

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DA PRODUTIVIDADE DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTOS NO BRASIL DE 2006 A 2013

Felipe Ponciano da Cruz¹

Ronaldo Seroa da Motta²

Alexandre Marinho³

O marco regulatório da Lei Nacional do Saneamento Básico introduz mudanças fundamentais na prestação dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos. O objetivo deste trabalho é estudar a eficiência do setor após a implantação da referida lei, utilizando o método análise envoltória de dados (data envelopment analysis – DEA) em uma amostra contendo as 27 prestadoras representativas de cada ente da Federação entre 2006 e 2013. Os resultados na análise estática indicam escores de eficiência baixos e com grande disparidade entre as regiões do país. Já a análise dinâmica demonstra que o período de maior avanço de produtividade ocorreu entre 2010 e 2013, liderado pela expansão da fronteira.

Palavras-chave: análise de envoltória de dados; eficiência; água e esgotos; saneamento no Brasil.

ANALYSIS OF TECHNICAL EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF WATER AND SEWAGE SERVICES IN BRAZIL, 2006 TO 2013

The regulatory framework of the National Basic Sanitation Law introduces fundamental changes in the provision of water supply, sewage collection and treatment services. The objective of this text is to study the efficiency and productivity of the sector after this law applying the Data Envelopment Analysis (DEA) method in a sample with 27 representative providers of each entity of the federation between the years of 2006 and 2013. The results for the static analysis indicate low efficiency scores with great disparity between the regions. The dynamic analysis showed that the period of greatest productivity improvement occurred between the years of 2010 and 2013 led by the expansion of the frontier.

Keywords: data envelopment analysis; efficiency; water and sewerage; sanitation in Brazil.

JEL: L90; L95; L50.

1 INTRODUÇÃO

Os serviços de distribuição de água potável e coleta e tratamento de esgoto influenciam tanto a saúde da população quanto a qualidade do meio ambiente e, portanto, são fundamentais para a redução da pobreza e para o desenvolvimento sustentável. Desde a captação da água bruta até o descarte dos esgotos, os serviços de água e

1. Mestre em economia pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas (PPGCE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). *E-mail:* <f1ponciano@gmail.com>.

2. Professor associado do PPGCE da UERJ. *E-mail:* <seroadamotta.ronaldo@gmail.com>.

3. Técnico de planejamento e pesquisa do Ipea e professor associado da Faculdade de Ciências Econômicas da UERJ. *E-mail:* <alexandre.marinho@ipea.gov.br>.

esgotos dependem e interferem nas condições ambientais. Consequentemente, diversas doenças são influenciadas pelas condições inadequadas desses sistemas, tais como diarreias, febres entéricas, hepatite A, esquistossomose, leptospirose, teníases, micoses e conjuntivites (Mendonça e Seroa da Motta, 2007; Brasil, 2002). Dessa forma, o desempenho do setor de saneamento tem sido considerado crucial para minimizar esses efeitos.

O referido setor, no Brasil, alcançou níveis crescentes de cobertura de serviços desde a criação das companhias estaduais de saneamento básico (Cesbs), quando a maioria dos serviços municipais foram absorvidos por essas companhias. Essa mudança na estrutura produtiva foi motivada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Planasa) (Salles, 2008; Seroa da Motta, 2005). Hoje, mais de duas décadas após o fim do programa, ainda existe a predominância das Cesbs.

Com o fim do Planasa e do Sistema Financeiro do Saneamento (SFS), houve um vazio institucional e também de investimentos. Desse modo, as décadas de 1990 e 2000 foram marcadas por intensos debates sobre o novo marco regulatório para o saneamento. Finalmente, em 2010, com a regulamentação da Lei Nacional do Saneamento Básico (LNSB), Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007; 2010), o país passou a contar com um novo marco regulatório.

A LNSB 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 eficiência e da eficácia das ações programadas. A política tarifária deve, portanto, incluir incentivos à eficiência dos prestadores de serviços. Além da LNSB, a Constituição Federal Brasileira de 1988 (CF/1988), em seu art. 37, determina que a busca da eficiência na prestação de serviços públicos é um imperativo. No *caput* do referido artigo, consta que: “A administração pública direta e indireta de qualquer dos Poderes da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios obedecerá aos princípios de legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e *eficiência* (...)” (Brasil, 1988, grifo nosso).

Há também na LNSB uma complexa atribuição de competências entre os entes federados.⁴ Os municípios são os titulares dos serviços de saneamento e podem executá-los diretamente ou por meio de concessão. É de competência municipal a organização, regulação e fiscalização da prestação de tais serviços, bem como a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Assim, os municípios podem instituir suas próprias agências reguladoras ou delegar a

4. Inclusive, a definição dessas atribuições foi um dos principais obstáculos na elaboração do marco regulatório e ainda é fonte de litígio entre estados e municípios. Ver Estache, Garsous e Seroa da Motta (2016).

responsabilidade às entidades reguladoras de seus estados. No caso de a operação dos serviços do município ser realizada por uma operadora estadual (Cesb), a regulação é de responsabilidade dessa agência estadual.

Em suma, a LNSB define o município como titular das quatro funções essenciais para a coordenação dos serviços de saneamento: prestação dos serviços, regulação, fiscalização e planejamento. A única função não delegável é a de planejamento, representada pelo PMSB. Entretanto, em regiões metropolitanas (RMs) e microrregiões, os estados compartilham essas funções regulatórias e de competência com os municípios.

A gestão dos recursos hídricos que concede outorga para a captação de água e para o despejo de esgotos, e determina a qualidade das águas, é regulada pela Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) com competência federal, para os cursos d'água que banham mais de um Estado ou país, ou dos estados, nos casos que se limitam ao seu território.

Em que pese à evolução da cobertura nessas décadas, ressalta-se que ainda 18,3% das crianças de 0 a 14 anos de idade residentes em domicílios particulares permanentes não possuem acesso à rede geral de abastecimento de água; apenas 55,5% dos domicílios têm esgotamento sanitário de rede geral, ou fossa séptica, e somente 39% dos esgotos do país são tratados (IBGE, 2014; Brasil, 2014).

Além das restrições regulatórias e de financiamento, a evolução do setor também depende da eficiência das empresas provedoras. Inúmeros estudos nas últimas duas décadas tentaram explicar a evolução da eficiência das operadoras dos serviços de saneamento no Brasil. Esses estudos analisaram o desempenho dessas empresas; e, em muitos casos, medindo o efeito da natureza da propriedade (privada *versus* pública) e da jurisdição da operação (regional *versus* local).

Carmo e Távora Junior (2003), utilizando dados de 2000, calcularam a eficiência técnica e de escala de 26 companhias estaduais de saneamento básico com um modelo DEA de *input* orientado. Tupper e Resende (2004), com um modelo com retornos variáveis de escala e DEA *output* orientado, com dados de 1996 a 2000, mensuraram a eficiência de vinte Cesbs. Seroa da Motta e Moreira (2006) utilizaram o índice de Malmquist para analisar 104 companhias brasileiras de saneamento, abrangendo tanto as regionais quanto as locais, entre 1998 e 2002. Sampaio e Sampaio (2007) analisaram 36 companhias de saneamento brasileiras, entre 1998 e 2003, por meio de um modelo com retornos variáveis de escala e DEA *output* orientado. Utilizando os dados de 57 companhias de saneamento paulistas, entre 1995 e 2004, Grigolin (2007) usou modelos DEA *output* orientados com retornos constantes e variáveis de escala. Sato (2011) analisou a eficiência de 26 companhias de saneamento das capitais dos estados brasileiros com dados referentes aos anos de 2005 e 2008. Barbosa (2012) procurou explicar a eficiência por meio

da estrutura regulatória com uma amostra de 41 prestadoras de serviço de água e esgoto. Carvalho (2014) utilizou o índice de Malmquist, com modelo DEA *input* orientado, para mensurar a eficiência de 29 prestadoras entre 2006 e 2011.⁵

Nesses estudos, se observa que há dominância do método DEA, e os resultados, na sua maioria, confirmam a evolução da produtividade e variam quanto à dominância e ao efeito de emparelhamento e de mudança de fronteira e em como essa evolução se deu regionalmente.

