

V-1595 - ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

Matheus Costa Monteiro Lopes ⁽¹⁾

Economista pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Economia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. MBA em Saneamento pela FESPSP com módulo Internacional na LSE. Ex-economista da Sabesp. Atual Consultor do Tesouro do Estado do Espírito Santo ES. E-mail: mcml.lopes@gmail.com

Mario Augusto Parente Monteiro ⁽²⁾

Doutor e mestre em Administração de Empresas pela Universidade de Fortaleza. Economista e Especialista em Economia rural pela Universidade Federal do Ceará. MBA em Finanças, pelo Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais e Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental pela ENAP. Coordenador Econômico-Tarifário na Agência Reguladora do Estado do Ceará. E-mail: mario.monteiro@arce.ce.gov.br

Endereço⁽¹⁾: Ed - Av. Governador Bley, R. Eng. Fábio Ruschi, 236, 4º andar- Centro, Vitória – ES. 29010-150.

RESUMO

Este trabalho avaliou a eficiência na prestação dos serviços de água e esgoto pelas entidades brasileiras de abrangência regional, no contexto da busca pela universalização do saneamento. Foi aplicada a metodologia DEA (Data Envelopment Analysis), com a construção de uma fronteira não-paramétrica para os anos de 2007 e 2020. Utilizou-se também o Índice de Malmquist para avaliação intertemporal da eficiência, após a implantação da Lei 11.445/2007.

A modelagem econométrica utilizou dados do SNIS e tem o objetivo de contribuir para a literatura de eficiência no setor e de ressaltar esta metodologia como ferramenta para as entidades reguladoras na avaliação e indução de ganhos de produtividade. Observou-se ineficiência relevante no setor, encontrada ineficiência técnica maior do que a ineficiência de escala. Houve evolução da eficiência entre os períodos para grande parte dos prestadores, dominada pela expansão da fronteira, com baixo efeito catch up.

PALAVRAS-CHAVE: DEA; Análise Envoltória de Dados; Índice de Malmquist; Eficiência; Água e Esgotos; Saneamento no Brasil.

CONTÉUDO DO TRABALHO

Este trabalho contém os seguintes itens: Introdução, Revisão de literatura, Metodologia, Análise de Resultados, Considerações Finais, seguidos das referências bibliográficas.

1. INTRODUÇÃO

O déficit de infraestrutura no Brasil é expressivo. O país observou queda dos investimentos neste setor, em percentual do Produto Interno Bruto (PIB), nos últimos anos. O relatório do World Bank (2017a) intitulado “Back to Planning: How to Close Brazil’s Infrastructure Gap in Times of Austerity”, confirma essa queda, que é um dos fatores que explicam o baixo crescimento do país.

Segundo a ABDIB; o Brasil já chegou a investir 5,4% do PIB, com o auge do desenvolvimento do setor nos anos 1970, ao passo que no começo dos anos 2000, investia menos que a metade, isto é, 2,4% do PIB. Vale mencionar que o percentual do PIB investido em infraestrutura no Brasil é também inferior ao de países da América Latina, como Chile, Colômbia, Paraguai, Bolívia, Peru e Costa Rica.

Um dos setores da infraestrutura é o saneamento, no qual está incluída, dentre outras, a distribuição de água potável e a coleta e tratamento de esgoto, que produzem efeitos para a saúde humana, bem como para a qualidade do meio ambiente. A Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu o saneamento como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre seu estado de bem-estar físico, mental ou social.

No mesmo sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu a água como um recurso natural limitado e um bem público fundamental para a vida e para a saúde, inclusive para a concretização de outros direitos humanos. Dessa forma, os investimentos em abastecimento de água e esgotamento sanitário deveriam ser prioritários para a agenda política, uma vez que esses serviços são fundamentais para o desenvolvimento social, econômico e ambiental. Dentre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) - adotados pelas Nações Unidas em 2015 - três deles são relacionados ao tema do saneamento.

O saneamento é imprescindível para o combate à fome e desidratação e para atender as necessidades de consumo, cozimento, higiene e redução do risco de doenças relacionadas à água. O impacto positivo do acesso ao saneamento básico adequado sobre a saúde¹ e queda nas taxas de mortalidade infantil² já foi demonstrado em diversos *papers*. Além disso, elevadas são as despesas com as doenças advindas da água e do esgoto não tratado. A OMS estima que para cada unidade monetária investida em saneamento, são economizadas aproximadamente quatro em gastos com saúde e outros setores.

A água é também um bem econômico, fundamental para o trabalho, prática de atividades culturais e para o aprendizado escolar³. No que se refere aos efeitos econômicos, o aumento de R\$ 3,8 bilhões nos investimentos do setor de saneamento da economia brasileira, produz o acréscimo de R\$ 11,9 bilhões no PIB e cada R\$ 1 bilhão investidos gera 58 mil postos de trabalho⁴.

Dessa forma, muitas são as externalidades positivas da melhoria do saneamento. Entretanto, existe expressiva carência de investimentos e dos indicadores do setor no Brasil. Em 2020, havia 2 bilhões de pessoas no mundo sem acesso a serviços seguros de abastecimento de água e 3,6 bilhões de pessoas sem acesso a serviços de esgotamento sanitário, segundo a OMS.

A realidade brasileira demonstra grande déficit na cobertura dos serviços, especialmente para as áreas periféricas, rurais e de baixa renda. A distribuição também é heterogênea entre as regiões, com o Sudeste, Sul e Centro-Oeste alcançando os maiores percentuais de atendimento.

1.1 Breve Histórico do Saneamento no Brasil

No que se refere a organização da prestação dos serviços no Brasil, até os anos 1970, os serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário eram ofertados pelos municípios, sob a coordenação da Fundação Nacional da Saúde (Funasa). Nos anos 1970 ocorreu a primeira iniciativa de uma política nacional do saneamento no Brasil, com suporte de recursos públicos, com a criação, em 1971, do Plano Nacional de Saneamento - PLANASA.

O PLANASA preconizou a centralização política e maior peso da União no Saneamento e tinha um de seus objetivos o combate ao déficit, através de instrumentos de planejamento mais fortes. Entre as décadas de 1970 e 1980, foram fornecidos incentivos à criação das companhias estaduais de saneamento básico (CESBS), com consequente aumento da cobertura do setor de saneamento.

Em contrapartida à realização de investimentos, os municípios cediam concessões em contratos de longo prazo⁵, arranjo que incentivava a regionalização dos serviços. Os recursos utilizados advindos do FGTS eram transferidos pela União pelo BNH (Banco Nacional de Habitação), órgão executor do Planasa. O Sistema Financeiro do Saneamento - SFS centralizava os recursos e a coordenava as ações no setor.

A despeito dos avanços no período, alguns autores mencionam certas fragilidades do Planasa. Dentre elas, a redução dos investimentos nas décadas seguintes à sua criação e a concentração em certas regiões do país. O plano também não reduziu expressivamente o déficit de esgotamento sanitário, como fez para o caso do abastecimento de água, conforme Motta e Moreira (2004), Cunha (2011) e Saiani e Toneto Júnior (2010).

Nos anos 1980, dada a frágil situação fiscal do governo federal, o BNH começou a perder capacidade de financiamento, e o Planasa começou a declinar. Assim, desde o final dos anos 1980, o Brasil ficou carente de um conjunto de leis, mecanismos de investimento e políticas regulatórias para o setor de água e esgoto.

¹ O efeito de adequadas condições no que se refere a água e esgotamento sanitário sobre a saúde está consolidado na literatura. Ver Mendonça e Motta, (2005), Bleakley (2007), Gamper-Rabindram (2010) e Duflo et al (2015).

² Ver Jalan e Ravallion (2003), Galiani et al (2005), Sousa e Leite Filho (2008), Banerjee e Duflo (2011).

³ Scriptore et al. (2015), Scriptore, (2016), Banerjee e Duflo (2011) e Prado et al. (2001) analisaram o impacto do saneamento sobre indicadores e resultados educacionais, ao debilitar a saúde dos indivíduos.

⁴ Ver CNI (2018)

⁵ Ver Cruz et al (2019) e Saiani e Toneto Júnior (2010).

Dentre as discussões relevantes nas décadas de 80 e 90, a CF/1988 concedeu aos municípios o direito de fazer concessões de serviços públicos de interesse “local”, em 1995 houve a aprovação da Lei das Concessões (Leis nº 8.987/1995), relevante para o setor de infraestrutura e para a participação do setor privado e, em 1997, a edição da lei que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. Porém, embora houve essas iniciativas, além de desenvolvimento de maior conhecimento a respeito do diagnóstico do setor, foi observado um vazio institucional e a insuficiência de investimentos.

Essa situação se estendeu até a aprovação da Lei 11.445, em 5 de janeiro de 2007, colocando a universalização como princípio fundamental ao Saneamento. Foram estabelecidas metas para se alcançar a universalização para os serviços de abastecimento de água potável em 2023 e coleta de resíduos domiciliares em todas as áreas urbanas até 2033. Outro aspecto relevante foi a introdução de maior clareza e regras mais transparentes de regulação, com a entidade reguladora dotada de autonomia administrativa, orçamentária e financeira.

A Lei também atribuiu ao titular a função de definir ente responsável pela regulação/fiscalização. Dessa forma, o número de municípios que fizeram a delegação da regulação cresceu de acima de 800, em 2009, para acima de 3.100, no ano de 2013, segundo dados da ABES.

Porém, embora os citados avanços alcançados através do modelo de regulação e financiamento estabelecido pela PNSB, a realidade é que existe elevado déficit na cobertura desses serviços no Brasil (especialmente de esgotos), mais acentuado no que se refere ao acesso pela população mais pobre e localizada em áreas periféricas e zonas rurais.

Segundo dados do SNIS de 2020, apenas 84% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, o que corresponde a quase 35 milhões de brasileiros não atendidos. A distribuição não ocorre de forma homogênea entre as regiões. Simultaneamente, apenas 55% da população tem rede de esgoto. Ou seja, a realidade é que quase 100 milhões de brasileiros (45%) não têm acesso à coleta de esgoto.

No que se refere ao tratamento do esgoto, apenas 50,8% dos esgotos do país são tratados, de acordo com dados do SNIS. O Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil revela que apenas 18 municípios entre as 100 maiores cidades do país tratam mais de 80% dos esgotos. O Índice de Perdas na Distribuição também é elevado no Brasil. Em 2017, foi 38,9%, considerando-se o País como um todo, revelando essa água perdida entre a entrada no sistema de distribuição de água e a chegada ao consumidor final, conforme dados de IBGE.

Existem alguns avanços em direção a universalização. A proporção de municípios que dispõe de rede de esgoto passou de 47,3% em 1989 para 60,3% em 2017, segundo o IBGE. Porém, este avanço é insuficiente. O Plansab estimou que até 2033 são necessários investimentos de R\$ 142 bilhões em água e R\$ 215 bilhões em esgoto, representando uma média de R\$ 27,6 bilhões por ano. Entretanto, os valores realizados suprem menos de 50% dessa necessidade. Este cenário de déficit na prestação de serviços exige ação coordenada, planejamento e mecanismos de regulação.

1.2 Novo Marco Do Saneamento – Lei 14.026/2020

Diante dos desafios apresentados e à incapacidade de se alcançar grandes avanços em direção à universalização na prestação de serviços de saneamento, o governo buscou atualizar o Marco Legal do setor, aumentar a segurança jurídica do setor e criar incentivos para maior participação privada. Anteriormente, a criação da Lei 11.445/2007 representou avanços neste sentido, porém ainda permanecia a dificuldade de implementação de políticas e um arcabouço regulatório que permitisse o alcance das metas estabelecidas.

Em 2020, foi criada a Lei 14.026/2020. Esta lei, denominada de “Novo Marco Legal” do setor constitui normas com objetivo de se atingir a meta de garantir acesso de 99% da população à água potável e de 90% à coleta e tratamento de esgoto até 2033, visando a universalização dos serviços. A nova legislação tornou obrigatória a realização de licitação para a prestação de serviços seja por ente público ou privado.

Dessa forma, a lei extingue os contratos firmados sem licitação, e promoveu adequação dos contratos vigentes após prazo estabelecido. A prestação dos serviços também poderá ocorrer por conjunto de municípios (Blocos), o que contribui para escala na prestação dos serviços e a sustentabilidade financeira dos operadores.

