

EFICIÊNCIA DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NAS CAPITAIS NORDESTINAS NO PERÍODO DE 2010 A 2021

EFFICIENCY OF THE PROVISION OF BASIC SANITATION SERVICES IN THE CAPITAL CITIES OF THE BRAZILIAN NORTHEAST REGION FROM 2010 TO 2021

Manoel Alexandre de Lucena¹; Maria Avyla Batista da Silva²; Eliane Pinheiro de Sousa³

**1 Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); 2,3 Universidade Regional do
Cariri (URCA)**

Resumo

A eficiência das prestadoras de serviço de saneamento básico está relacionada à capacidade de utilizar de forma racional os recursos disponíveis (financeiros, humanos e operacionais) na geração de resultados. O acesso e a qualidade de tais serviços apresentam fortes disparidades regionais no Brasil, sendo que o Nordeste possui os piores índices de cobertura de esgoto e tratamento de resíduos. Assim, compreender o desempenho dessas prestadoras de serviço nas capitais nordestinas é estratégico para formulação de ações corretivas e redistributivas. Diante disso, o estudo avalia a eficiência operacional das prestadoras de serviços de saneamento básico nas capitais nordestinas de 2010 a 2021. Para tal, empregaram-se os métodos de Análise Envoltória de Dados com retornos constantes de escala (CRS) e com retornos variáveis de escala (VRS) e Análise de Janela. Utilizaram-se dados de despesas e receita operacional total. Os resultados indicaram que as capitais nordestinas apresentam escores de eficiência VRS superiores aos CRS em todas as janelas analisadas. Verificaram-se que Salvador, Fortaleza e Recife registraram os maiores níveis médios de eficiência, enquanto São Luís e Teresina tiveram os piores resultados. Portanto, conclui-se que a maioria das capitais nordestinas convive com desafios ligados à escala de operação e à estabilidade dos serviços prestados.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados; Análise de janela; Água; Esgoto;

Abstract

The efficiency of basic sanitation service providers is related to their ability to rationally utilize available resources (financial, human, and operational) to generate results. Access to and quality of these services present significant regional disparities in Brazil, with the Northeast region having the worst sewage coverage and waste treatment rates. Therefore, understanding the performance of these service providers in the Northeastern capital cities is strategic for formulating corrective and redistributive actions. Therefore, this study assesses the operational efficiency of basic sanitation service providers in the Northeastern capital cities from 2010 to 2021. To this end, the methods of Data Envelopment Analysis (DEA) with constant returns to scale (CRS) and with variable returns to scale (VRS) and Window Analysis were employed. Expense and total operating revenue data were used. The results indicated that the Northeastern capital cities exhibited VRS efficiency scores higher than the CRS scores in all windows under analysis. Salvador, Fortaleza, and Recife recorded the highest average efficiency levels, whereas São Luís and Teresina had the worst results. Therefore, it can be concluded that most Northeastern capital cities face challenges related to the scale of operations and the stability of services provided.

Keywords: Data Envelopment Analysis; Window Analysis; Water; Sewage.

Área 7: Questões urbanas e metrópoles

Classificação JEL: C14; H21.

1 INTRODUÇÃO

O consumo excessivo e desordenado, aliado ao crescimento populacional e à rápida urbanização, tem gerado intensas pressões sobre o meio ambiente, sobretudo, em razão do aumento da geração de resíduos sólidos. Essa realidade impõe desafios significativos à gestão pública, uma vez que exige estratégias eficazes de coleta, tratamento, reciclagem e destinação final. Como exposto por Silva (2024), os impactos são visíveis: a poluição de rios e solos e a má gestão dos resíduos sólidos contribuem não apenas para a degradação ambiental, mas também para a disseminação de doenças e o agravamento das desigualdades sociais, sobretudo, em regiões onde o acesso aos serviços de saneamento é precário.

Nesse cenário, crescem as discussões sobre o acesso, a universalização e o gerenciamento dos recursos voltados ao saneamento básico no Brasil. De acordo com Medeiros e Rodrigues (2019), no âmbito municipal, a formulação de um plano de saneamento exige diretrizes claras de planejamento, incluindo modelos de gestão, tecnologias apropriadas, metas, estimativas de custo e projetos estruturados, conforme estabelece a Lei Federal do Saneamento Básico. Tais elementos são fundamentais para garantir o impacto positivo das políticas públicas no avanço da universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Além do planejamento, o desempenho das prestadoras de serviço é também influenciado pela inserção em grupos de referência e por práticas regulatórias. Conforme Macedo e Sampaio (2021), quanto maior a participação das companhias de saneamento em *benchmarking* com grupos de alto desempenho, maiores são as chances de melhoria gerencial. Do ponto de vista regulatório, a identificação de ineficiências pode permitir o uso de modelos de custo baseados nas melhores práticas, reduzindo o desperdício e ampliando a eficiência operacional.