Literatura similar internacional existe também com a aplicação de modelos DEA. Lin e Berg (2008) utilizaram as seguintes técnicas para avaliar a eficiência de 38 prestadoras de serviço de distribuição de água peruanas entre 1998 e 2001. Byrnes *et al.* (2010) analisaram os efeitos de diversas ações políticas na eficiência de 52 prestadoras de serviços de água nas regiões australianas de New South Wales e Victoria. Portela *et al.* (2011) utilizaram o índice de meta-Malmquist circular para analisar a mudança na produtividade de 22 prestadoras de serviços de distribuição de água da Inglaterra e do Reino Unido entre 1993 e 2007. Também na Austrália, Abbott, Cohen e Wang (2012) analisaram o desempenho dos setores de água e esgotos das cidades de Sydney, Melbourne, Brisbane, Adelaide, Perth e Canberra, utilizando o índice de Malmquist, entre 1995 e 2008. Em geral, os trabalhos citados encontram avanços modestos de produtividade nos períodos analisados. Houve uma alternância quanto à primazia entre o efeito de emparelhamento e o de mudança de fronteira, inclusive com comportamentos erráticos, em que os efeitos ora contribuíram positivamente ora negativamente para a produtividade total dos fatores (PTF) ao longo do intervalo analisado (Lin e Berg, 2008; Portela *et al.*, 2011).

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência técnica das prestadoras estaduais de saneamento no Brasil para o período 2006-2013, que inclui a vigência da LNSB, a qual alterou o marco regulatório do setor.

Ademais, o estudo aplica originalmente na avaliação de desempenho do setor de saneamento no Brasil o método DEA e o índice de Malmquist, em conjunto com a técnica *bootstrap*, para acrescentar intervalos de confiança a métodos anteriormente determinísticos.

No geral, observamos escores de eficiência baixos e dispersos, mas crescentes ao longo do período analisado. A única região que apresentou diminuição da média dos escores foi a Centro-Oeste. As empresas da região Sudeste do país apresentam, em média, os maiores escores de eficiência, enquanto as da região Norte

5. Ademais, há também estudos com modelos DEA na avaliação de eficiência de empresas distribuidoras de energia elétrica no Brasil (Banker, 2011; Souza e Legey, 2010), nos serviços hospitalares (Marinho e Façanha, 2002; Marinho, 2003) e na eficiência da gestão (Seroa da Motta e Moreira, 2009; Mendes e Sampaio de Sousa, 2006; Sampaio de Sousa e Stosic, 2005).

apresentam os menores. A PTF foi decomposta em dois componentes: mudança tecnológica e mudança de eficiência (emparelhamento ou *catch up*). A contribuição da eficiência das empresas é deletéria para a PTF no início do período e positiva ao fim. A tecnologia reduz a PTF no início e no fim do período analisado e aumenta a PTF nos anos intermediários. Estimamos que, nos quatro primeiros anos após a promulgação, no ano de 2007, da Lei Nacional do Saneamento Básico (LNSB) não ocorreram avanços robustos na produtividade. Para o período 2010-2013, os resultados apresentados indicam um aumento significativo de produtividade com mediana de 6,7%, que o modelo atribuiu ao componente tecnológico, apesar de um ligeiro decréscimo da eficiência (*catch up*). Em geral, as estatísticas-resumo apontam um avanço na produtividade total dos fatores no período entre 2010 e 2013, caracterizado principalmente pela mudança tecnológica.

Este trabalho se divide em mais quatro seções além desta introdução: metodologia, modelo e dados, resultados e conclusão.

2 METODOLOGIA

A eficiência econômica é entendida como o máximo de *outputs* que a empresa pode produzir dada quantidade de *inputs* utilizada, ou, da mesma maneira, como o mínimo de *inputs* que podem produzir uma dada quantidade de *outputs*, ou seja, os valores ótimos de *outputs* e *inputs* utilizados.

Marinho e Façanha (2001), ao estudarem os problemas de avaliação em programas sociais, relacionaram efetividade “à implementação e ao aprimoramento de objetivos, independentemente das insuficiências de orientação e das falhas de especificação rigorosa dos objetivos iniciais declarados do programa” (Marinho e Façanha, 2001, p. 6). Dessa maneira, o ideal seria avaliar a efetividade e não a eficiência.

Para essa avaliação, as análises da fronteira estocástica (SFA) e da envoltória dos dados (DEA) são amplamente utilizadas na literatura. A primeira mensura uma fronteira estocástica, seguindo formas funcionais, enquanto a última adota técnicas não paramétricas. Segundo Coelli (1995), utilizar a DEA pode ser mais atrativo do que estimar a fronteira estocástica no caso de multiprodutos, sobretudo quando há dificuldades para se obter os preços.

Os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), por exemplo, apresentariam essa limitação porque se restringem a valores de custos e receitas sem distinguirem quantidades ou preços. Ademais, a característica de monopólio público das Cesbs permite que muitas vezes seus preços sejam decididos politicamente (Estache, Garsous e Seroa da Motta, 2016).

Assim, a escolha da DEA em detrimento da SFA se deve às suas características de não necessitar de especificações sobre a função de produção com maior flexibilidade no tratamento de multiprodutos e de dispensar a utilização de preços para calcular a eficiência técnica.

A descrição dessa aplicação para as análises estática e dinâmica é apresentada a seguir.

2.1 Análise estática

Conforme Bogetoft e Otto (2011), em um modelo racional ideal, temos uma entidade econômica em busca dos melhores meios para atingir seus objetivos, e, dessa forma, podemos assumir que uma firma transforma m *inputs* $x^* \in \mathbb{R}^m$ em n *outputs* $y^* \in \mathbb{R}^n$; e que a função objetivo ou função de utilidade é dada por: $U : \mathbb{R}^{m+n} \rightarrow \mathbb{R}$, em que $U(x, y)$ é a utilidade ligada ao plano de produção (x, y) . Devemos assumir também que o conjunto de vetores (x, y) possíveis é $T \subseteq \mathbb{R}^{m+n}$.

Sendo assim, o vetor (x^*, y^*) é ótimo se resolve o problema de decisão básico a seguir se, e somente se, a firma realizar o melhor e mais efetivo uso do seu potencial:

$$\text{máx } U(x, y) \tag{1}$$

$$\text{sujeito a: } (x, y) \in T.$$

Entretanto, é difícil encontrar na prática as condições ideais para realizar avaliações de efetividade, pois o plano de produção factível, T , e/ou o critério de avaliação agregado, $U(\cdot)$, são desconhecidos. Outro problema apontado é que os múltiplos *outputs* são de difícil agregação.