Este marco também buscou centralizar e fortalecer a regulação e fiscalização do setor por meio da atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), como supervisora regulatória. Para cumprimento de tal objetivo, somente aqueles municípios que aderirem às normas da ANA terão acesso aos recursos federais

para o saneamento. A ANA também tem o papel de desenvolver normas de referência do saneamento, a fim de uniformizar diferentes regulamentos de entes subnacionais.

1.3 Regulação no Saneamento

Segundo a teoria econômica, a regulação se faz necessária quando existe a presença de falhas de mercado, como a situação de monopólio natural presente no setor de saneamento. Conforme Pindyck e Rubinfeld (2013), as economias de escala podem tornar muito custoso que mais do que poucas empresas supram mercados inteiros. Em alguns casos se torna mais eficiente que apenas uma empresa abasteça o mercado.

Assim, os entes regulados necessitam de bons incentivos para participação no setor de forma a obter ganhos de produtividade que devem ser partilhados com consumidores.⁶ É preciso que a entidade reguladora⁷ tenha metas claras, visando a equidade e eficiência, com o objetivo de analisar interesses de diferentes atores envolvidos, sejam eles o titular/concedente, o prestador de serviço; e os usuários/população, conforme Smiderle (2020).

A regulação constitui elemento chave para o setor, estando presente não apenas nas discussões em torno do novo marco legal do saneamento, Lei nº 14.026/2020, como também nas das discussões do primeiro marco do setor, Lei nº 11.445/2007. Em outro aspecto relevante, Galvão Júnior (2009) destaca que um dos objetivos da regulação seria desenvolver mecanismos que incentivem a eficiência das empresas prestadoras de serviço, pois, desse modo, mais recursos poderão ser canalizados para a expansão da infraestrutura.

1.4 Eficiência no Setor

Entre os principais desafios setor de saneamento estão o baixo nível de atendimento e a ineficiência técnica, devido à falta de planejamento e gestão, investimentos insuficientes e falta de uma boa regulação. Conforme mencionado, dentre as normas de referência, está a que envolve definir padrões de qualidade e eficiência.

Maior relevância tem sido atribuída à avaliação da eficiência dos operadores dos serviços de Saneamento no mundo e no Brasil. Um modelo de regulação conhecido, denominado *Yardstick Competition* é consolidado no que se refere a serviços públicos de infraestrutura, e trata da regulação comparativa com avaliação de eficiência das firmas. Castro (2003) argumenta que as diversas formas de avaliação de eficiência são fundamentais para as ações de agências reguladoras, contribuindo decisivamente para fiscalizar, incentivar e orientar políticas na área.

Neste sentido, este estudo analisa a eficiência do setor após a implantação da lei nº 11.445/07 de forma a responder a seguinte questão: Houve melhoria da eficiência do setor de saneamento brasileiro? Dessa forma, será possível avaliar não apenas um retrato da eficiência no presente, através da construção de um ranking de eficiência, mas também a evolução desta eficiência após as mudanças trazidas pelo marco regulatório da lei nº 11.445/2007, explicitando a contribuição da regulação na melhoria da eficiência.

Para tal, este trabalho utiliza a metodologia DEA, e propõe medir eficiência dos prestadores em água e esgoto nos exercícios de 2007 e 2020, através de uma fronteira e ranking de eficiência. A escolha deste período se deve à data da instituição LNSB, em 2007, e a data do Novo Marco do Saneamento, em 2020. Para esta comparação intertemporal optou-se pela utilização do Índice de Malmquist no modelo inicialmente proposto. A análise constitui um benchmarking que deverá identificar as melhores práticas do mercado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Até o início deste século, poucas eram as pesquisas que abordaram a eficiência dos serviços de Saneamento em países em desenvolvimento. Entretanto, posteriormente começaram a ser utilizadas uma variedade de técnicas disponíveis, desde simples análise de indicadores até uma modelagem matemática e estatística sofisticada.

É importante citar o avanço das metodologias para a análise de eficiência. Em geral, existem classes distintas. Os métodos não paramétricos, consistem em usar um conjunto de inputs, e de outputs para a construção de uma fronteira para o conjunto de possibilidades de produção. Já o método das fronteiras paramétricas estabelece uma função de produção previamente.

⁶ Laffont e Tirole (2002)

⁷ Para conhecimento das abordagens regulatórias, recomenda-se Camacho e Rodrigues (2014)

Em algumas situações, as duas técnicas produzem resultados distintos quantos aos níveis de eficiência encontrados, o que torna difícil decidir qual resultado seria mais confiável e necessita maior compreensão sobre os fundamentos teóricos e propriedades dos dois métodos.

A abordagem paramétrica tem como questão fundamental a necessidade de definição de fortes suposições sobre a distribuição utilizada, para que sejam separados os ruídos e a ineficiência. Neste sentido, Cubbin & Tzanidakis (1998) descreve que uma fonte provável de erro significativo é a ineficiência estimada induzida devido a omissão de variáveis relevantes, situação na qual seria necessário separar o erro da ineficiência encontrada. Para tal, seria necessário fazer suposições, embora existam uma série de estatísticas bem desenvolvidas e testes para investigar a validade da especificação do modelo, testes de significância para inclusão ou exclusão de fatores, e também para forma funcional.

Dentre essas técnicas, as análises de fronteira estocástica (SFA) e análise envoltória dos dados (DEA) são amplamente utilizadas na literatura. Ambas abordagens envolvem uma a construção de uma fronteira. Sendo que a SFA mensura uma fronteira paramétrica estocástica ao passo que a DEA adota técnicas não paramétricas. Esta última abordagem tem a vantagem de ser mais flexível e não necessitar de definição de forma funcional.

A partir dos anos 50, depois dos trabalhos de Koopmans (1951), Debreu (1951) e Farrel (1957) e, técnicas não-paramétricas vêm sendo utilizadas no tema da eficiência. Charnes, Cooper e Edward Rhodes (1978) generalizaram os estudos de Farrel, o que originou na técnica de Análise Envoltória de Dados, a partir de um estudo sobre a eficiência de escolas públicas americanas. Este modelo DEA foi pioneiro e recebeu a identificação CCR, em homenagem aos autores. Entretanto, o modelo adotou a suposição de retornos constantes de escala (modelo CRS).

A nomenclatura envelopment ocorre porque seria como se a fronteira de possibilidade de produção envolvesse todas as combinações de insumo e produto. Posteriormente, Banker, Charnes e Cooper (1984), contribuíram com o modelo ao especificar o caso de rendimentos variáveis de escala, de forma que a suposição de que um aumento proporcional nos inputs se reflita num crescimento proporcional dos outputs não era mais necessária, denominado modelo BCC, ou VRS.

A literatura recente utilizou da aplicação dessas técnicas não-paramétricas, como o Free Disposal Hull (FDH) e o DEA. A metodologia consiste em medir a eficiência comparada das unidades de decisão avaliadas, as chamadas DMUs (Decision Making Units). O cálculo da eficiência é feito comparando a relação de insumos/produtos entre as unidades observadas. A eficiência encontrada utiliza a razão entre a soma ponderada dos outputs pela soma ponderada dos inputs utilizados.

Como é um método não paramétrico, não realiza estimações de coeficientes e sim a solução original de problemas de programação matemática. Com a necessidade de se analisar variados insumos e produtos, a análise contém um novo componente, que são os pesos dado a cada uma dessas variáveis. A metodologia DEA define esses pesos de acordo com a base de dados utilizada.

Assim, o método encontra a eficiência para cada unidade em relação ao conjunto avaliado, de forma a ser possível listar um ranking para identificação daquelas mais e menos eficientes e ser possível estimar qual o percentual de ineficiência da variável em estudo. A metodologia DEA apresenta a vantagem de ser invariante com a escala de medida. Os dados não necessitam de normalização. Além disso, é um método flexível e não impõe padrões às unidades avaliadas.

Entretanto, ressalta-se que é preciso cuidado na construção do modelo. Recomenda-se que o número de unidades seja suficientemente grande, para que a fronteira seja construída da maneira adequada. Ainda, é importante a escolha de variáveis relevantes, e que seja evitada a correlação entre elas.

Existem estudos aplicados em diversas áreas como a educação, saneamento/infraestrutura, política social, dentre outras, como pode ser visto em Cardoso et al. (2002), Delgado & Machado (2007), Godoy (2014), Worthington (2001), Castro (2003).

No que se refere ao setor de Saneamento, a literatura internacional traz diversas fontes para o estudo. Cubbin & Tzanidakis (1998) analisaram o desempenho da abordagem paramétrica (análise de regressão) comparada a abordagem não paramétrica (DEA) na análise da eficiência no setor de Saneamento da Inglaterra / País de Gales utilizando dados de 1994-1995. Foram 29 empresas avaliadas.

Neste estudo, os autores fazem uma boa abordagem das diferenças entre as metodologias de análise de regressão e a DEA, de forma a apresentar vantagens e desvantagens de cada método. Os autores mostram que o desempenho dos modelos depende de diversos fatores, como tamanho da amostra. Porém ambos os métodos podem ser utilizados para este tipo de análise. O método DEA empregado foi tanto o DEA-CCR como o DEA-BCC, de forma a se avaliar os ganhos de escala. Os autores descrevem que a eficiência de escala pode ser calculada como a razão entre as duas pontuações da DEA.

Alguns trabalhos desenvolvidos na Ásia e África foram desenvolvidos com o apoio do Banco Mundial. Estache and Rossi (1999, 2002) fizeram estudo de operadores públicos e privados no provimento de serviços de água na Ásia e no Pacífico. Estache and Kouassi (2002) avaliaram operadores públicos e privados na África. Aida et al (1998) utilizaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar o desempenho de entidades que fornecem serviços de água em duas regiões importantes do Japão, tendo como pano de fundo a Lei de águas deste país. Também foram realizadas análises de sensibilidade para estudar os efeitos resultantes da inclusão e omissão de uma ou mais DMUs.

O artigo de Thanassoulis (2000) estuda a aplicação da (DEA) pelo regulador inglês (OFWAT) em 1994, com o objetivo de se estimar potenciais economias de despesas operacionais. A revisão tarifária periódica das companhias que é realizada a cada 10 anos ocorreu em 1994, ano do estudo, e 5 anos após a privatização dos serviços de águas no Reino Unido, quando a regulação de serviços públicos ganhou maior importância nesta região.

O total de empresas analisadas é 32. Deste total 22 companhias operam serviços de água enquanto 10 de água e esgoto. Essas 10 respondem por aproximadamente 75% do volume da distribuição de água. Os dados utilizados são dos anos 1992/1993. A maior empresa analisada é quase 100 vezes o tamanho da menor empresa, de forma que decidiu-se testar se há evidências de que existem economias de escala. Encontrou-se suporte à hipótese de retornos constantes de escala.

No Brasil, alguns estudos começaram a ser desenvolvidos no começo dos anos 2000, seguidos de outros. Castro (2003) foi um dos primeiros trabalhos no Brasil que verificou a aplicabilidade da metodologia de análise de envoltória de dados - DEA (Data Envelopment Analysis) ao setor de saneamento. O trabalho analisou a eficiência das maiores 71 empresas prestadoras de serviços de água e esgoto no Brasil, que representava uma cobertura superior a 85% da população urbana brasileira. Os dados utilizados foram do ano de 2000, disponibilizados pelo SNIS.

O trabalho, resultado de uma dissertação de mestrado, aplicou a DEA com retornos variáveis de escala e orientação por output. Foram testados quatro modelos até se chegar a um conjunto de variáveis capaz de produzir resultados consistentes. A utilização do DEA foi concluída como adequada pelo estudo, pois permitiu a identificação do grupo eficiente em diversas situações e apontou pontos com potencial de melhoria nas empresas.

O *paper* de Carmo e Távora (2003) determina o grau de eficiência técnica das 26 companhias estaduais de saneamento básico, através do DEA com o objetivo de se avaliar quais operam de forma mais eficiente e quais variáveis afetam esse desempenho, isto é, os determinantes da eficiência encontrada. O estudo utilizou dados do ano 2000 e utilizaram a abordagem do DEA-BCC e DEA-CCR, com orientação por inputs, justificada no provimento obrigatório dos serviços por parte do poder público, dada a essencialidade da água. A empresa que conseguiu maior destaque no estudo foi a CESAN/ES, sendo a líder global do grupo. Do conjunto das 26 empresas analisadas, as mais eficientes estavam localizadas na região Sudeste.