Nesse sentido, Oliveira (2022) ressalta a importância das agências reguladoras, cujas atribuições, como o monitoramento de tarifas, fiscalização de contratos, exigência de investimentos e garantia de qualidade, são essenciais para assegurar serviços eficientes e universais. A literatura evidencia que o saneamento básico constitui um dos pilares do desenvolvimento humano, afetando diretamente indicadores como saúde pública, escolaridade e produtividade econômica (Leão; Sousa, 2023). A ausência ou precariedade desses serviços compromete a qualidade de vida da população, sobretudo, nas áreas urbanas mais vulneráveis, onde os desafios de infraestrutura são mais críticos.

Estudos recentes também evidenciam fortes disparidades regionais no Brasil em relação ao acesso e à qualidade dos serviços de saneamento (Vitor *et al.*, 2021). O Nordeste, em particular, apresenta os piores índices de cobertura de esgoto e tratamento de resíduos, o que ressalta a urgência de políticas públicas mais eficazes e da avaliação contínua da gestão local (SNIS, 2023). Assim, compreender o desempenho das prestadoras de serviço de saneamento básico nas capitais nordestinas são estratégias para a formulação de ações corretivas e redistributivas.

Ademais, ainda que a ampliação do acesso aos serviços de saneamento básico seja um imperativo social e legal, é igualmente necessário considerar a eficiência com que tais serviços são prestados (Medeiros; Rodrigues, 2019). Enquanto o acesso diz respeito à cobertura populacional e à universalização dos serviços (Martins; Rodrigues, 2022), a eficiência está relacionada à capacidade das prestadoras em utilizar de forma racional os recursos disponíveis (financeiros, humanos e operacionais) para gerar resultados (Siqueira *et al.*, 2018). Nesse sentido, um serviço pode alcançar alta cobertura, mas apresentar baixa eficiência na alocação de despesas, desperdício de insumos ou baixa arrecadação, comprometendo sua

sustentabilidade a longo prazo. Outro fator relevante é a promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que estabelece metas ambiciosas de universalização até 2033. De acordo com Ferreira, Gomes e Dantas (2021), a nova legislação reforça a importância da eficiência operacional e da sustentabilidade financeira dos serviços, atribuindo maior responsabilidade técnica e econômica aos gestores públicos.

Para mensurar a eficiência na gestão pública, observa-se, na literatura, o uso crescente de métodos quantitativos, como a Análise Envoltória de Dados, em inglês *Data Envelopment Analysis* (DEA). Essa técnica não paramétrica permite comparar o desempenho de unidades gestoras com diferentes estruturas e contextos, sendo aplicada nas áreas de educação, saúde e infraestrutura urbana (Portella, 2018). No setor de saneamento, a DEA contribui para diagnosticar gargalos operacionais, identificar boas práticas e oferecer subsídios para a formulação de políticas públicas baseadas em evidências. Diante disso, este estudo investiga se as prestadoras de serviços de saneamento básico das capitais do Nordeste brasileiro utilizam seus recursos de forma eficiente.

Estudos dessa natureza são fundamentais para identificar possíveis ineficiências na prestação dos serviços públicos essenciais e subsidiar políticas que promovam maior racionalidade na alocação de recursos e melhoria nos indicadores de desempenho. Embora seja um problema de pesquisa com expressiva relevância empírica, objeto de estudo de Barbosa e Bastos (2014); Cruz, Mota e Marinho (2019); e Rodrigues e Raupp (2024), têm sido mais comum estudos realizados sobre a eficiência dos gastos públicos com saneamento básico, como, por exemplo, Bittelbrunn *et al.* (2016) e Chaves, Lucena e Sousa (2022). Portanto, o presente artigo contribui com a literatura que versa sobre a eficiência das prestadoras de serviços de saneamento básico. Ademais, inova ao considerar a análise de janela. A análise da eficiência permite avaliar o grau de produtividade na utilização dos recursos operacionais pelas prestadoras, sobretudo, em um setor cuja qualidade impacta diretamente a saúde pública e o bem-estar da população. Portanto, propõe-se avaliar a eficiência operacional das prestadoras de serviços de saneamento básico que atuam nas capitais dos estados nordestinos, no período de 2010 a 2021.

Além desta introdução, o trabalho está estruturado em quatro seções: a segunda apresenta o percurso metodológico do estudo, a terceira expõe e discute os resultados, e a quarta seção é dedicada às considerações finais.