A proposta da moderna teoria da análise de produtividade é focar em eficiência no lugar da efetividade, de modo a construir uma tecnologia usando a análise da eficiência relativa. Esse raciocínio pode ser sumarizado da seguinte maneira: $(x', y') \in T \subseteq \mathbb{R}^{m+n}$ é eficiente relativamente à tecnologia T se, e somente se, para todo $(x, y) \in T$: $x \leq x'$; $y \geq y' \rightarrow x = x'$ e $y = y'$, e, portanto, não é possível encontrar melhor vetor do que (x', y') .

Assim, a eficiência é uma condição necessária, embora não suficiente, para a efetividade, e utiliza-se eficiência ao invés de efetividade devido ao desconhecimento de $U(\cdot)$ e da real tecnologia T , de modo a encontrar o conjunto de planos eficientes, T^E , que é o “menor conjunto suficiente de alternativas a considerar” na busca da efetividade (Bogetoft e Otto, 2011, p. 53).

O método utilizado é a DEA, metodologia não paramétrica (não propõe a estimação de uma função com parâmetros) e não estocástica (não é associada

a qualquer distribuição de probabilidade). A fronteira de produção é gerada implicitamente via programação linear.

Para atenuar a desvantagem dessa abordagem não paramétrica, é utilizada a técnica *bootstrap*, a partir de Simar e Wilson (1998), para corrigir o viés dos escores e estimar intervalos de confiança.

As *decision making units* (DMUs) são os elementos básicos das análises de eficiência. Elas devem ser homogêneas, utilizarem os mesmos *inputs* e *outputs*, bem como apresentarem autonomia na tomada de decisão.

A eficiência de cada DMU é medida pela otimização da soma ponderada das saídas (*outputs*) dividida pela soma ponderada das entradas (*inputs*), ou seja, pela combinação entre *output virtual* e *input virtual* de modo a maximizar $\frac{\text{output virtual}}{\text{input virtual}}$, ou, de maneira equivalente, minimizar $\frac{\text{input virtual}}{\text{output virtual}}$.

Por definição, não é possível apresentar o *input virtual* maior do que o *output virtual*, e, portanto, o *output virtual* deve ser menor ou igual ao *input virtual*. Isto posto, uma DMU plenamente eficiente é aquela que consegue transformar todo o *input virtual* em *output virtual*, e assim temos $\frac{\text{input virtual}}{\text{output virtual}} = 1$.

Os modelos de DEA admitem diferentes naturezas de retornos de escala. Os modelos mais conhecidos e utilizados são: *i*) o modelo CCR⁶ (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) impõe retornos constantes de escala; e *ii*) o modelo BCC⁷ (Banker, Charnes e Cooper, 1984) admite retornos variáveis de escala. Existem também modelos com retornos decrescentes ou não crescentes de escala.

Existe ainda a opção de escolher a orientação do modelo de DEA, entre *input* ou *output* orientado. Um modelo *output* orientado maximiza os *outputs* mantendo os *inputs* inalterados, enquanto um modelo *input* orientado minimiza os *inputs* mantendo os *outputs* inalterados.

O modelo (2) apresenta o modelo da envoltória, *output* orientado, e com retornos variáveis de escala. Onde: $h \geq 1$ é a medida de expansão radial, quando $h_0 = 1$ a DMU é considerada eficiente, λ 's são os pesos das combinações convexas das DMUs 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 0 é a DMU sob análise, e o problema será resolvido n vezes, uma vez para cada DMU.

6. Ver Charnes, Cooper, Rhodes (1978).

7. Ver Banker, Charnes, Cooper (1984).

A eficiência é representada pela função objetivo na qual se estima o valor que deve multiplicar todos os *outputs* para colocar as DMUs sobre a fronteira eficiente. As duas restrições garantem que cada aumento dos *outputs* não ultrapasse a fronteira definida pelas DMUs eficientes e também que não seja modificado o atual nível dos *inputs* da DMU.

$$\text{Máx } h_0$$

sujeito a:

$$-h_0 y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (2)$$

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

Os estimadores da DEA, apesar de serem consistentes, possuem taxas muito lentas de convergência e, dessa forma, o *bootstrap* poderia auxiliar a encontrar a variância dos escores de eficiência que possuem distribuição desconhecida. Entretanto, conforme Simar e Wilson (1998), o *bootstrap* usual não se aplica ao método DEA. Não é recomendado reamostrar diretamente o conjunto de escores da DEA, pois dessa maneira seria admitido que os escores são independentes e identicamente distribuídos, o que iria contra a suposição de que eles dependem da relação entre *inputs* e *outputs*. Tampouco é aconselhável reamostrar simplesmente os *inputs* (ou *outputs*) para estimar a tecnologia e a eficiência de determinada DMU, pois existe a possibilidade de encontrar escores maiores do que a unidade, ou seja, vetores que não pertencem à tecnologia. Tal ocorrência é mais provável em DMUs mais próximas à fronteira original.

Os escores do DEA também apresentam o problema de serem bastante concentrados em torno do valor unitário. Para enfrentar esta dificuldade, Simar e Wilson (1998) propõem os métodos de alisamento da distribuição e de reflexão, bem como a correção do viés.

O alisamento consiste em corrigir a amostra gerada pelo *bootstrap* com a utilização do fator $h\epsilon$, onde h é a faixa de amplitude (*bandwidth*) e ϵ é gerado a partir de uma distribuição normal. O alisamento visa evitar o surgimento de muitos valores repetidos, que gerariam picos na distribuição do estimador. Por

meio do método da reflexão, o problema do surgimento de muitos escores de eficiência próximos da unidade é evitado, o que introduziria viés e inconsistência no estimador. A cada escore de eficiência E_k é calculado um reflexo $2 - E_k$, e utiliza-se sempre o valor menor ou igual à unidade. Assim, a média será $[(\tilde{E}_k + 2 - \tilde{E}_k)]/2 = 1$, e simétrica em torno da unidade.

O escore de eficiência do DEA é benevolente, ou seja, superestima a eficiência real. Isso ocorre devido à tecnologia \hat{T} gerada pelo modelo ser sempre o menor conjunto suficiente, pois algumas observações podem não constar da amostra. O estimador com o viés corrigido é dado por (Bogetoft e Otto, 2011, p. 173):

$$\tilde{\theta}^k = 2\hat{\theta}^k - \bar{\theta}^{k*}. \quad (3)$$

Em que:

- $\tilde{\theta}^k$ é o estimador da eficiência θ^k com o viés corrigido, θ^k é a eficiência baseada na tecnologia verdadeira, mas desconhecida, T ;
- $\hat{\theta}^k$ é o estimador de eficiência obtido a partir da tecnologia \hat{T} , estimada pela DEA;
- $\bar{\theta}^{k*}$ é a média de θ^{k*} , que é a eficiência estimada por *bootstrap* de θ^k .

O *bootstrap* que será aplicado é o composto das seguintes etapas (Bogetoft e Otto, 2011, p. 173).