Tupper & Resende (2004) analisam a eficiência relativa das empresas estaduais de água e esgoto no Brasil durante o período 1996-2000. O artigo destaca que o processo de privatizações gerou mudança importante em termos de estruturas institucionais e regulatórias em países em desenvolvimento. O *paper* utiliza o DEA combinado a análise econométrica para gerar eficiência ajustada a pontuações que controlam heterogeneidades regionais. O artigo também fez uma estimativa paramétrica dos determinantes das eficiências encontradas.

Motta e Moreira (2006) também utilizaram a DEA, aplicando o modelo em dados extraídos do SNIS para o período de 1998-2002, em 104 operadores, dos quais 25 servindo apenas água, 20 são regionais e 11 concessionários privados. Para analisar a evolução dos níveis de produtividade no tempo, o *paper* separou a medida de produtividade total anual em seus componentes de mudanças de fronteira, mudança técnica e efeitos de escala. Neste trabalho foi aplicado o Índice de Malmquist para avaliação entre períodos.

Dentre as conclusões do trabalho, os operadores municipais apresentam o mesmo nível de variação da produtividade total em todo o período e a fonte dominante de produtividade é aquela movendo o operador para mais perto da fronteira. Observa-se também que os movimentos de catch-up são liderados pelos concessionários privados em 2001, enquanto mudanças na fronteira são igualmente importantes para todos os tipos.

Existem diversos outros trabalhos neste tema. Grigolin (2007) usou modelos DEA output orientados com retornos constantes e variáveis de escala, para avaliar 57 empresas prestadoras de serviço de saneamento no estado de São Paulo entre os anos de 1995 e 2004.

Sabbioni, G. (2008) examina a eficiência relativa de empresas regionais e locais na prestação de serviços de água e esgoto no Brasil entre 2000 e 2004. O artigo utiliza o modelo de efeitos fixos para dados em painel, de forma que a ineficiência não observada seja capturada pelos coeficientes específicos da empresa. O estudo encontra evidências de custos específicos da empresa mais baixos operadores regionais, o que indica ganhos de eficiência devido à escala de operação.

Medeiros e Rodrigues (2019) avaliaram o impacto das políticas públicas municipais sobre a prestação eficiente e a universalização do acesso aos serviços de saneamento dos municípios de minas gerais utilizando a análise envoltória de dados (DEA) e a técnica propensity score matching (PSM). Cruz, Motta e Marinho (2019) fizeram um estudo utilizando o DEA, com a utilização de um método de correção de viés proposto por Simar e Wilson (1998). Ainda, os autores também utilizaram o Índice de Malmquist para avaliar a evolução dinâmica da eficiência, entre períodos. O estudo envolveu 27 prestadoras estaduais no período 2006-2013, a partir de dados do SNIS.

A tabela abaixo resume alguns dos principais trabalhos encontrados. Ressalta-se que lista apresentada não é exaustiva, existindo outros trabalhos não mencionados que também são relevantes neste tema.

Tabela 3 – Alguns artigos que utilizaram a metodologia DEA

Autores	Método	Amostra	Dados
Cubbin & Tzanidakis (1998)	DEA (CRS e VRS)	29 Empresas	1994-95
Aida (1998)	DEA	Duas amostras: -108 DMUs - 19 DMUs	1993
Thanassoulis (2000)	DEA - CRS	32 Companhias	1994
Castro (2003)	DEA - VRS	71 Operadoras Listadas no SNIS	2000
Carmo e Távora Júnior (2003)	DEA-CRS e DEA-VRS	26 Companhias	2000
Tupper (2004)	DEA	20 Empresas	1996-2000
Cruz, Motta e Moreira (2019)	DEA Índice de Malmquist	26 Empresas Estaduais	2006-2013
Medeiros e Rodrigues (2019)	DEA Propensity Score	325 Municípios	2013

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. METODOLOGIA

3.1 Formulação do Modelo

Benchmarking é a comparação sistemática do desempenho de uma empresa em relação a outras empresas, utilizado para apoiar o aprendizado e a melhoria da eficiência dos indivíduos, de forma a conhecer as melhores práticas. Neste sentido, são analisadas unidades que transformam uma mesma escolha de insumos para o mesmo tipo de produtos e serviços.

Na Análise Envoltória de Dados (DEA), a partir dos dados analisados, define-se o padrão de desempenho a seguir, isto é, a fronteira de eficiência, e por outro lado, avalia o desempenho de cada unidade em relação à fronteira. O subconjunto eficiente são as combinações de insumo-produto que não podem ser melhoradas. Eles representam as melhores práticas.

É necessário que existam observações suficientes no DEA para preencher a fronteira completa. Existem dois tipos de erro possíveis. O primeiro seria considerar uma unidade ineficiente sendo que é eficiente. Já o segundo seria considerá-la eficiente sendo que na verdade é ineficiente. O modelo que aqui será descrito segue a notação e figuras utilizadas por Bogetoft & Otto (2010).

Consideremos k empresas que utilizem m insumos para produzir n outputs. Sejam $x^k = (x_1^k, \dots, x_m^k) \in R_+^m$ os insumos utilizados e $(y_1^k, \dots, y_n^k) \in R_+^n$ os produtos alcançados pela firma k , $k = 1, \dots, K$. Considere os preços dos insumos sendo $(w_1^k, \dots, w_m^k) \in R_+^m$ e os preços dos produtos sendo $(p_1^k, \dots, p_n^k) \in R_+^n$ para a firma k . Para simplificar a notação, o plano de produção é definido por (x^k, y^k) .

Por fim, o conjunto de possibilidades de produção, ou tecnologia, é definido por:

$$T = \{ (x, y) \in R_+^m \times R_+^n \mid x \text{ produz } y \}$$

A tecnologia é construída, na DEA, seguindo o *minimal extrapolation principle*. Dessa forma, T^* é o menor conjunto de $R_+^m \times R_+^n$ que contém as combinações $(x^k, y^k), k = 1, \dots, K$ e satisfaz certos pressupostos específicos, como a *free disposability* e a convexidade.

As abordagens do DEA podem diferir quanto às suposições acerca da tecnologia T . Os principais supostos são:

A1 Free disposability: Pode-se produzir menos com mais, ou seja, podemos livremente descartar os insumos desnecessários e produtos indesejáveis. Isto é, $(x, y) \in T, x' \geq x \text{ e } y' \leq y \Rightarrow (x', y') \in T$. Essa suposição significa que podemos dispensar quaisquer insumos e produtos extras: se uma combinação de insumo-produto é uma produção viável para uma empresa, então qualquer combinação onde a quantidade de insumos é maior e a de produtos é menor que esta também é uma produção viável, que está no conjunto de tecnologia.

A2 Convexidade: Qualquer soma ponderada de planos de produção factíveis é também factível.

$$(x, y) \in T, (x', y') \in T, \alpha \in [0, 1] \Rightarrow \alpha(x, y) + (1 - \alpha)(x', y') \in T$$

Se duas combinações de insumo produto são produções viáveis, então qualquer combinação das duas também é uma produção viável. Esta combinação é chamada de combinação convexa. A convexidade cumpre o papel de ampliar a tecnologia, especialmente quando há apenas algumas observações disponíveis.

A3 Retornos de Escala: A produção pode ser dimensionada com determinado conjunto de fatores:

$$(x, y) \in T, k \in \Gamma(\gamma) \Rightarrow k \cdot (x, y) \in T$$

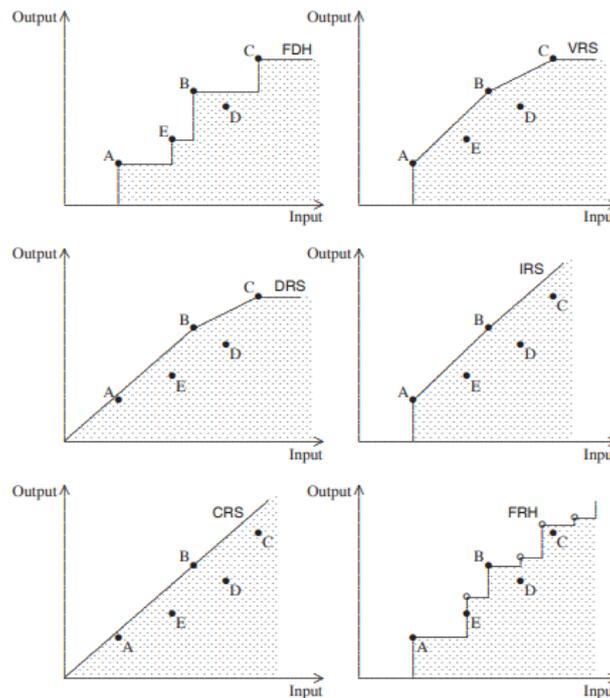
A4 Aditividade, replicabilidade. A soma de quaisquer dois planos de produção factíveis é também factível.

$$(x, y) \in T, (x', y') \in T \Rightarrow (x + x', y + y') \in T$$

Onde $\gamma = crs, drs, irs, \text{ ou } vrs$ com os fatores de escala dados por $\Gamma(crs) = R_0$, $\Gamma(drs) = [0, 1]$, e $\Gamma(irs) = [1, \infty]$, $\Gamma(vrs) = \{1\}$, respectivamente.

Assim, as distintas aplicações do método DEA se dão em função dos diferentes supostos. Basicamente, os modelos clássicos são 6: os que utilizam retornos constantes de escala, o que utilizam retornos crescentes, decrescentes e variáveis de escala. E os modelos que seguem a *free disposability hull* e em outros a *free replicability hull*. A figura abaixo apresenta diferentes tecnologias, conforme as suposições:

Figura 1 – Modelos - DEA



Fonte: Bogetoft & Otto (2010).

A tecnologia com os modelos distintos é representada por:

$$T^*(\gamma) = \{ (x, y) \in R_+^m \times R_+^n \mid \exists \lambda \in \Lambda^k(\gamma): x \geq \sum_{k=1}^K \lambda^k x^k, y \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y^k \}$$

Onde,

$$\Lambda^k(fdh) = \{ \lambda \in N_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1 \}$$

$$\Lambda^k(vrs) = \{ \lambda \in R_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k = 1 \}$$

$$\begin{aligned}\Lambda^k(drs) &= \{ \lambda \in R_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k \leq 1 \} \\ \Lambda^k(irs) &= \{ \lambda \in R_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k \geq 1 \} \\ \Lambda^k(crs) &= \{ \lambda \in R_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k \text{ free} \} = R_+^k \\ \Lambda^k(frh) &= \{ \lambda \in N_+^k \mid \sum_{k=1}^K \lambda^k \text{ free} \} = N_+^k\end{aligned}$$

O conjunto matemático T é o menor conjunto contido nos dados que atende às suposições mencionadas.

Pode-se utilizar a orientação do problema de maximização por insumos, que analisa quanto de cada insumo pode ser proporcionalmente reduzido sem que os produtos/resultados sejam alterados. Alternativamente, a orientação por produtos maximiza os produtos/resultados sem que seja necessária maior quantidade de insumos. A eficiência orientada por insumos pode ser expressa por E ao passo que a eficiência orientada por produtos por F :

$$E = \min \{ e \mid ex \text{ pode produzir } y \} = \frac{|x^*|}{|x|}.$$

$$F = \max \{ f \mid x \text{ pode produzir } fy \} = \frac{|y^*|}{|y|}.$$

Esta relação pode ser analisada pelo gráfico abaixo.

Figura 2 – Orientação – Modelo DEA

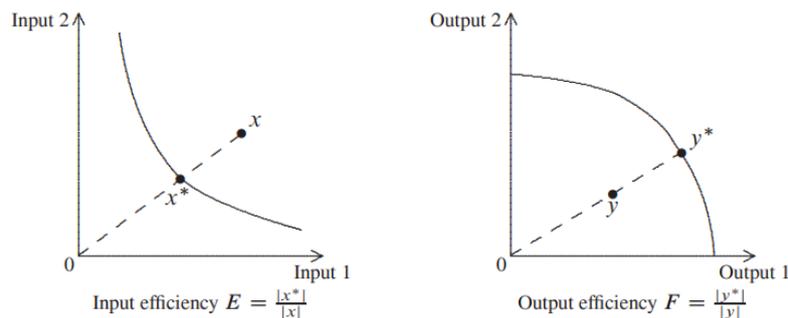


Fig. 1.8 Measuring Farrell efficiency

Fonte: Bogetoft & Otto (2010).

