Teste t (bilateral)		Kolmogorov-Smirnov			
Comparação entre as médias		H1: Distribuição acumulada dos escores das públicas "abaixo" das privadas		H1: Distribuição acumulada dos escores das privadas "abaixo" de públicas	
Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor
4,691	0,000	0,003	0,992	0,127	0,000

Fonte: Os Autores (2019).

a tornar os grupos mais homogêneos. A vantagem nas estatísticas de tendência central das prestadoras privadas continua e se acentua bastante no caso das prestadoras de serviços somente de esgoto.

Tabela 9 - Testes entre médias dos escores por natureza da gestão.

Grupo	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Água e Esgoto/Pública	0,067	0,384	0,523	0,530	0,682	0,970	0,196
Água e Esgoto/Privada	0,144	0,427	0,549	0,564	0,692	0,939	0,181
Água/Pública	0,054	0,219	0,320	0,359	0,462	0,972	0,182
Água/Privada	0,089	0,254	0,341	0,369	0,459	0,978	0,153
Local/Esgoto/Pública	0,007	0,165	0,308	0,361	0,517	0,956	0,244
Local/Esgoto/Privada	0,133	0,712	0,780	0,686	0,799	0,824	0,202

Fonte: Os Autores (2019).

Essa vantagem das empresas privadas é confirmada pelo teste Kolmogorov-Smirnov para os três tipos de serviços prestados. Apenas o teste t para as prestadoras de água é que não podemos negar que as médias dos escores sejam iguais.

Tabela 10 - Testes entre médias dos escores por gestão das prestadoras locais.

Tipo de Serviço Prestado	Teste t (bilateral)		Kolmogorov-Smirnov			
	Comparação entre as médias		H1: Distribuição acumulada dos escores das públicas "abaixo" das privadas		H1: Distribuição acumulada dos escores das privadas "abaixo" de públicas	
	Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor
Água e Esgoto	3,026	0,003	0,004	0,994	0,111	0,001
Água	0,894	0,372	0,0633	0,193	0,122	0,002
Esgoto	5,282	0,000	0,060	0,918	0,641	0,000

Fonte: Os Autores (2019).

Em que pese o desbalanceamento entre as amostras de prestadoras privadas e públicas, as estimativas apontam para um nível de eficiência significativamente maior para a gestão privada.

4.3 Eficiência por área de atuação

Como a participação da microrregionais na amostra é menos de 1%, serão realizadas comparação apenas entre regionais e locais. Os resultados da Tabela 11 que compara os escores entre as prestadoras regionais e locais evidencia uma clara superioridade de eficiência das regionais.

A vantagem das regionais é confirmada pelos testes Kolmogorov-Smirnov e t da Tabela 12, ambos com nível de significância de 1%.

Tabela 11 - Estatísticas resumo dos escores de eficiência por área de atuação.

Área de Abrangência	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Local	0,007	0,274	0,426	0,448	0,600	0,978	0,214
Regional	0,238	0,617	0,707	0,680	0,797	0,912	0,156

Fonte: Os Autores (2019).

Tabela 12 - Testes entre médias dos escores entre prestadoras regionais e locais.

Teste t (bilateral)		Kolmogorov-Smirnov			
Comparação entre as médias		H1: Distribuição acumulada dos escores das regionais "abaixo" das locais		H1: Distribuição acumulada dos escores das locais "abaixo" de regionais	
Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor	Estatística Teste	p-valor
21,198	0,000	0,538	0,000	0,010	0,961

Fonte: Os Autores (2019).

Na tentativa de explicar a vantagem das empresas maiores sobre as menores a Tabela 13 apresenta o resultado da eficiência de escala, que é a divisão entre valores de eficiência com retornos constantes de escala (longo prazo) pelos com retornos variáveis de escala (curto prazo).

Tabela 13 - Estatísticas resumo dos escores de eficiência de escala das diferentes áreas de atuação.

Área de Abrangência	mínimo	1º quartil	mediana	média	3º quartil	máximo	desvio padrão
Local	0,037	0,243	0,430	0,474	0,671	1,367	0,264
Regional	0,073	0,090	0,100	0,104	0,112	0,219	0,018
Microrregional	0,115	0,205	0,217	0,216	0,230	0,340	0,048

Fonte: Os Autores (2019).

O resultado da eficiência de escala indica que as prestadoras locais estão mais próximas do seu tamanho ótimo de longo prazo do que as regionais. Dessa forma, apesar de serem mais eficientes, as prestadoras Regionais devem diminuir de dimensão para se aproximarem da escala ótima.

5 Conclusão

O presente estudo analisa a eficiência do setor de saneamento no Brasil utilizando um modelo DEA reforçado pelas técnicas bootstrap (Simar e Wilson, 1998) e jackstrap (Stošić e Sampaio de Sousa, 2003; Sampaio de Sousa e Stošić, 2005; e Sampaio de Sousa, Cribari-Neto e Stošić, 2005) com o objetivo de comparar a eficiência entre diferentes áreas de atuação, natureza de gestão e tipos de serviços prestados.

Na comparação entre os tipos de serviços prestados foi revelada a superioridade da prestação conjunta dos serviços de água e esgoto. Já em relação à natureza da gestão, evidencia-se uma superioridade das prestadoras privadas sobre as públicas.