- 1) Computar $\hat{\theta}^k$ como soluções para $\min\{\theta | \theta(x^k, y^k) \in \hat{T}\}$ para $k = 1, \dots, n$;
- 2) Usar o *bootstrap* utilizando a amostra alisada de $\hat{\theta}^1, \dots, \hat{\theta}^k$ para obter uma réplica $\theta^{1*}, \dots, \theta^{k*}$ do modo a seguir:
 - usar o *bootstrap* na amostra com reposição a partir de $\hat{\theta}^1, \dots, \hat{\theta}^k$, e chamar os resultados de β^1, \dots, β^k ;
 - simular as variáveis independentes aleatórias $\epsilon^1, \dots, \epsilon^k$ com distribuição normal-padrão;
 - calcular (utilizando o alisamento e a reflexão):

$$\tilde{\theta}^k = \begin{cases} \beta^k + h\epsilon^k & \text{se } \beta^k + h\epsilon^k \leq 1 \\ 2 - \beta^k - h\epsilon^k & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

Por construção $\tilde{\theta}^k \leq 1$.

- ajustar $\tilde{\theta}^k$ para obter parâmetros com variância assintoticamente correta, e, então, estimar a variância $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K (\hat{\theta}^k - \bar{\hat{\theta}})^2$ e calcular $\bar{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K \beta^k$:

$$\theta^{k*} = \bar{\beta} + \frac{1}{\sqrt{1+h^2/\hat{\sigma}^2}} (\hat{\theta}^k - \bar{\beta}). \quad (5)$$

3) Calcular o *bootstrapped input* $x^{kb} = \frac{\hat{\theta}^k}{\theta^{k*}} x^k$ baseado na eficiência calculada no *bootstrap*;

4) Solucionar o problema de programação da DEA para estimar θ^{kb} como:

$$\theta^{kb} = \min\{\theta \geq 0 | y^k \leq \sum_{j=1}^K \lambda_j y_j, \theta x^k \geq \sum_{j=1}^K \lambda_j x_j^{kb}, \lambda_j \geq 0, \sum_{j=1}^K \lambda_j = 1\} \quad (6)$$

($k = 1, \dots, n$);

5) Repetir os passos a partir de (2.a) para obter as estimativas *bootstrap* ($\theta^{1b}, \dots, \theta^{Kb}$) ($b = 1, \dots, B$);

6) Calcular a média e variância de ($\theta^{1b}, \dots, \theta^{Kb}$) para conseguir a estimativa *bootstrap* θ^{k*} , e o estimador com o viés corrigido $\tilde{\theta}^{k*}$, e a variância:

$$\widehat{\sigma^2} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B (\theta^{kb} - \bar{\theta}^{k*})^2. \quad (7)$$

Ao final do processo, a distribuição de $(\hat{\theta}^k - \theta)$ é desconhecida, mas pode ser aproximada pela distribuição de $(\theta^{k*} - \hat{\theta}^k)$. θ é o escore de eficiência real, mas desconhecido, $\hat{\theta}^k$ é o escore de eficiência tradicional obtido na DEA, e θ^{k*} é a estimativa do escore de eficiência da DEA obtida no *bootstrap*.

2.2 Análise dinâmica

Para entender a evolução dinâmica da eficiência, é utilizado o índice de Malmquist, que representa a variação na produtividade total dos fatores entre os períodos S (inicial) e t (final) dessa forma (Bogetoft e Otto, 2011):

$$M(s, t) = \sqrt{\frac{E(t, s)E(t, t)}{E(s, s)E(s, t)}}. \quad (8)$$

Em que:

- $E(t, s)$ é a eficiência da DMU medida no período t com tecnologia do período s ;
- $E(t, t)$ é a eficiência da DMU medida no período t com tecnologia do período t ;
- $E(s, t)$ é a eficiência da DMU medida no período s com tecnologia do período t ;

- $E(s, t)$ é a eficiência da DMU medida no período s com tecnologia do período s .

Dessa forma, podemos tomar as seguintes conclusões sobre os valores do índice:

- $M(s, t) > 1$: houve uma mudança positiva na PTF entre os períodos s e t ;
- $M(s, t) = 1$: não houve qualquer mudança na PTF entre os períodos s e t ;
- $M(s, t) < 1$: houve mudança negativa na PTF entre os períodos s e t .

Uma característica importante do índice de Malmquist é que ele pode ser decomposto em dois fatores:

$$M(s, t) = \sqrt{\frac{E(t, s)E(s, s)}{E(t, t)E(s, t)}} \frac{E(t, t)}{E(s, s)} = TC(s, t)EC(s, t) \quad (9)$$

Onde:

$$TC(s, t) = \sqrt{\frac{E(t, s)E(s, s)}{E(t, t)E(s, t)}} \quad (10)$$

$$EC(s, t) = \frac{E(t, t)}{E(s, s)} \quad (11)$$

Se $E(t, s) > E(t, t)$ é possível afirmar que a tecnologia progrediu, pois a mudança de tecnologia de t para s foi suficiente para aumentar a eficiência. A mesma lógica serve para $E(s, s) > E(s, t)$.

O índice de mudança tecnológica, $TC(s, t)$, representa a média geométrica de dois índices, $E(t, s)/E(t, t)$ e $E(s, s)/E(s, t)$. Portanto, TC mede a mudança tecnológica, e, se $TC(s, t) > 1$, houve um progresso tecnológico, ou seja, uma mudança (expansão) da fronteira.

O índice de mudança de eficiência, $EC(s, t)$ (*catch up*), mede a aproximação da firma da fronteira, efeito emparelhamento, caso $E(t, t) > E(s, s)$ conseqüentemente $EC(s, t) > 1$ e a DMU se aproximou da fronteira.

O *bootstrap* é utilizado para encontrar intervalos de confiança do índice de Malmquist (Simar; Wilson, 1999). Dessa maneira, devido ao desconhecimento da distribuição verdadeira do índice de Malmquist, o *bootstrap* é empregado para estimar a distribuição e definir o intervalo de confiança seguindo os seguintes passos.

- 1) Estimar o índice de Malmquist $\widehat{M}_{t,s}(x^s, y^s, x^t, y^t)$ das k DMUs da maneira descrita acima.

- 2) Obter as pseudoamostras (x^{t*}, y^{t*}) de cada DMU para construir a tecnologia via *bootstrap* com alisamento e reflexão.
- 3) Calcular, utilizando a amostra obtida no passo 2, a estimativa *bootstrap* do índice de Malmquist $\widehat{M}_{t,s}^{kb*}(x^s, y^s, x^t, y^t)$ de cada uma das k DMUs.
- 4) Repetir B vezes os passos 2 e 3 para obter um conjunto de estimativas $\widehat{M}_{t,s}^{kb*}(x^s, y^s, x^t, y^t)$.
- 5) Obtém-se o intervalo de confiança a partir deste conjunto de estimativas.

Com o intervalo de confiança é possível verificar a significância do índice de Malmquist. Caso o intervalo de confiança encontrado tenha os dois extremos menores do que a unidade, podemos afirmar que a produtividade decaiu; caso o intervalo de confiança tenha os dois extremos maiores do que a unidade, podemos afirmar que a produtividade aumentou. Enfim, se o intervalo de confiança tiver um extremo menor do que a unidade e outro maior, não podemos afirmar coisa alguma sobre o comportamento da produtividade entre os períodos em questão.

3 MODELO E DADOS

A decisão sobre o modelo a ser utilizado se baseou, principalmente, na revisão de literatura dos trabalhos brasileiros e no entendimento do funcionamento do setor e seus objetivos.

No modelo, as DMUs são as prestadoras de serviços de distribuição de água e coleta e tratamento de esgotos. Essa escolha é justificada pela decisão sobre a alocação de recursos a ser tomada pelas empresas. Pressupomos que as DMUs se defrontam com a mesma tecnologia (T), que é desconhecida, e estimamos a tecnologia (\widehat{T}) com o uso da DEA e do índice de Malmquist.