Dessa forma, medimos a eficiência de Farrell da empresa pela ótica dos insumos por:

$$E^0 = E((x^0, y^0); T^*) = \min \{ E \in R_+ \mid (Ex^0, y^0) \in T^* \}$$

Inserindo a formulação de $T^*(y)$, temos:

$$\begin{aligned}\min_{E, \lambda^1, \dots, \lambda^K} & E \\ \text{s. t. } & Ex^0 \geq \sum_{k=1}^K \lambda^k x^k, \\ & y^0 \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y^k, \\ & \lambda \in \Lambda^k(y).\end{aligned}$$

Pela orientação por produto, seguimos de forma similar.

$$F^0 = F((x^0, y^0); T^*) = \max \{ F \in R_+ \mid (x^0, Fy^0) \in T^* \}$$

Inserindo a formulação de T^* , temos:

$$\begin{aligned} & \max_{E, \lambda^1, \dots, \lambda^K} F \\ \text{s. t. } & x^0 \geq \sum_{k=1}^K \lambda^k x^k, \\ & Fy^0 \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y^k, \\ & \lambda \in \Lambda^k(y). \end{aligned}$$

No que se refere aos retornos de escala, o modelo admite a suposição de retornos constantes e variáveis. Caso seja variável, este pode ser não crescente ou não decrescente.

Podemos decompor a eficiência (relacionada a uma tecnologia CRS) em dois componentes: 1) eficiência pura (técnica) medindo a capacidade de usar as melhores práticas na tecnologia VRS e 2) eficiência de escala. A eficiência de escala pode ser calculada pela razão entre a eficiência no modelo CRS e a obtida pelo modelo VRS:

$$SE(x^0, y^0) = \frac{E(x^0, y^0; crs)}{E(x^0, y^0; vrs)}$$

A eficiência de escala é a capacidade de obter o máximo de saídas por entrada e é medida como a razão de eficiência baseada em CRS e eficiência baseada em VRS. A eficiência alocativa é usar uma combinação de insumos que minimiza os custos ou para produzir um produto que maximiza a receita.

3.2 Eficiência Dinâmica

Com o tempo, é provável que o desempenho das empresas mude. Além disso, é provável que a tecnologia mude devido ao progresso técnico. Essas mudanças tornam relevante medir não apenas como as empresas mudam ao longo do tempo, mas também quantas dessas mudanças são causadas pelo progresso tecnológico geral e quantas podem ser atribuídas a iniciativas especiais por parte de empresas individuais em relação à tecnologia existente.

Descrevemos o estado de uma empresa durante dois períodos: primeiro, o período s e depois o período t . Da mesma forma, temos duas tecnologias relevantes para os dois períodos. Se uma empresa melhorou no sentido de s para t , ela se aproximou da tecnologia s . Por outro lado, se a tecnologia também mudou, pode ser que a empresa não tenha tanto desempenho quanto esperávamos. Na literatura de benchmarking, a abordagem mais popular para realizar avaliações dinâmicas é o índice de Malmquist.

Considere $E^i(s, t)$ como uma medida de desempenho da firma i no período s em relação à tecnologia no período t . Para medir a melhoria na empresa i do período s para o período t , podemos observar as mudanças na eficiência em comparação com uma tecnologia fixa.

$$M^s = \frac{E(t, s)}{E(s, s)}$$

A razão é maior que 1 se houve melhoria da empresa do período de s para o período t . Portanto, M_s é maior que 1 quando a empresa melhora ao longo do tempo e menor que 1 se ela se afasta da fronteira ao longo do tempo. Entretanto, M_s mede a melhoria apenas em relação à tecnologia s .

Alternativamente, podemos considerar a tecnologia do período t como sendo a tecnologia fixa, de forma a obter:

$$M^t = \frac{E(t, t)}{E(s, t)}$$

O Índice de Malmquist é obtido pela média geométrica das duas medidas, M_s e M_t :

$$M(s, t) = \sqrt{M^s M^t} = \sqrt{\frac{E(t, s) E(t, t)}{E(s, s) E(s, t)}}$$

O índice de Malmquist mede o quanto uma empresa melhorou de um período s para o próximo t . A mudança no desempenho pode ser decomposta em dois fatores: O progresso (ou redução) tecnológico geral e iniciativas da empresa que resultem em alteração no seu desempenho em relação as outras. Esses efeitos podem ser representados conforme a seguir:

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

$$TC(s, t) = \text{Mudança Tecnológica} = \sqrt{\frac{E(t, s) E(s, s)}{E(t, t) E(s, t)}}$$

$$EC(s, t) = \text{Evolução da Eficiência} = \frac{E(t, t)}{E(s, s)}$$

EC mede o *catch up* em relação à tecnologia atual. Sempre medimos esse fator em relação à tecnologia atual, para verificar o quando a empresa se aproximou da fronteira de eficiência, caso em que a razão é maior do que 1. Dessa forma, fica evidente que a empresa também deve melhorar em relação a outras, que também se beneficiaram do progresso tecnológico geral. Dessa forma, a medida de Malmquist e sua decomposição são úteis na captura de dinâmicas evolução de um período para o outro.

4. RESULTADOS

4.1 Base de Dados e Modelo

Este trabalho implementa variações do modelo DEA. Este método permite trabalhar com múltiplas variáveis. Vale mencionar que o DEA não exige que essas variáveis tenham a mesma unidade de medida. A opção pelo método ocorreu diante da flexibilidade do modelo, facilidade de trabalhar com várias variáveis e não exigência de especificação funcional.

Este estudo utiliza os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS para os anos de 2020 e 2007. O Sistema possui uma base de dados que contém informações e indicadores sobre a prestação de serviços de Água e Esgotos, de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem e Manejo das

Águas Pluviais Urbanas. Utilizou-se informações dos serviços de água e esgoto referente a 24 prestadores de abrangência regional devido a sua grande participação, operando os serviços para maior parcela da população⁸.

Foram excluídas da base a Companhia de Saneamento do Amazonas, a Agência Tocantinense de Saneamento e o Departamento Estadual de Pavimentação e Saneamento do Acre por não ter sido encontrada informação de esgotamento sanitário para estes prestadores, apenas de abastecimento de água. A COPANOR também foi excluída por não apresentar dados para o ano de 2007.

Apresenta-se as variáveis utilizadas neste estudo. Os códigos SNIS das variáveis selecionadas serão apresentados a seguir. A variável considerada como Input é a Despesa de Exploração, que compreende as despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica, serviços de terceiros, água importada, esgoto exportado, despesas fiscais ou tributárias computadas, além de outras despesas de Exploração (FN027).

Como Outputs foram utilizadas 5 variáveis, que também foram abordadas na literatura de eficiência no Saneamento. Para referência destas variáveis, ver os trabalhos de Cubbin & Tzanidakis (1998), Aida (1998), Thanassoulis (2000), Carmo e Távora Júnior (2003), Tupper (2004), Medeiros e Rodrigues (2019), Cruz, Motta e Moreira (2019) e Castro (2003).

Os Outputs são: A quantidade de economias ativas de água (AG003), conectadas à rede de abastecimento de água e com água disponibilizada, a quantidades de economias ativas de esgoto em pleno funcionamento (ES003), o volume de esgoto coletado (ES005), o Volume de esgoto tratado (ES006) e o volume de água consumido (AG010) pelos usuários.

No que se refere aos produtos escolhidos, o volume de água consumido e o número de ligações/economias de água são um dos principais objetivos de um prestador no sentido de conseguir atender a população de determinada região, conforme Motta e Moreira (2004).

Trata-se de uma forma de mensurar os produtos/resultados almejados, a partir da aplicação de recursos e insumos no processo produtivo. Neste sentido, os outputs números de economia de água e esgoto (AG003 e ES003) são muito utilizados na literatura e captam o objetivo da universalização.

Optou-se pelo conceito de economias ao invés de ligações uma vez que este é um conceito menos agregado, de forma a refletir melhor a realidade dos resultados alcançados. As economias se referem a moradias, apartamentos, unidades comerciais, dentre outros, existentes numa determinada edificação, que são atendidos pelos serviços de água/esgotos. Dessa forma, em um prédio com uma ligação para abastecimento de água, cada apartamento é considerado uma economia abastecida, que pode estar ativa ou inativa. As economias ativas são aquelas que contribuem para o faturamento. A tabela a seguir detalha as variáveis:

⁸ As companhias estaduais (públicas e de economia mista), respondem por aproximadamente 70% do abastecimento de água e esgoto dos municípios, conforme Soares et al. (2017) e SNIS (2018).

Tabela 4 – Variáveis Utilizadas – Inputs e Outputs

Variável	Descrição
Insumos	
Despesas de Exploração - FN015	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, em R\$.
Produtos	
Quantidade de Economias Ativas - Água - AG003 Quantidades de Economias Ativas - Esgoto - ES003	Quantidade de economias ativas de água/esgoto conectadas à rede e em pleno funcionamento.
Volume de esgoto coletado - ES005	Volume anual de esgoto lançado na rede coletora, em 1.000 m ³ /ano.
Volume de esgoto tratado - ES006	Volume anual de esgoto coletado e que foi submetido a tratamento, medido ou estimado na(s) entrada(s) da(s) ETE(s). em 1.000 m ³ /ano.
Volume de Água Consumido - AG010	Volume anual de água consumido por todos os usuários, em 1.000 m ³ /ano.

Fonte: SNIS

A tabela a seguir apresenta as estatísticas descritivas dos insumos e produtos utilizados no ano de 2020. Nota-se elevada amplitude devido à heterogeneidade entre os prestadores no país, a exemplo da diferença entre despesa de exploração utilizada pela Sabesp, maior Companhia de Saneamento do Brasil em número de clientes, no valor de R\$ 8,4 bilhões, e esta mesma despesa utilizada pela CAESA, no valor de R\$ 71,2 milhões.

Tabela 5 – Estatísticas Descritivas – Inputs e Outputs – Ano 2020

Variáveis	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3rd Qu.	Máximo
Desp. Exploração	R\$ 71,224,825	R\$ 431,278,344	R\$ 725,871,638	R\$ 1,432,324,944	R\$ 2,096,584,509	R\$ 8,391,738,416
Volume Consumido	17,029.00	79,207.00	132,203.00	277,071.00	301,402.00	1,824,915.00
Economias Água	76,217.00	524,511.00	937,952.00	2,048,972.00	2,551,198.00	12,425,653.00
Economias Esgoto	10,129.00	150,637.00	338,070.00	1,205,641.00	1,091,910.00	10,943,364.00
Esgoto Coletado	1,210.00	17,819.00	38,969.00	149,527.00	148,227.00	1,329,973.00
Esgoto Tratado	157.00	17,285.00	42,808.00	134,558.00	145,182.00	1,188,681.00

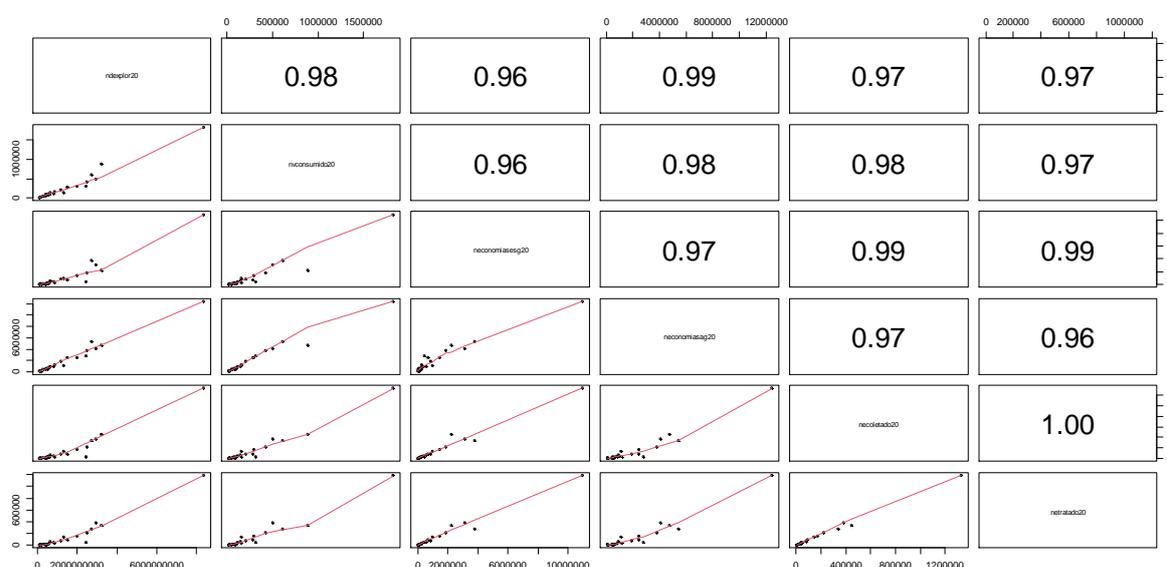
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

A escolha dos inputs e outputs é uma parte relevante de um estudo da eficiência, uma vez que o modelo e tecnologia são construídos com base nos dados. Destaca-se que é necessário selecionar as variáveis relevantes. Optou-se pela construção de uma matriz de correlação entre os inputs e outputs selecionados.