As prestadoras regionais apresentaram escores de eficiência significativamente superiores às operadoras locais (municipais). Embora a eficiência aumente com a extensão da área de abrangência, a eficiência de escala nos revela que as prestadoras locais estão mais próximas da escala ótima do que as regionais. Ou seja, as economias de escala das regionais não se evidenciam e, portanto, há ganhos de eficiência com desmembramento das atuais prestadoras.

Em resumo, os resultados indicam que, para maximizar a eficiência na provisão de serviços de saneamento, a prestação seria por uma empresa representativa a qual ofereceria conjuntamente serviço de água e esgoto com atuação regional, mas com área de abrangência territorial menor que a atual, e com gestão privada.

Vale ressaltar, contudo, que esses resultados decorrem de comparações de médias e, portanto, obviamente, individualmente as operadoras com um tipo de serviço, gestão ou área de atuação podem diferir dessas tendências centrais.

6 Referências bibliográficas

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, p. 1078-1092, 1984.

BARBOSA, A. Pode a regulação econômica melhorar o desempenho econômico-financeiro e a universalização dos serviços de águas e esgotos no Brasil? Brasília: SEAE, 2012. 67 p.

BOGETOFT, P.; OTTO, L. Benchmarking with DEA, SFA and R. New York: Springer, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. Senado Federal. Constituição da República Federativa do Brasil: texto consolidado até a Emenda Constitucional no 52, de 8 de março de 2006, Artigo 37, caput. Brasília: Secretaria Especial de Editoração e Publicações, 2006.

CARMO, C. M. do; TAVORA JUNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: Encontro Nacional de Economia da ANPEC, 31, Porto Seguro, 2003. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/>> Acesso em: 05 mar. 2016.

CARVALHO, A. E. C. Caminhos para a universalização dos serviços de água e esgotos no Brasil: a atuação das entidades reguladoras para indução da eficiência dos prestadores de serviços. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Pública, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGP/UFRN), Natal, 2014, 140 p.. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/16905>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 4, p. 429-444, 1978.

KOOPMANS, T. Activity analysis of production and allocation. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1951.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015. Brasília: MCIDADES/SNSA, 2017. 80 p.

SALLES, M. J. Política Nacional de Saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização. 2008. 176 p., Tese (Doutorado) - Curso de Ciências na área de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública - ENSP, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/2605>>. Acesso em: 27 fev. 2016.

SAMPAIO DE SOUSA, M.; CRIBARI-NETO, F.; STOŠIĆ, B. Explaining DEA technical efficiency scores in an outlier corrected environment: the case of public services in Brazilian municipalities. *Brazilian review of econometrics*, v. 25, n. 2, p. 287-313, 2005.

SAMPAIO DE SOUSA, M.; STOŠIĆ, B. Technical Efficiency of the Brazilian municipalities: correcting nonparametric frontier measurements for outliers. *Journal of productivity analysis*, v. 24, n. 2, p. 157-181, 2005.

SAMPAIO, B.; SAMPAIO, Y. Influências políticas na eficiência de empresas de saneamento brasileiras. *Economia Aplicada*, v. 11, n. 3, p. 369-386, jul.-set., 2007.

SCHETTINI, B. P. Eficiência técnica dos municípios Brasileiros na educação pública: Escores robustos e fatores determinantes. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014.

SEROA DA MOTTA, R. Questões regulatórias do setor de saneamento no Brasil. IPEA, Nota Técnica de Regulacão 05, 2004.

SEROA DA MOTTA, R.; MOREIRA, A. Efficiency and regulation in the sanitation

sector in Brazil. *Utilities Policy*, v. 14, p. 185-195, 2006.

SIMAR, L.; WILSON, P. Sensitivity analysis of efficiency scores: how to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management science*, v. 44, n. 1, p. 49-61, 1998.

STOŠIĆ, B.; SAMPAIO DE SOUSA, M. Jackstrapping DEA scores for robust efficiency measurement. In: *Encontro Brasileiro de Econometria*, 25, Porto Seguro, Bahia: SBE, 2003.

TUPPER, H. C.; RESENDE, M. Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study. *Utilities Policy*, n. 12, p. 29-40, 2004.

WILSON, P. W. FEAR 1.0: a software package for frontier efficiency analysis with R. *Socio-economic planning sciences*, v. 42, p. 247-254, 2008.

Technical Efficiency of water and sewerage services in Brazil by operation and management types

Abstract

The paper analyzes the technical efficiency of the sanitation sector in Brazil considering coverage area, nature of the administration and types of services provided from 2006 to 2015. To this end, it uses a mathematical programming model called Data Envelopment Analysis (DEA) using the jackstrap techniques to detect outliers and bootstrap ones to correct the bias and generate confidence intervals, in order to calculate robust scores of technical efficiencies. Results indicate that there are economies of scope when water and sewage service are provided by the same operator. Also, in general, better efficient level of provision was observed in private management than public one and when provision coverage is regional rather than local.

Keywords: Water and Sewerage; Efficiency; Data Envelopment Analysis

JEL: L95

Recebido em 07 de novembro de 2017.

Aceito para publicação em 06 de setembro de 2019.