O modelo será *output* orientado, pois as empresas são majoritariamente públicas, nas quais o corte de gastos é dificultado e a demanda pelos serviços de fornecimento de água e de esgotamento sanitário não está plenamente atendida.

Quanto à escolha entre o modelo CCR (que impõe retornos constantes de escala) e o modelo BCC (que admite retornos variáveis de escala), optou-se pelos retornos variáveis de escala devido ao reconhecimento da existência de dificuldades para as prestadoras mudarem de tamanho no curto prazo, bem como pela grande variação de dimensão entre as prestadoras analisadas, conforme o apontado por Sampaio e Sampaio (2007).

Os dados que serão utilizados neste trabalho serão da série histórica do SNIS⁸ para 27 prestadoras estaduais no período 2006-2013.⁹

Os *outputs* $y_k=(y_{1k}, \dots, y_{5k})$ utilizados são listados a seguir, conforme a nomenclatura do SNIS:

- item AG003: quantidade de economias¹⁰ ativas de água – unidade: economia;
- item AG010: volume de água consumido – unidade: 1.000 m³/ano;
- item ES003: quantidade de economias ativas de esgoto – unidade: economia;
- item ES005: volume de esgoto coletado – unidade: 1.000 m³/ano; e
- item ES006: volume de esgoto tratado – unidade: 1.000 m³/ano.

Apesar da cobrança pela coleta e pelo tratamento de esgoto ser feita de maneira conjunta, decidiu-se por tratá-los como produtos separados, a exemplo de Seroa da Motta e Moreira (2006).

Os *outputs* com os números de economia de água e esgoto (AG003 e ES003) são os mais utilizados na literatura e captam o objetivo da universalização que preconiza a LNSB.

Como *input*, x_{1k} , utilizaremos o item FN015 – despesas com exploração – que se aproxima do conceito de custo operacional com unidade: R\$/ano. Os valores apresentados no FN015 foram atualizados para 2013 utilizando o Índice Geral de Preços – disponibilidade interna (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV).

A aplicação do método DEA será realizada por meio do pacote FEAR (frontier efficiency analysis with R), do programa R. O R é um *software* livre criado por Ross Ihaka e por Robert Gentleman, da Universidade de Auckland (Nova Zelândia), que permite a operação de métodos estatísticos e a formatação de gráficos, podendo ser instalado e distribuído livremente.

O pacote FEAR nos permitirá a aplicação *bootstrap* no DEA e no Malmquist, que foi desenvolvido por Wilson (2008) e é disponibilizado em sua página pessoal.¹¹

8. Mais dados em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

9. Essa amostra representa o atendimento de 79,3% dos municípios que responderam ao SNIS em 2013. Não se estendeu a cobertura temporal para anos mais anteriores porque a base de dados evoluiu em termos de conferência da consistência das informações que são declaratórias.

10. 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. Exemplo: um prédio com dez apartamentos possui uma ligação e dez economias. Disponível em: <<https://bit.ly/2oKaCCH>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

11. Disponível em: <<https://bit.ly/36tMvQN>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

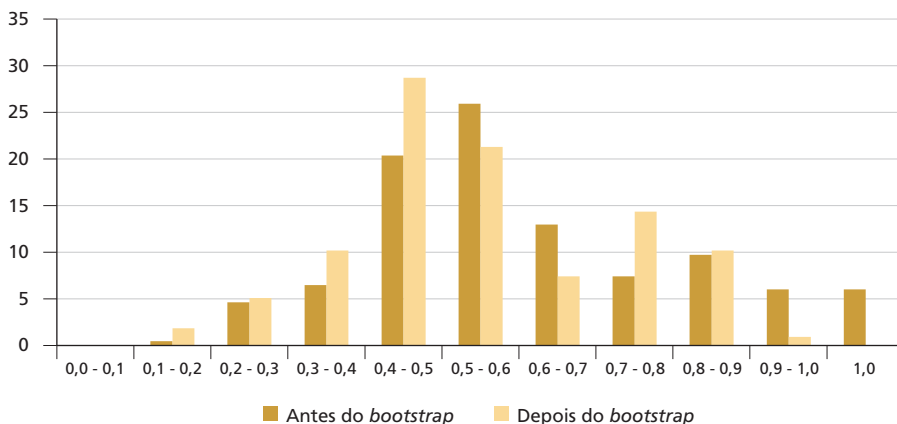
4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da análise estática, seguidos pelos da análise dinâmica.

4.1 Análise estática

O gráfico 1 retrata os resultados da análise estática antes e depois do *bootstrap*, que foi realizado com mil repetições. Conforme o esperado, após a utilização do método de reamostragem, houve a correção do viés que superestimava as *performances*, o que pode ser identificado pela diminuição considerável das DMUs com escores próximos ou iguais à unidade.

GRÁFICO 1
Escores da DEA antes e depois do bootstrap
(Em %)



Elaboração dos autores.

A tabela 1 apresenta os escores de eficiência calculados conjuntamente para as 216 DMUs, no período 2006-2013 (27 distribuidoras em oito anos), após a utilização do *bootstrap*. Observa-se que o nível de eficiência, em torno de 0,40 e 0,56, é muito baixo, e embora se note uma melhora ao longo do período, essa não é contínua. Ademais, se observa também um alto desvio-padrão, demonstrando grande heterogeneidade entre o desempenho das prestadoras.

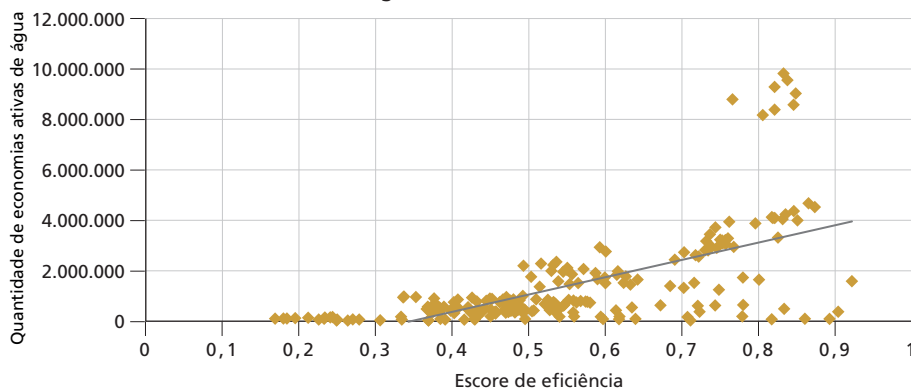
TABELA 1
Estatísticas-resumo dos escores (2006-2013)

Ano	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desvio-padrão
2006	0,168	0,817	0,416	0,504	0,519	0,645	0,162
2007	0,179	0,820	0,436	0,537	0,541	0,647	0,155
2008	0,184	0,850	0,450	0,485	0,549	0,663	0,162
2009	0,243	0,821	0,433	0,532	0,531	0,633	0,150
2010	0,195	0,904	0,410	0,493	0,542	0,677	0,182
2011	0,212	0,921	0,452	0,503	0,545	0,667	0,182
2012	0,232	0,892	0,483	0,558	0,584	0,737	0,183
2013	0,240	0,865	0,486	0,536	0,574	0,748	0,172

Elaboração dos autores.