A matriz de correlação exibida a seguir apresenta elevadas correlações entre inputs e outputs, o que indica relevância das variáveis selecionadas e corrobora para a escolha das variáveis produto. Thanassoulis (2000a) e Castro (2003) também encontraram variáveis bastante correlacionadas, sugerindo que seria uma característica própria do setor de saneamento, mesmo que em locais distintos. Ainda, a correlação favorece a opção do DEA como metodologia para análise da eficiência, versus modelos paramétricos que exigem especificação funcional.

No que se refere aos produtos selecionados, embora exista elevada correlação entre si, optou-se por manter essas variáveis. São variáveis de grande relevância, no contexto do Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026) que preconiza a cobertura/atendimento dos serviços. Ainda, foram realizados testes utilizando outras variáveis, como as ligações ativas de água e ligações ativas de esgoto, dentre outras e as correlações se mantiveram altas. Por fim, foram consultados alguns trabalhos relevantes onde também se nota elevada correlação entre as variáveis escolhidas, o que pode refletir uma característica do setor, conforme já mencionado.

Figura 3 – Matriz de Correlação – Inputs e Outputs – Ano 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

Aplicação do Modelo DEA pode ocorrer utilizando-se diferentes premissas quanto à escala utilizada no problema de otimização, conforme abordado na seção metodológica, bem como da definição quanto à orientação por insumos ou produtos. O modelo adotado será o DEA-VRS, por ser menos restritivo.

Este estudo utiliza a orientação por produtos. O novo marco do saneamento define metas claras de universalização do saneamento, em indicadores, dentre outros, de cobertura/atendimento dos serviços de água e esgoto. O Brasil convive com elevado déficit no Setor. Dessa forma, entende-se que é desejável o foco dos prestadores no alcance da universalização, de forma a ser mais importante maximizar os serviços entregues a partir da utilização do mesmo nível de insumos do que almejar a redução de despesas mantendo-se o nível atual de serviços.

Ainda, destaca-se a característica de rigidez do gasto público para quase totalidade das companhias avaliadas, com consequente dificuldade de redução de “despesas obrigatórias”, como por exemplo a despesa com pessoal.

Foi realizado o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov⁹. O valor do teste é D. Como o p valor é 0,99, ou 99%, sendo maior que o nível de significância, não é possível rejeitar a hipótese nula de ausência de ineficiência de escala, indicando o uso do modelo com retornos constantes de escala para estimação na ineficiência do modelo. Dessa forma, como o modelo inicialmente escolhido era o DEA-VRS, optou-se também pela estimação DEA-CRS para garantir maior robustez à análise e uma discussão mais rica dos resultados encontrados, especialmente para a análises dos rendimentos de escala.

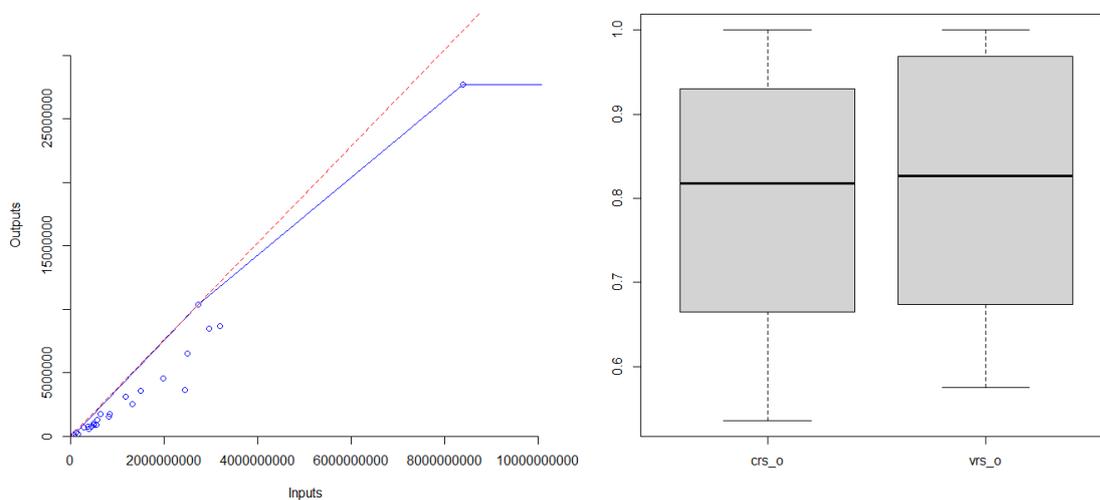
Tabela 6 – Teste de Kolmogorov-Smirnov

Teste de Kolmogorov-Smirnov
Data: eecrs and eevrs
D = 0.125, p-value = 0.99092
Alternative hypothesis: two-sided

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

O gráfico a seguir representa a fronteira de eficiência construída para o modelo com retornos constantes (CRS) e com retornos variáveis de escala (VRS). Nota-se que os escores de eficiência encontrados no modelo CRS é menor que os encontrados no modelo VRS, conforme esperado, uma vez que o primeiro é mais restritivo, conforme mostra o Boxplot.

Figura 4 – Fronteira de Eficiência e Boxplot – Modelos CRS e VRS – Ano 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

A tabela a seguir mostra os resultados da eficiência, encontrados a partir do DEA utilizando-se as premissas CRS e VRS. Os números mostram elevada diferença na eficiência entre os prestadores, o que denota a heterogeneidade e grande diferença da realidade de gestão, governança e fatores socioeconômicos que os

⁹ Ver Siegel e Castellan, (1988)

prestadores convivem. Para o ano de 2020, a média e mediana do modelo VRS é de 0,81570 e 0,82628, respectivamente. O modelo CRS apresenta números menores, com média de 0,79675 e mediana de 0,81807.

Tabela 7 – Estatísticas Descritivas – Escores de Eficiência – CRS e VRS

Ano	Minímo	1º Quartil	Mediana	Média	3rd Qu.	Máximo
CRS						
2020	0.53604	0.68152	0.81807	0.79675	0.92416	1.00000
2007	0.39021	0.68844	0.79843	0.79177	0.91209	1.00000
VRS						
2020	0.57502	0.68643	0.82628	0.81570	0.95879	1.00000
2007	0.40365	0.72265	0.87752	0.83376	1.00000	1.00000

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

A especificação de rendimentos constantes de escala, quando nem todas as empresas estão operando em escala ótima, poderá provocar confusão entre a eficiência técnica e a eficiência de escala. Neste caso, a partir dos resultados encontrados, deve-se verificar se existe diferença entre os valores de eficiência encontrada com retornos constantes e variáveis. Caso exista diferença, significa que existe ineficiência de escala na operação desta companhia.

Neste sentido, caso a eficiência de escala seja igual a um, a firma estará operando com retornos constantes de escala. Caso o valor encontrado seja menor que um, existem duas possibilidades: A empresa estar operando com retornos crescentes ou decrescentes de escala. Para identificar a natureza, é necessário analisar ainda a suposição de retornos não crescentes (RNC) e não decrescentes (RND), conforme descrito na formulação metodológica. Se os escores encontrados no modelo RNC for igual ao do modelo com retornos variáveis, a empresa opera com retornos decrescentes. Por outro lado, caso sejam distintos, a empresa opera com retornos crescentes. Para maiores detalhes, ver Ferreira e Gomes (2009).

A partir dos resultados, é possível realizar a decomposição da eficiência em eficiência técnica pura e eficiência de escala. A eficiência de escala é obtida pela divisão entre os escores obtidos pelo modelo CRS pelos obtidos no modelo VRS. As empresas eficientes são aquelas que alcançam resultados compatíveis aos recursos/insumos empregados. Ao passo que as empresas ineficientes estão utilizando excesso de insumos, ou, por outra ótica, estão obtendo resultados aquém do esperado face aos recursos empregados.

A tabela apresenta os resultados para o exercício de 2020. O quadro com os escores do ano de 2007 é apresentado ao final desta seção, para facilitar a visualização. Os escores de eficiência obtidos mostram que a eficiência de escala é maior que a eficiência técnica encontrada. Dito de outra forma, a ineficiência de escala observada é menor que a ineficiência técnica, para os dois períodos analisados.

A eficiência média para o setor em 2020 foi de 81,57%, no modelo VRS. A eficiência de escala (média) foi de 97,64%, o que resulta em 79,67% de eficiência no modelo CRS.

É possível observar que as Companhias CAESA, CAER e SABESP obtiveram a liderança da eficiência para todos os dois períodos analisados pelo modelo VRS, com escore 1. Outras empresas obtiverem escore de eficiência um em um dos dois períodos. Por outro lado, as empresas CAERD e AGESPISA figuram entre os menores escores encontrados considerando os dois períodos analisados.

No que se refere à eficiência de escala, partimos da escala ótima, que seria a operação com CRS. Abaixo ou acima desta escala ótima, a empresa deveria variar a produção. Se opera em retornos crescentes, a empresa deveria aumentar sua produção, e numa escala decrescente, deveria reduzir a produção ou adotar tecnologia mais avançada.

Tabela 8 – Estatísticas Descritivas – Escores de Eficiência – CRS e VRS – Ano 2020

Sigla	Nº	UF	RND	RNC	CRS	VRS	Escala	Rendimento
CAERD	1	RO	0.589155767	0.536038092	0.536038092	0.589155767	0.909841034	Crescente
CORSAN	2	RS	0.575021891	0.574695461	0.574695461	0.575021891	0.999432318	Crescente
AGESPISA	3	PI	0.603233410	0.581802083	0.581802083	0.603233410	0.964472580	Crescente
DESO	4	SE	0.623803745	0.611145993	0.611145993	0.623803745	0.979708759	Crescente
CAGEPA	5	PB	0.626723643	0.619191468	0.619191468	0.626723643	0.987981665	Crescente
SANESUL	6	MS	0.647905873	0.63250645	0.63250645	0.647905873	0.976232006	Crescente
SANEAGO	7	GO	0.699270409	0.697855039	0.697855039	0.699270409	0.997975934	Crescente
CAESB	8	DF	0.717627766	0.750507257	0.717627766	0.750507257	0.956190310	Decrescente
COSANPA	9	PA	0.757865418	0.737744253	0.737744253	0.757865418	0.973450213	Crescente
CAERN	10	RN	0.798934684	0.783497985	0.783497985	0.798934684	0.980678397	Crescente
CASAN	11	SC	0.794460431	0.785099250	0.785099250	0.794460431	0.988216932	Crescente
EMBASA	12	BA	0.808691684	0.808142660	0.808142660	0.808691684	0.999321097	Crescente
SANEATINS	13	TO	0.883235086	0.828001324	0.828001324	0.883235086	0.937464257	Crescente
CAGECE	14	CE	0.843865525	0.830001561	0.830001561	0.843865525	0.983570885	Crescente
COMPESA	15	PE	0.844998662	0.841404432	0.841404432	0.844998662	0.995746467	Crescente
CAEMA	16	MA	0.872279984	0.851475738	0.851475738	0.872279984	0.976149578	Crescente
CAESA	17	AP	1.000000000	0.859885123	0.859885123	1.000000000	0.859885123	Crescente
SANEPAR	18	PR	0.919411606	0.917772412	0.917772412	0.919411606	0.998217126	Crescente
CESAN	19	ES	0.948856332	0.943326717	0.943326717	0.948856332	0.994172337	Crescente
CASAL	20	AL	0.98860438	0.964686404	0.964686404	0.98860438	0.975806322	Crescente
COPASA	21	MG	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
CEDAE	22	RJ	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
CAER	23	RR	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
SABESP	24	SP	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
Média			0.814331096	0.798115821	0.796745842	0.815701075	0.976438056	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

As razões para esperar retornos decrescentes de escala incluem a possibilidade de uma empresa poder executar seus processos em velocidade reduzida, reduzir a utilização de sua capacidade ou reduzir a quantidade de tempo que o processo demanda. Já os retornos crescentes de escala significam que os outputs tendem a crescer mais rapidamente do que os insumos. Dentre as justificativas, pode-se citar que uma escala maior implica mais experiência, processos mais eficientes e uma melhor capacidade de utilizar as possibilidades de especialização. A tabela abaixo sistematiza os resultados encontrados em relação à eficiência de escala para os prestadores.