O gráfico 2 apresenta como esses escores estão correlacionados com a quantidade de economias de água que serve de aproximação para o tamanho da prestadora. Percebe-se, com isso, que há a tendência de a eficiência aumentar quanto maior for a quantidade de economias de água.

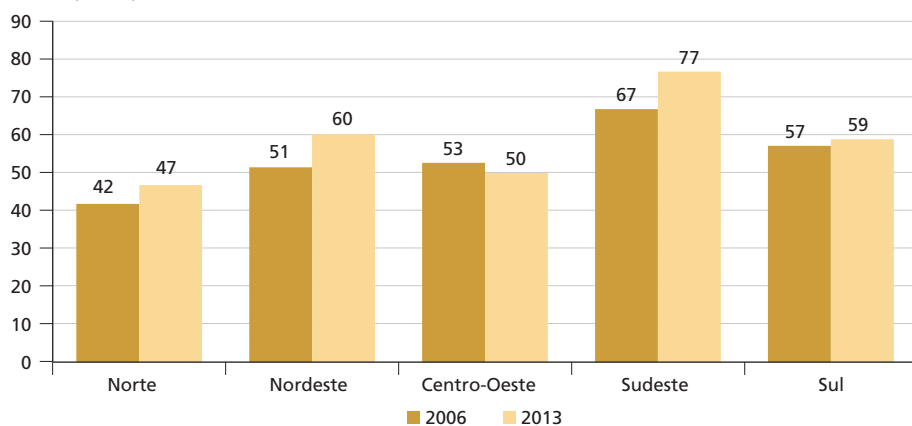
GRÁFICO 2
Quantidade de economias de água e escore de eficiência



Elaboração dos autores.

O gráfico 3 revela que a região Sudeste possui a maior média dos escores de eficiência, tanto em 2006 quanto em 2013. Já a região Norte apresenta a menor média dos escores de eficiência, tanto no início quanto no fim do período analisado. É relevante observar que a única região que apresentou diminuição da média dos escores foi a Centro-Oeste.

GRÁFICO 3
Média dos escores de eficiência por região
(Em %)



Elaboração dos autores.

4.2 Análise dinâmica

A tabela 2 apresenta os valores do índice de Malmquist, em conjunto ao *bootstrap*, com mil repetições. Observa-se que a produtividade total dos fatores, em geral, cresceu durante o período analisado, exceto para o período 2008-2009. Já entre 2012 e 2013, somente o índice medido pela média é também menor que a unidade.

TABELA 2
Estatísticas da dinâmica da produtividade total dos fatores (2006-2013)

Ano inicial-final	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desvio-padrão
2006-2007	0,829	1,488	0,980	1,033	1,042	1,095	0,122
2007-2008	0,832	1,482	0,980	1,026	1,041	1,073	0,130
2008-2009	0,766	1,765	0,858	0,913	0,941	0,964	0,178
2009-2010	0,648	1,292	0,949	1,039	1,035	1,130	0,162
2010-2011	0,703	2,256	0,931	1,001	1,064	1,118	0,272
2011-2012	0,808	2,379	0,987	1,048	1,153	1,259	0,294
2012-2013	0,437	1,436	0,946	1,019	0,970	1,041	0,173

Elaboração dos autores.

Como mostra a tabela 3, é possível verificar que o componente de emparelhamento teve uma contribuição positiva entre 2006 e 2009, e destacadamente, no período final de 2012 a 2013. Já entre 2009 e 2012 a contribuição do *catch up* para a produtividade total dos fatores foi negativa.

TABELA 3
Estatísticas da dinâmica da mudança de eficiência (2006-2013)

Ano inicial-final	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desvio-padrão
2006-2007	0,890	1,442	0,987	1,052	1,055	1,096	0,112
2007-2008	0,792	1,448	1,000	1,041	1,069	1,123	0,124
2008-2009	0,830	2,093	0,940	1,000	1,033	1,024	0,222
2009-2010	0,539	1,117	0,842	0,926	0,909	1,000	0,139
2010-2011	0,612	1,659	0,725	0,801	0,848	0,922	0,200
2011-2012	0,501	1,235	0,621	0,779	0,789	0,977	0,192
2012-2013	0,819	2,049	1,312	1,471	1,474	1,821	0,363

Elaboração dos autores.

Já a dinâmica da mudança de tecnologia apresenta uma evolução oposta à dinâmica da mudança de eficiência, como apresenta a tabela 4. A contribuição da tecnologia é negativa no início e no fim do período analisado e positiva nos anos intermediários.

TABELA 4
Estatísticas-resumo da dinâmica da mudança de tecnologia (2006-2013)

Ano inicial-final	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desvio-padrão
2006-2007	0,888	1,101	0,949	0,993	0,987	1,012	0,051
2007-2008	0,881	1,156	0,909	0,958	0,976	1,033	0,076
2008-2009	0,802	1,005	0,904	0,923	0,914	0,926	0,042
2009-2010	1,068	1,292	1,122	1,132	1,139	1,133	0,055
2010-2011	0,991	1,457	1,167	1,346	1,260	1,349	0,142
2011-2012	1,001	1,957	1,330	1,362	1,486	1,623	0,237
2012-2013	0,512	1,112	0,565	0,668	0,680	0,714	0,141

Elaboração dos autores.

Para explorar melhor as estimativas, a análise foi dividida em dois períodos, a saber: 2006-2010 e 2010-2013, na tentativa de reduzir o impacto do período 2008-2009, que teve resultados muito baixos, na dinâmica da produtividade total dos fatores, e permitir a análise a partir de 2010 que foi o ano de introdução da LNSB.

TABELA 5
Estatísticas-resumo do índice Malmquist (2006-2010)

Índice de Malmquist	Mínimo	Máximo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Desvio-padrão
Eficiência	0,753	1,595	0,938	1,000	1,030	1,082	0,166
Tecnológica	0,919	1,251	0,934	0,946	1,006	1,042	0,108
Total	0,705	1,639	0,899	1,006	1,037	1,151	0,203

Elaboração dos autores.

Conforme a tabela 5, entre 2006 e 2010, o resultado das estatísticas de tendência central da produtividade total dos fatores foi em torno da unidade, indicando pouco avanço de eficiência no período.

Os resultados da tabela 6, a seguir, estimam para o período 2006-2010 a quantidade percentual de prestadoras que se enquadram nos três casos: *i*) o intervalo de confiança encontrado tenha os dois extremos menores do que a unidade, o que significa que a produtividade piorou de maneira estatisticamente significativa; *ii*) o intervalo de confiança tenha os dois extremos maiores do que a unidade, o que implica que a produtividade melhorou de maneira significativa; e *iii*) o intervalo de confiança possui um extremo menor do que a unidade e outro maior, de modo que não houve mudança estatisticamente significativa de produtividade.

Assim, verificamos que 40,7% das prestadoras apresentaram melhora estatisticamente significativa, enquanto 48,1% apresentaram piora estatisticamente significativa entre 2006 e 2010. Já a mesma análise realizada nos índices decompostos entre os efeitos mudança de eficiência e mudança tecnológica revela que a maioria das prestadoras, 70,3% e 62,9%, respectivamente, não apresentou mudança estatisticamente significativa.

Em resumo, no período 2006-2010, apesar das estatísticas-resumo indicarem pequeno avanço na produtividade, já que a mediana indica crescimento de 0,6%, houve mais prestadoras com piora significativa de produtividade do que com melhora. Assim, os quatro primeiros anos após a LNSB não representaram avanços robustos na produtividade.

TABELA 6
Mudança significativa de eficiência (2006-2010)
(Em %)

Índice de Malmquist	Melhora significativa	Piora significativa	Sem mudança significativa
Eficiência	22,2	7,4	70,3
Tecnologia	11,1	25,9	62,9
Total	40,7	48,1	11,1

Elaboração dos autores.

Já os resultados para o período 2010-2013 apresentados na tabela 7 indicam um aumento significativo de produtividade; a mediana indica um aumento de 6,7%, somente atribuído ao componente tecnológico.

Na tabela 8, as estatísticas resumidas mostram que em torno de 55% das unidades analisadas apresentaram melhoria tecnológica estatisticamente significativa de produtividade contra e que 29,6% com piora estatisticamente significativa.

Para os efeitos de emparelhamento, ao contrário, não há melhora estatisticamente significativa, enquanto 48% estatisticamente pioraram.

TABELA 7
Estatísticas-resumo do índice Malmquist (2010-2013)

Índice de Malmquist	Mínimo	Máximo	1ª Quartil	Mediana	Média	3ª Quartil	Desvio-padrão
Eficiência	0,538	1,659	0,820	0,905	0,925	0,994	0,198
Tecnológica	0,886	1,804	0,997	1,209	1,239	1,350	0,258
Total	0,702	2,994	0,968	1,067	1,146	1,163	0,412

Elaboração dos autores.

Os resultados positivos para a mudança tecnológica no período 2010-2013 indicam que houve expansão da fronteira produtiva do setor. Entretanto, os resultados negativos do efeito emparelhamento apontam que as DMUs não ficaram mais próximas da fronteira expandida.

TABELA 8
Mudança significativa de eficiência (2010-2013)
(Em %)

Malmquist	Melhora significativa	Piora significativa	Sem mudança significativa
Eficiência	0	48,1	51,8
Tecnológica	59,2	0	40,7
Total	55,5	29,6	14,8

Elaboração dos autores.

Agora, finalmente, é apresentada a análise de todo o período da amostra, ou seja, entre 2006 e 2013. Observa-se, na tabela 9, que as estatísticas-resumo apontam um avanço na produtividade total dos fatores no período. Esse aumento, como entre 2010 e 2013, é explicado pela mudança tecnológica, já que a mudança de eficiência apresentou média e mediana menores do que a unidade.

TABELA 9
Estatísticas-resumo do índice Malmquist (2006-2013)

Índice de Malmquist	Mínimo	Máximo	1ª Quartil	Mediana	Média	3ª Quartil	Desvio-padrão
Eficiência	0,487	1,698	0,818	0,894	0,952	1,008	0,245
Tecnológica	0,939	1,969	1,106	1,220	1,248	1,369	0,221
Total	0,802	2,841	0,979	1,067	1,194	1,150	0,451

Elaboração dos autores.

A análise da mudança significativa de cada prestadora, tabela 10, também indica avanço entre 2006 e 2013, principalmente na mudança tecnológica, onde mais de 51% das prestadoras apresentaram melhora significativa e nenhuma piorou significativamente.

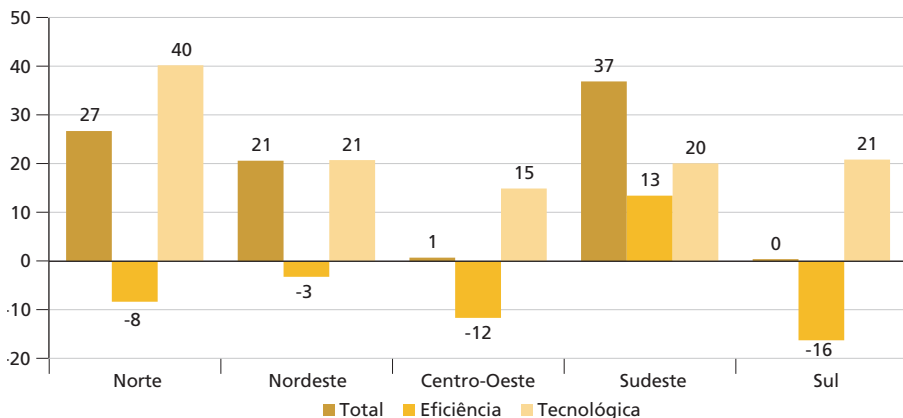
TABELA 10
Mudança significativa de eficiência (2006-2013)
(Em %)

Malmquist	Melhora significativa	Piora significativa	Sem mudança significativa
Eficiência	7,4	33,3	59,2
Tecnológica	51,8	0	48,1
Total	40,7	22,2	37,0

Elaboração dos autores.

Resumindo, os sete anos analisados apresentaram avanço na produtividade total dos fatores; a mediana do índice de Malmquist aponta para um crescimento de 6,7%. É relevante que quase 41% das prestadoras tenham aumentado sua produtividade no período. Os resultados também indicam que houve uma expansão na fronteira; entretanto, mais de 59% das DMUs não apresentaram mudança significativa no que se refere à mudança de eficiência. Portanto, os anos após o novo marco regulatório foram caracterizados pelo crescimento tecnológico, mas não pelo aumento do escore de eficiência das prestadoras, no sentido de que a maioria manteve distância em relação à fronteira.

GRÁFICO 4
Média do índice de Malmquist por região (2006-2013)
(Em %)



Elaboração dos autores.

As informações do gráfico 4 indicam que a região que mais avançou foi a Sudeste, com um crescimento médio de 37% na produtividade total dos fatores, seguida pela região Norte, com incremento de 27%. Essas duas regiões apresentam, respectivamente, maior e menor média dos escores de eficiência, conforme o observado no gráfico 3. Essa situação indica que, apesar da região Norte ter avançado bastante em termos de produtividade, a sua distância para a região Sudeste aumentou em termos de eficiência.

É relevante observar que somente a região Sudeste obteve a média da mudança de eficiência positiva, 13%, ou seja, esta foi a única região que as prestadoras de fato se aproximaram da fronteira. Assim, a região mais eficiente foi a que mais progrediu após a LNSB, o que pode ter aumentado ainda mais a heterogeneidade das *performances* entre as regiões.

Cabe ressaltar também o fraco desempenho das regiões Centro-Oeste e Sul, onde, inclusive, os resultados da mudança de eficiência indicam que, em média, as prestadoras dessas regiões se afastaram consideravelmente da fronteira produtiva.

Em suma, os resultados aqui apresentados indicam avanço na produtividade, embora ainda com baixos níveis de escores. E a evolução é dominada pelo efeito mudança de fronteira com menor importância dos efeitos emparelhamento. Essa evolução é mais acentuada no período recente, quando já estava em vigor o marco regulatório do setor.

Na comparação com estudos anteriores, que utilizaram índice de Malmquist, há convergência na dominância dos resultados de baixos escores de eficiência.

Por sua vez, os resultados aqui estimados, de pouco avanço da produtividade total para o período 2006-2010, confirmam os apresentados por Carvalho (2014) e Barbosa (2012) para período equivalente, embora esses autores não encontrem a mesma dinâmica da produtividade regional.

Em outros estudos para períodos anteriores, como Sato (2011) e Seroa da Motta e Moreira (2006), há, contudo, alinhamento de resultados quanto à dinâmica da produtividade no tempo que aqui se observou para o período 2010-2013.