Tabela 9 – Resultados – Eficiência de Escala - CRS e VRS – Ano 2007 e 2020

Tipo de Retorno	Condição da Empresa/Companhia	
	Eficientes	Ineficientes
Constante	Situação desejável. Empresas utilizam os recursos sem desperdício e em escala adequada. Recomenda-se que caso sejam aumentados os produtos, este aumento deve ocorrer de forma proporcional aos insumos. N° das DMUs : 2007: 12, 14, 16, 18, 24. 2020: 21,22,23,24.	Situação em que embora a empresa opere em escala ótima existe ineficiência técnica. N° das DMUs: 2007: Não há. 2020: Não há.
Crescente	Apesar de obtida a eficiência técnica, o volume de produção está abaixo da escala ótima, de forma que seria desejável aumentar os produtos, o que ocorre a custos decrescentes. N° das DMUs: 2007: 17 e 23. 2020: 17.	Empresas para as quais foram constatadas ineficiência técnica e ineficiência de escala. Recomenda-se que sejam aumentados os produtos, porém que esse aumento ocorre em uma menor relação entre insumos utilizados e volume dos serviços ofertados. N° das DMUs : 2007: 1; 3 a 8; 10 e 11; 13; 15; 19 a 21. 2020: 1 a 7; 9 a 16; 18 a 20.
Decrescente	Empresas tecnicamente eficientes, porém, que operam acima da escala ótima. N° das DMUs: 2007: não há. 2020: não há.	Empresas que operam em escala acima da ótima e apresentaram ineficiência técnica. Recomenda-se que sejam ofertados mais serviços com a utilização de nó máximo a mesma quantidade de insumos. Sugere-se ainda a redução da ineficiência de escala. N° das DMUs : 2007: 2, 9 e 22. 2020: 8.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Ferreira e Gomes (2009)

Ao final desta seção são apresentados mapas de ineficiência conforme os escores obtidos. Ressaltamos que os prestadores não operam em todos os municípios do estado, porém foram representados com a área total do território do estado a título ilustrativo, para facilitar a visualização.

4.2 Eficiência dinâmica

A análise efetuada até aqui foi realizada sempre pensando na eficiência para um período de tempo específico. Dessa forma, foi realizada a construção de uma única fronteira de eficiência, para a qual não se admite mudanças na tecnologia. Nesta seção analisa-se a dinâmica da eficiência ao longo do tempo. Para isso, será utilizado o Índice de Malmquist. Este índice não requer informação sobre os preços, sendo dessa forma muito utilizado na análise envoltória de dados.

Nesta análise, a variação intertemporal da eficiência pode ser decomposta na variação da eficiência técnica, denominada emparelhamento (catch-up effect), e na mudança tecnológica (frontier-shift effect) decorrente da introdução de tecnologias mais avançadas e inovação, por exemplo. A multiplicação de cada um desses efeitos resulta no Índice de Malmquist. Se o índice é menor do que um, a produtividade priorizou ao longo do tempo; se igual a um, não houve alteração da produtividade, e se maior que um é porque houveram ganhos de produtividade entre os períodos analisados.

A tabela a seguir mostra os resultados encontrados para o DEA-Malmquist output orientado, conforme justificativa de que os autores entendem que o foco deve ser em aumento da cobertura/atendimento dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, em vistas à universalização, principal objetivo do novo marco do saneamento, Lei nº 14.026/2020. Além disso, ajuste via despesas é limitado no contexto do setor público, tendo em vista a participação de despesas obrigatórias e legislações restritivas.

Os valores obtidos para o Índice de Malmquist mostram que houve melhoria média de 97,50% na eficiência do setor entre os anos de 2007 e 2020. Esta eficiência pode ser decomposta em 92,69% de mudança tecnológica e emparelhamento e 3,02% de emparelhamento (efeito catch-up). Estas melhorias podem indicar efeitos positivos do marco do saneamento anterior, Lei nº 11.445/2007, que trouxe aspectos importante da regulação, ferramenta que fornece incentivo aos ganhos de produtividade. Esta hipótese deve ser melhor aprofundada por outros estudos.

As empresas que lideram a melhoria de eficiência são a SANESUL e CAEMA, atuantes nos estados do MS e MA, respectivamente. As empresas CAER e CAESA, embora tiverem ganhos de produtividade em relação à eficiência técnica, não tiveram um processo de regressão tecnológica.

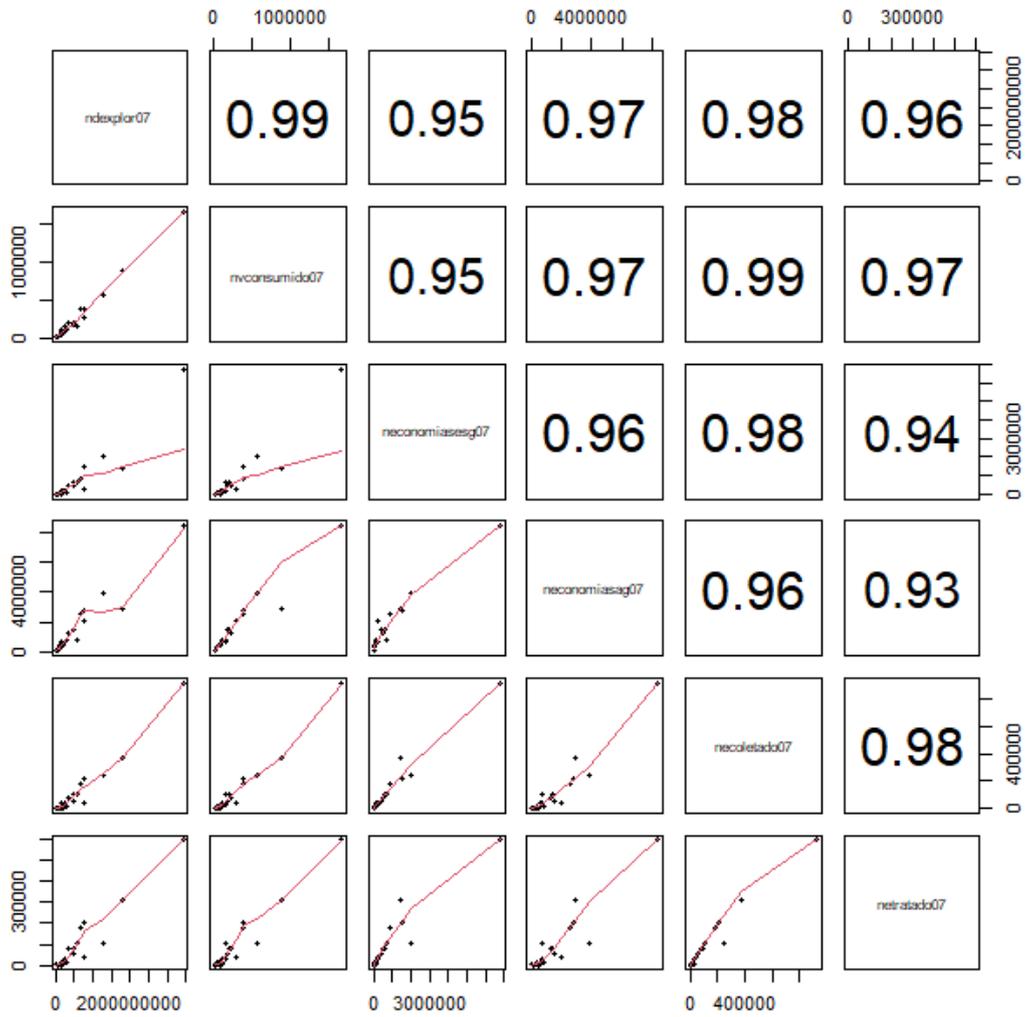
Tabela 10 – Resultados – Índice de Malmquist – 2007/2020

Prestador	UF	Índice de Malmquist	Deslocamento da Fronteira	Emparelhamento (Catch Up)
CAESA	AP	0	0	1
CAER	RR	0	0	1
SABESP	SP	0.989814374	0.989814374	1
CASAL	AL	1.453563371	2.459917034	0.590899348
COPASA	MG	1.481706401	1.502974364	0.985849418
CAESB	DF	1.612431943	1.661842701	0.970267488
CEDAE	RJ	1.706747658	1.741851901	0.979846597
COMPESA	PE	1.779841347	1.758396199	1.012195857
SANEPAR	PR	1.838955444	1.690756979	1.087652139
CASAN	SC	1.868226088	2.136919458	0.874261349
CAERD	RO	2.020632148	2.949254097	0.685133285
SANEAGO	GO	2.034330858	1.81140181	1.123069905
CORSAN	RS	2.110887724	1.664898354	1.267877837
EMBASA	BA	2.20158714	1.78040521	1.236565208
CAERN	RN	2.295871554	2.345427158	0.978871395
CESAN	ES	2.316064697	2.287631533	1.012429084
CAGECE	CE	2.384769923	2.012425123	1.185022934
DESO	SE	2.388419065	2.350781285	1.016010754
CAGEPA	PB	2.436150913	2.162498097	1.126544766
AGESPISA	PI	2.466712694	2.325905715	1.060538558
COSANPA	PA	2.514460143	2.594454314	0.969167246
SANEATINS	TO	2.83417817	2.757933041	1.027645751
CAEMA	MA	3.027516603	2.640842134	1.146420895
SANESUL	MS	3.639389548	2.620765087	1.388674462
Média		1.975094075	1.926962332	1.030206011

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

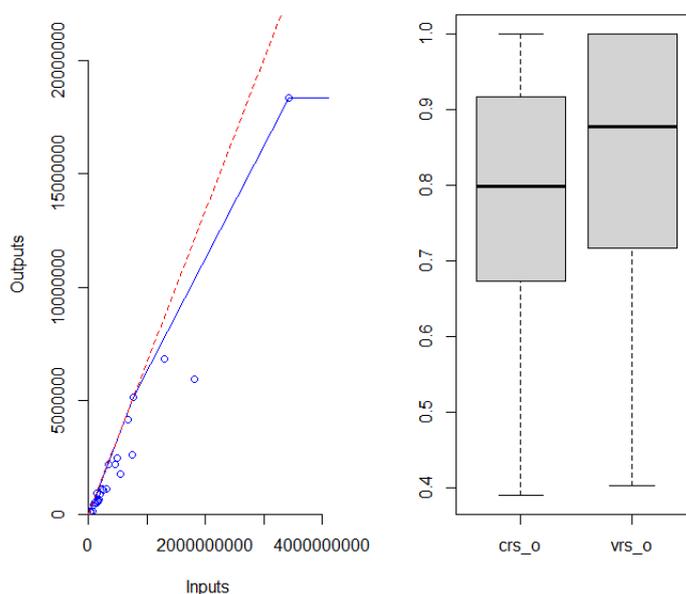
A seguir são apresentados os resultados para o exercício de 2007.

Figura 5 – Matriz de Correlação – Inputs e Outputs – 2007



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

Figura 6 – Fronteira de Eficiência e Boxplot – Modelos CRS e VRS - Ano 2007



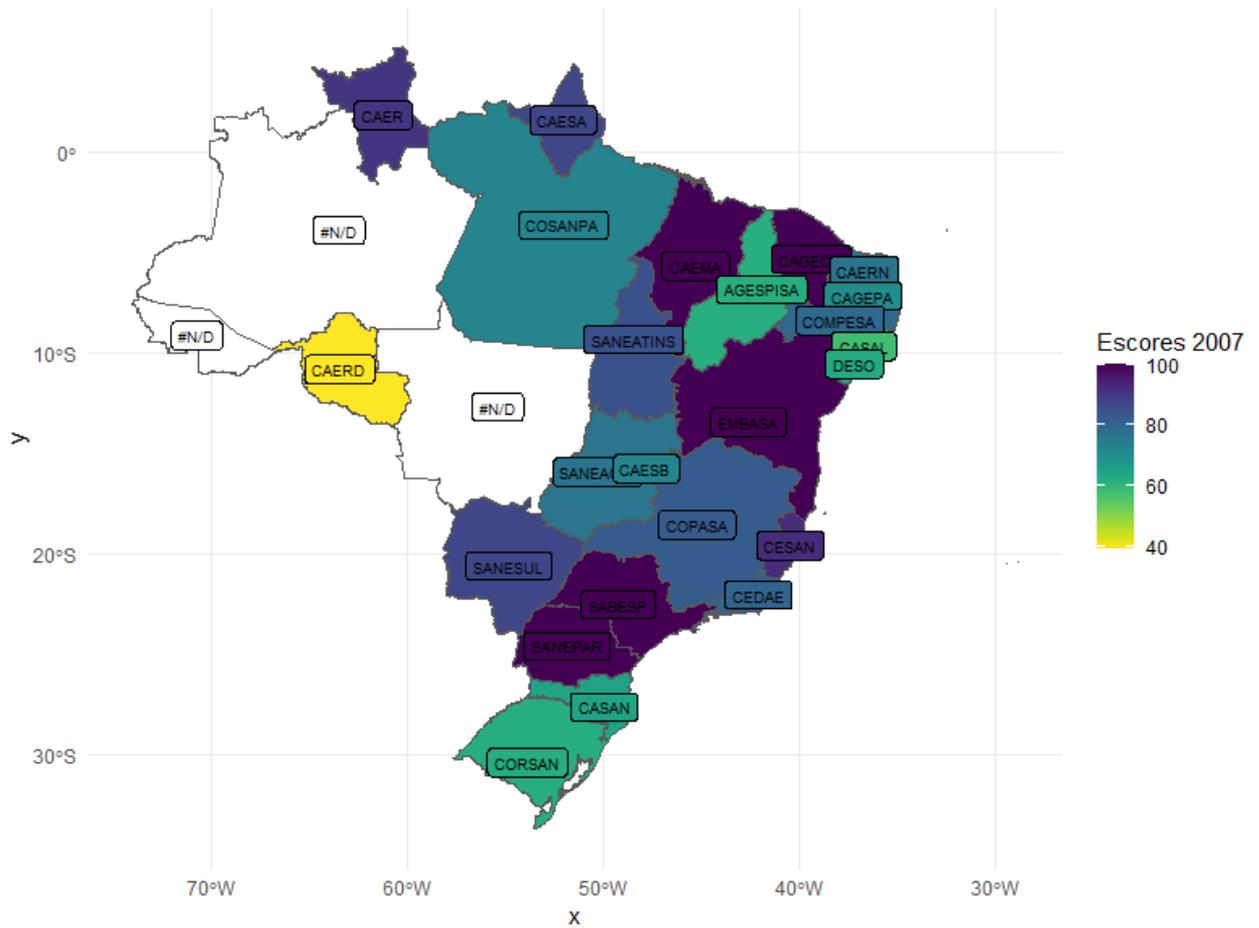
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

Tabela 11 – Estatísticas Descritivas – Escores de Eficiência – CRS e VRS – Ano 2007

Sigla	UF	RND	RNC	CRS	VRS	Escala	Rendimentos
CAERD	RO	0.403650226	0.390209249	0.390209249	0.403650226	0.966701425	Crescente
CASAL	AL	0.584165683	0.575926755	0.575926755	0.584165683	0.985896247	Crescente
AGESPISA	PI	0.614807904	0.639752291	0.614807904	0.639752291	0.961009304	Crescente
CORSAN	RS	0.621634579	0.729057511	0.621634579	0.729057511	0.852655064	Decrescente
DESO	SE	0.633791314	0.628352141	0.628352141	0.633791314	0.991418039	Crescente
CASAN	SC	0.642490011	0.694566048	0.642490011	0.694566048	0.925023635	Crescente
CAGEPA	PB	0.703754061	0.706032239	0.703754061	0.706032239	0.996773265	Crescente
CAESB	DF	0.728192791	0.722590485	0.722590485	0.728192791	0.992306562	Crescente
COSANPA	PA	0.725903655	0.734498340	0.725903655	0.734498340	0.988298564	Decrescente
SANEAGO	GO	0.764270698	0.785329552	0.764270698	0.785329552	0.973184692	Crescente
CAERN	RN	0.766126355	0.782054309	0.766126355	0.782054309	0.979633187	Crescente
COMPESA	PE	0.793819830	0.855304144	0.793819830	0.855304144	0.928114093	Crescente
CEDAE	RJ	0.803033821	0.979846597	0.803033821	0.979846597	0.819550553	Decrescente
COPASA	MG	0.825927802	0.985849418	0.825927802	0.985849418	0.837782919	Crescente
SANEATINS	TO	0.907652783	0.848867818	0.848867818	0.907652783	0.935234083	Crescente
SANESUL	MS	0.899730340	0.870259544	0.870259544	0.899730340	0.967244857	Crescente
CAESA	AP	1.000000000	0.871137626	0.871137626	1.000000000	0.871137626	Crescente
CAER	RR	1.000000000	0.907511148	0.907511148	1.000000000	0.907511148	Crescente
CESAN	ES	0.925827424	0.960649747	0.925827424	0.960649747	0.963751280	Crescente
EMBASA	BA	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
CAGECE	CE	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
CAEMA	MA	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
SANEPAR	PR	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
SABESP	SP	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	1.000000000	Constante
Média		0.806032470	0.819491457	0.791768788	0.833755139	0.951801106	

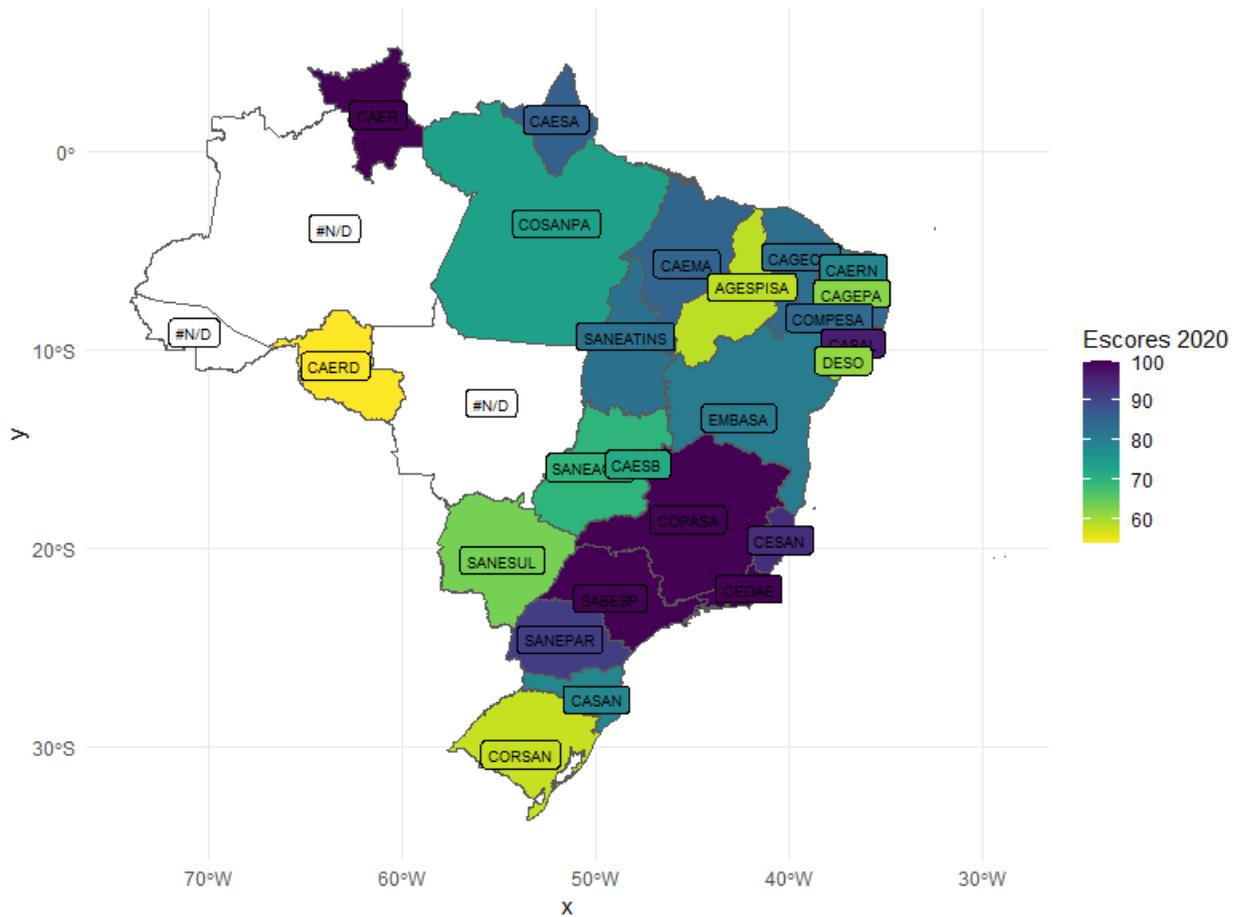
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

Figura 7 – Mapa: Escores de Eficiência Saneamento – Ano 2007



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

Figura 8 – Mapa: Escores de Eficiência Saneamento – Ano 2020



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software *Rstudio*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou a eficiência no setor de saneamento no Brasil, especificamente na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário pelas entidades de abrangência regional, tendo como contexto a busca pela universalização preconizada pelas Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020. A amostra contou com 24 empresas analisadas.

Para tal, foi aplicado a metodologia DEA (Análise Envolvória de Dados), nas variações DEA-CRS e DEA-VRS, que possibilita a obtenção de uma fronteira não-paramétrica de eficiência com base na programação matemática. Inicialmente, a análise pretendia utilizar o apenas o modelo VRS, por ser menos restritivo. Optou-se também pela estimação DEA-CRS para garantir maior robustez à análise e uma discussão mais rica dos resultados encontrados, especialmente para a análises dos rendimentos de escala. Neste método, foi adotada a orientação por outputs, conforme justificada, principalmente pelo objetivo de se atingir a universalização dos serviços e pela rigidez das despesas.

O novo marco do saneamento define metas claras para se alcançar a universalização, em indicadores, dentre outros, de cobertura/atendimento dos serviços de água e esgoto. Porém, o Brasil convive com elevado déficit

no Setor. Dessa forma, entende-se que é desejável o foco dos prestadores no alcance da universalização em detrimento da simples redução de despesas, de forma a ser mais importante maximizar os serviços entregues a partir da utilização do mesmo nível de insumos do que almejar a redução de despesas mantendo-se o nível atual de serviços.

A fronteira de eficiência construída e um ranking entre os prestadores permitiu encontrar a eficiência técnica e a eficiência de escala, para os anos de 2007 e 2020. Seguindo a orientação por outputs, é possível indicar a melhoria necessária em termos da geração de resultados alcançados pelos prestadores na busca de maior eficiência.

Foram realizadas análises com a aplicação do DEA-Malmquist para avaliação da eficiência entre os períodos, de forma a estudar efeitos da implantação da Lei nº 11.445/2007, que trouxe mudanças relevantes para o setor. Este método permite a decomposição da evolução da eficiência no efeito expansão da fronteira e no efeito emparelhamento (catch up).

O trabalho também apresenta um panorama do setor de saneamento, com histórico, dados e evolução de seu arcabouço regulatório. Nota-se elevada amplitude devido à heterogeneidade entre os prestadores no país.

A modelagem econométrica utilizou dados do SNIS e tem o objetivo de contribuir para a literatura de eficiência no setor bem como de ressaltar esta metodologia como ferramenta para as entidades reguladoras na avaliação e indução de ganhos de produtividade.

Observou-se ineficiência considerável no setor como um todo, refletindo os baixos escores apresentados por alguns operadores. Os números mostram elevada diferença na eficiência entre os prestadores, o que denota a heterogeneidade e grande diferença da realidade de gestão, governança e fatores socioeconômicos vivenciados pelos prestadores.