5 CONCLUSÃO

Com o objetivo de analisar a eficiência na prestação dos serviços de água e esgoto depois da Lei Nacional do Saneamento Básico, foram selecionadas as maiores prestadoras de serviço de cada estado entre 2006 e 2013. Foi aplicada a DEA, em conjunto com o *bootstrap*, para a análise estática, e o índice de Malmquist, também em conjunto com o *bootstrap*, para uma análise dinâmica.

Na análise estática, verificou-se que os escores no último ano permaneceram baixos, heterogêneos, e a análise da trajetória da eficiência, por meio das medidas de tendência central, foi inconclusiva.

A análise da dinâmica, realizada ano a ano com a utilização do índice de Malmquist, informa que, em cinco dos sete anos, os valores da média e da mediana apontaram para o avanço da produtividade total dos fatores.

Adicionalmente, o padrão de eficiência estimado apresenta grande disparidade entre as regiões do país, pois as provedoras das regiões menos desenvolvidas são geralmente menos eficientes. Tal indicação sugere diferenças locais de gestão técnica e corporativa e, portanto, os esforços de expansão do setor devem também considerar ajustes regionais, e mesmo locais, diferenciados, no desenho e na adoção de instrumentos de gestão.

Os primeiros três anos (2010-2013) da LNSB foram caracterizados pela expansão da fronteira produtiva, mas não pelo aumento do escore de eficiência das prestadoras, ou seja, a maioria delas não se aproximou da fronteira ampliada. Dessa forma, o período após a LNSB apresentou um aumento estatisticamente significativo de produtividade, no qual se concentrou também a expansão da fronteira do setor. Contudo, observamos um nível de eficiência relativamente baixo e heterogêneo, e, portanto, o avanço no período não se mostrou suficiente para mudar a realidade dos serviços de água e esgotos no país. Então, não seria possível descartar a hipótese de que o novo marco regulatório introduzido pela LNSB tenha expandido o potencial do setor. Por seu turno, também não é possível descartar a hipótese de que as empresas operadoras não foram capazes de se tornar mais eficientes no sentido de Pareto-Kopmans. Dito de outro modo, teria sido possível produzir mais resultados com os mesmos recursos empregados ou, alternativamente, produzir os mesmos resultados com menores dispêndios de recursos.

Da leitura do parágrafo anterior, deduzimos que existiria a necessidade de introdução de incentivos econômicos no processo regulatório para reversão dessa estagnação. A LNSB define explicitamente que os serviços de saneamento serão prestados com eficiência e sustentabilidade econômica. Além disso, o referido diploma legal preconiza que 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 eficiência e eficácia das ações programadas. Este texto descreve, e utiliza, metodologias de avaliação de eficiência e eficácia, no estado-da-arte, que vêm sendo utilizados no Brasil e no exterior, em diversos setores regulados, incluindo o fornecimento e tratamento de água e esgoto. Portanto, já existem a lei e os métodos. Cabe, então, tornar efetiva a melhoria de eficiência setorial.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M.; COHEN, B.; WANG, W. C. The performance of the urban water and wastewater sectors in Australia. **Utilities Policy**, v. 20, n. 1, p. 52-63, 2012.
- 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.
- BANKER, R. D. **Report on Aneel's proposal for electricity distribution tariff regulation**. [s.l.]: Aneel, 2011. (Nota Técnica, n. 101). Disponível em: <<https://bit.ly/2Ni6OsO>>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- 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. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988. 140 p.
- _____. Ministério da Saúde. **Programa de saneamento básico**. Brasília: MS, 2002. Disponível em: <<https://bit.ly/32kPW95>>.
- _____. 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. **Planalto.gov**, Brasília, 5 jan. 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2NkLtyO>>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- _____. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 jun. 2010. Seção 1. Disponível em: <<https://bit.ly/2r8ZpDl>>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- _____. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013**. Brasília: SNIS, 2014. 58 p. Disponível em: <<https://bit.ly/34yNrRW>>.
- BYRNES, J. *et al.* The relative economic efficiency of urban water utilities in regional New South Wales and Victoria. **Resource and Energy Economics**, v. 32, n. 3, p. 439-455, 2010.

CARMO, C. M.; TÁVORA JUNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA DA ANPEC*, 31., 2003, Porto Seguro, Bahia. **Anais...** Porto Seguro: Anpec, 2003. Disponível em: <<https://bit.ly/2rgq2Xa>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

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. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014, 140 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2NGIDDn>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

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.

COELLI, T. J. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 39, n. 3, p. 219-245, 1995.

ESTACHE, A.; GARSOUS, G.; SEROA DA MOTTA, R. Shared mandates, moral hazard, and political (mis)alignment in a decentralized economy. **World Development**, v. 83, p. 98-110, 2016.

GRIGOLIN, R. **Setor de água e saneamento no Brasil: regulamentação e eficiência**. São Paulo: FGV, 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2007, 64 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Síntese de indicadores sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2JTpPQ0>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

LIN, C.; BERG, S. V. Incorporating service quality into yardstick regulation: an application to the Peru water sector. **Review of Industrial Organization**, v. 32, n. 1, p. 53-75, 2008.

MARINHO, A. Avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde dos municípios do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p. 515-534, 2003.

MARINHO, A.; FAÇANHA, L. O. **Programas sociais**: efetividade, eficiência e eficácia como dimensões operacionais da avaliação. Rio de Janeiro: Ipea, 2001. (Texto para Discussão, n. 787).

_____. Hospitais universitários: indicadores de utilização e análise de eficiência. **Revista de Economia Aplicada**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 607-638, 2002.

MENDES, C. C.; SAMPAIO DE SOUSA, M. C. Estimando a demanda por serviços públicos nos municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Economia**, v. 60, n. 3, p. 281-296, 2006.

MENDONÇA, M. J.; SEROA DA MOTTA, R. Saúde e saneamento no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 30, p. 15-30, 2007.

PORTELA, M. *et al.* Productivity change in the water industry in England and Wales: application of the meta-Malmquist index. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 12, p. 2173-2188, 2011.

SALLES, M. J. **Política nacional de saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização**. 2008. Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2NkKKh8>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

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.

SAMPAIO DE SOUSA, M. C.; STOSIC, 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.

SATO, J. M. **Utilização da análise envoltória de dados (DEA) no estudo de eficiência do setor de saneamento**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Economia Regional, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

SEROA DA MOTTA, R. A ausência de regulação econômica em saneamento no Brasil. *In*: SALGADO, L. H.; SEROA DA MOTTA, R. (Eds.). **Marcos regulatórios no Brasil: o que foi feito e o que falta fazer**. Rio de Janeiro: Ipea, 2005.

SEROA DA MOTTA, R.; MOREIRA, A. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. **Utilities Policy**, v. 14, p. 185-195, 2006.

_____. Political factor an the efficiency of municipal expenditures in Brasil. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 4, p. 353-371, 2009.

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

_____. Theory and methodology: estimating and bootstrapping Malmquist index. **European Journal of operational research**, v. 115, p. 459-471, 1999.

SOUZA, F. C.; LEGEY, L. F. L. Dynamics of risk management tools and auctions in the second phase of the Brazilian Electricity Market reform. **Energy Policy**, v. 38, p. 1715-1733, 2010.

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, n. 4, p. 247-254, 2008.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

MARINHO, A.; RESENDE, M. Service quality in electricity distribution in Brazil: a malmquist approach. **CESIFO Working Paper**, n. 6276, 2016.