A ineficiência técnica encontrada é maior que a ineficiência de escala. As razões para esperar retornos decrescentes de escala incluem a possibilidade de uma empresa poder executar seus processos em velocidade reduzida, reduzir a utilização de sua capacidade ou reduzir a quantidade de tempo que o processo demanda. Já os retornos crescentes de escala significam que os outputs tendem a crescer mais rapidamente do que os insumos. Dentre as justificativas, pode-se citar que uma escala maior implica mais experiência, processos mais eficientes e uma melhor capacidade de utilizar as possibilidades de especialização.

Além disso, houve evolução da eficiência entre os períodos para grande parcela dos prestadores. Os valores obtidos para o Índice de Malmquist mostram que houve melhoria média de 97,50% na eficiência do setor entre os anos de 2007 e 2020. Desta forma, a resposta à pergunta estabelecida neste estudo é afirmativa.

Esta melhoria de eficiência pode ser decomposta em 92,69% de mudança tecnológica e emparelhamento e 3,02% de emparelhamento (efeito catch-up). Assim, esta evolução foi dominada em maior parte pela expansão da fronteira, com baixo efeito catch up.

Por fim, ressalta-se as limitações do presente trabalho. O estudo buscou seguir referências relevantes ao setor bem como justificar cada escolha realizada, como as variáveis utilizadas, o escopo temporal e aspectos metodológicos. Entretanto, vale mencionar que o objetivo principal deste estudo é responder à pergunta estabelecida, de forma que se constatou que houve melhoria na eficiência do setor. Dessa forma, os resultados encontrados referentes à comparação das unidades avaliadas e o ranking construído devem ser interpretados com muita cautela, de forma que seria preciso aprofundar a análise em especificidades de cada prestador.

Ainda, outras análises podem ser adicionadas, como a análise dos determinantes da eficiência encontrada através da construção do DEA em dois estágios, dentre outras possibilidades, que podem ser abordadas em outros trabalhos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO. Regulação saneamento básico 2020. Brasília: ABAR, 2020.
2. ABCON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSÕES PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E SANEAMENTO; SINDICON – SINDICATO NACIONAL DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO. Panorama da participação privada no saneamento 2019. [s.l.]: Abcon/Sindicon, 2019. 90p.

3. ABDIB, Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base (2018). As Particularidades Do Investimento Em Infraestrutura. Textos para discussão - nº 1 - ano 1.
4. AIDA, K.; COOPER W. W.; PASTOR, J. T.; SUEYOSHI, T. Evaluating Water Supply Services in Japan with RAM: a Range-adjusted Measure of Inefficiency. *Omega, International Journal of Management Science*. V. 26, n. 2, pp. 207-232, 1998.
5. ATLAS DE SANEAMENTO: abastecimento de água e esgotamento sanitário / IBGE, Coordenação de Geografia e Coordenação de Recursos Naturais e Meio Ambiente. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
6. BANERJEE, A. V.; DUFLO, E. A economia dos pobres. 1.ed. Lisboa: Editora Temas & Debates, 2011.
7. BLEAKLEY, H. Disease and development: evidence from hookworm eradication in the American South. *The Quarterly Journal of Economics*, v.122, n. 1, p. 73-117, 2007
8. BOGETOFT, Peter; OTTO, Lars. *Benchmarking with dea, sfa, and r*. Springer Science & Business Media, 2010.
9. CAMACHO, Fernando Tavares et RODRIGUES, Bruno da Costa Lucas. Regulação econômica de infraestruturas: como escolher o modelo mais adequado?. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1921>, 2014.
10. CARMO, C. M.; TÁVORA JÚNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: Encontro Nacional de Economia, 31., Porto Seguro, 2003. Anais... Belo Horizonte: Anpec, 2003.
11. CASTRO, Carlos Eduardo Tavares de; Lustosa, Leonardo Junqueira. Avaliação da Eficiência Gerencial de Empresas de Água e Esgoto Brasileiras por meio da Envolvória de Dados (DEA). Rio de Janeiro, 2003. 108p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
12. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. SANEAMENTO BÁSICO : A relevância do setor para o crescimento econômico e a melhoria do bem-estar / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2021. 76 p. : il. 1.Saneamento Básico. 2. Crescimento Econômico. I. Título.
13. CONFORTO G. A regulação e a titularidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil. *Rev Adm Publica*. 2000;34(5):165–80.
14. CORTON, Maria Luisa. Benchmarking in the Latin American water sector: the case of Peru. *Utilities Policy*, v. 11, n. 3, p. 133-142, 2003.
15. CRUZ, Felipe Ponciano da, MOTTA, Ronaldo Seroa da, et MARINHO, Alexandre. Análise da eficiência técnica e da produtividade dos serviços de água e esgotos no Brasil de 2006 a 2013. 2019.
16. CUNHA, A. Saneamento Básico no Brasil: Desenho Institucional e Desafios Federativos. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2011.
17. DUFLO, E. et al. Toilets Can Work: Short and medium run health impacts of addressing complementarities and externalities in water and sanitation. NBER Working Paper, Nº 21521, 2015.
18. DUTRA, Joísa et al. Reformulação do marco legal do saneamento no Brasil. FGV CERI, Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura, maio de, 2019.
19. ESTACHE, A., KOUASSI, E., 2002. Sector organization, governance, and the inefficiency of African water utilities. World Bank Policy Research Working Paper No. 2890.
20. ESTACHE, A., Rossi, M., 1999. Comparing the performance of public and private water companies in Asia and Pacific region: what a stochastic costs frontier shows. World Bank Policy Research Working Paper No. 2152.
21. ESTACHE, A., ROSSI, M., 2002. How different is the efficiency of public and private water companies in Asia? *The World Bank Economic Review* 16 (1), 139e148.
22. FERREIRA, CARLOS MAURICIO DE CARVALHO FERREIRA. Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações. UFV, 2009.
23. FUNASA, 2019. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il.
24. GALIANI, S.; GERTLER, P. e SCHARGRODSKY, E. Water for Life: the Impact of the Privatization of Water Services on Child Mortality, *Journal of Political Economy*, v. 113, n.1, 2005.
25. GALVÃO JUNIOR AC. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Rev Panam Salud Publica*. 2009;25(6):548–56.
26. GAMPER-RABINDRAN, S. et al. The impact of piped water provision on infant mortality in Brazil: a quantile panel data approach. *Journal of Development Economics*, v. 92, n. 2, p. 188-200, 2010.
27. 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 Getúlio Vargas, São Paulo, 2007, 64 p.
28. IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico - PNSB 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2020.

29. JALAN, J.; RAVALLION, M. Does piped water reduce diarrhea for children in rural India. *Journal of Econometrics*, v. 112, p. 153-173, 2003
30. MCID e IICA, 2018b. Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Sumário Executivo – Notas Técnicas para discussão dos desafios do setor água. Contribuições para água e esgoto urbano. Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Acordo de Empréstimo No. 8074- BR – Banco Mundial (Interáguas).
31. MEDEIROS, Victor et RODRIGUES, Cristiana Tristão. Políticas Públicas Municipais, Universalização E Eficiência No Setor De Saneamento Básico:: Uma Análise Para Os Municípios Mineiros. Planejamento e Políticas Públicas, 2019, no 53.
32. MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S. Saúde e saneamento no Brasil. Rio de Janeiro: Ipea, 2005 (Texto para Discussão, n. 1.081)
33. MOTTA, R. S.; MOREIRA, A. R. B. “Eficiência e regulação no setor saneamento no Brasil”. Textos para Discussão do IPEA, n.1059, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, dez, 2005.
34. NAÇÕES UNIDAS. Assembleia Geral. Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil - UNIC Rio, 2015. 49 p. Adota - da pela Resolução 70/1 da Assembleia Geral das Nações Unidas, Nova Iorque, em 25 de setembro de 2015. Dispo - nível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: ago. 2021.
35. NOZAKI, Victor Toyoji de. Análise do setor de saneamento básico do Brasil. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.
36. PENA DS, Abicalil MT. Saneamento: os desafios do setor e a política de saneamento. Em: IPEA. Infra-estrutura: perspectivas de reorganização, saneamento. Brasília: IPEA; 1999. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/pub/infra estrutura/saneamento/san_parte4.pdf](http://www.ipea.gov.br/pub/infra%20estrutura/saneamento/san_parte4.pdf). Acessado em 6 de maio de 2006.
37. PIMENTEL, Letícia Barbosa, MITERHOF, Marcelo Trindade, et al. O financiamento dos serviços de água e esgoto: análise do passado recente (2016-2019) e desafios da diversificação de fontes para chegar à universalização. 2021.
38. PINDYCK, Robert S. Microeconomia / Robert S. Pindyck, Daniel L. Rubinfeld; tradução Daniel Vieira, revisão técnica Edgard Merlo, Julio Pires. – 8. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
39. PINHEIRO, F. A. P.; SAVOIA, J. R. F.; ANGELO, C. F. DE. A comparative analysis of the public and private water supply and sanitation service providers’ work in Brazil. *Brazilian Business Review*, v. 55, n. 11, p. 115–136, 2016.
40. PRADO, M. S. et al. Prevalência e intensidade da infecção por parasitas intestinais em crianças na idade escolar na cidade de Salvador (Bahia, Brasil). *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 34, n. 1, p. 99-101, jan-fev 2001
41. REIS, C. A. S.; CARNEIRO, R. O Direito Humano à Água e a Regulação do Saneamento Básico no Brasil: Tarifa Social e Acessibilidade Econômica. *Desenvolvimento em Questão*, v. 19, n. 54, p. 123– 142, 2021.
42. SABBIONI, G. (2008), “Efficiency in the Brazilian sanitation sector”, *Utilities Policy*, 16(1), 11-20.
43. SANTOS, Gesmar Rosa dos; KUWAJIMA, Julio Issao; SANTANA, Adrielli Santos de. Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas. Rio de Janeiro: Ipea, 2020. (Texto para discussão, n. 2587). Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=36559&Itemid=448 . Acesso em: 6 jan. 2021.
44. SCRIPTORE, Juliana Souza, CARLOS ROBERTO AZZONI FILHO, Naércio Aquino Menezes, et al. Saneamento básico e indicadores educacionais no Brasil. University of São Paulo (FEA-USP), 2015.
45. SCRIPTORE, J. S. Impactos do saneamento sobre saúde e educação: uma análise espacial. 2016. 194 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2016.
46. SEROA DA MOTTA, R., MOREIRA, A., 2006. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. *Utilities Policy* 14, 185e195.
47. SMIDERLE (2020). Uma conversa sobre a universalização da regulação do saneamento. Publicação IBRE/FGV. 28/08/2020. Link: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/uma-conversa-sobre-universalizacao-da-regulacao-do-saneamento>.
48. SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO, 2018. Base de Dados SNIS Séries Históricas.
49. THANASSOULIS, E., 1993. A comparison of regression analysis and data envelopment analysis as alternative methods for performance assessments. *Journal of the Operational Research Society* 44, 1129–1144.

50. THANASSOULIS, E. A Data Envelopment Analysis Approach to Clustering Operating Units for Resource Allocation Purposes. *Omega International Journal of Management Science*. V. 24 (4), pp. 463-476, 1996.
51. TUPPER, H. C., & Resende, M. (2004). Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: An empirical study. *Utilities Policy*, 12, 29–40.
52. TUROLLA, F. A. Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. Brasília: Ipea, 2002. 29 p. (Texto para Discussão, n. 0922).
53. TUROLLA, Frederico Araujo. Saneamento básico: experiência internacional e avaliação de propostas para o Brasil / Frederico Araujo Turrolla, Thelma Harumi Ohira – Brasília: CNI, 2006. 63 p.: il.
54. UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
55. UNITED NATIONS (2002). The right to water (arts. 11 and 12 of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights): Economic and Social Council. Geneva: United Nations.
56. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. UN-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2014 report: investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities. Geneva: World Health Organization, 2014.
57. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Inheriting a sustainable world? Atlas on children’s health and the environment. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
58. WORLD BANK 2017a. Back to planning: How to Close Brazil’s Infrastructure Gap in Times of Austerity. Washington, DC :World Bank.
59. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/28286?show=full>
60. WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND. Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene - JPM. Geneva: WHO; New York: Unicef, [2021]. Disponível em: <https://washdata.org/>. Acesso em: ago. 2021.