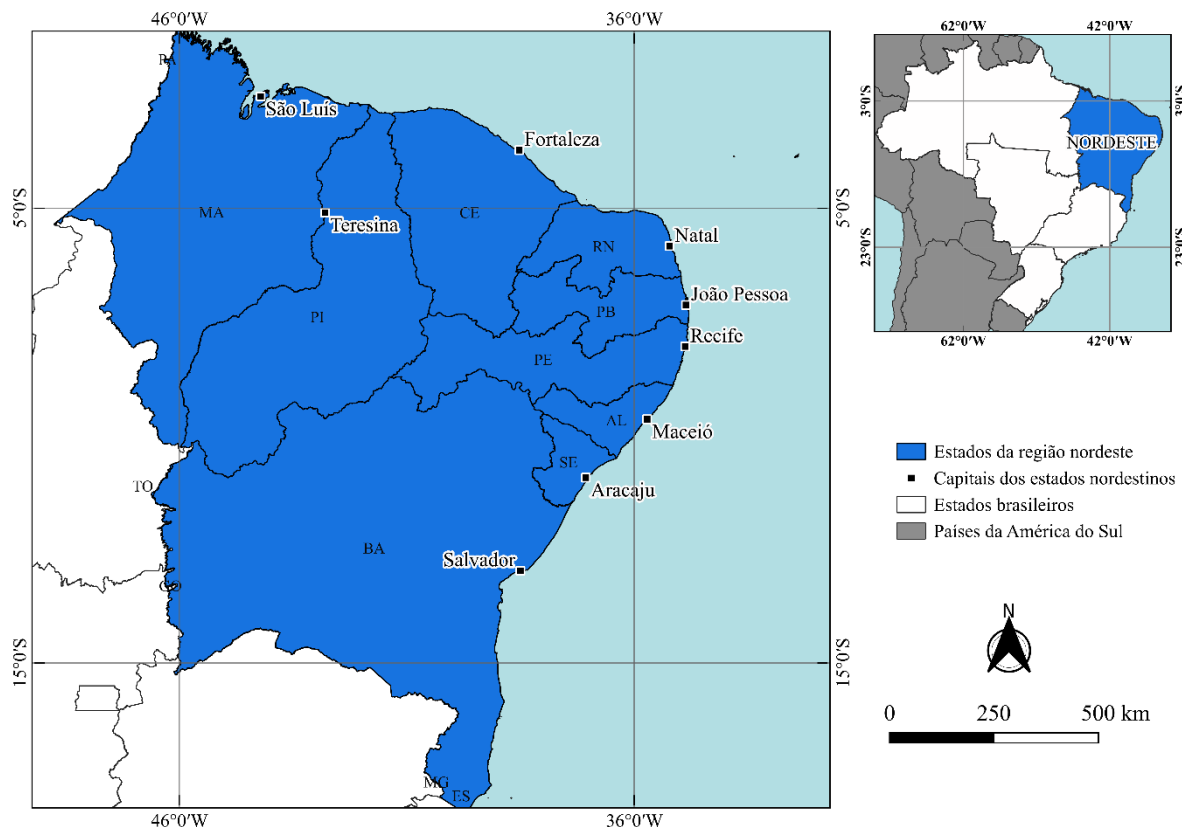
2 METODOLOGIA

Esta seção é destinada à metodologia deste trabalho, estando distribuída em duas partes. A primeira reservada à área de estudo e as variáveis empregadas e a segunda aos métodos analíticos utilizados: Análise Envoltória de Dados, em inglês, *Data Envelopment Analysis* (DEA) e Análise de Janela, em inglês, *Window Analysis* (WA).

2.1 Área de estudo e variáveis

A área empírica deste estudo, assim como exposta na Figura 1, compreende as nove capitais que integram a região Nordeste do Brasil: Aracaju, Fortaleza, João Pessoa, Maceió, Natal, Recife, Salvador, São Luís e Teresina. Essas cidades concentram parcela significativa da população nordestina e desempenham papel central na provisão de serviços urbanos, especialmente no que se refere à infraestrutura de saneamento básico (Lopes, 2018). Além disso, apresentam diferenças marcantes quanto ao porte populacional, à capacidade de arrecadação e à estrutura de gestão pública (Pinheiro; Lima, 2020), o que justifica sua escolha para fins de comparação quanto à eficiência das prestadoras de serviços de saneamento básico na alocação de recursos nesse setor.

Figura 1: Localização geográfica das capitais do nordeste brasileiro



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados cartográficos do IBGE (2025)

Para mensurar a eficiência gerencial na prestação de serviços de saneamento básico nas capitais do Nordeste, foram selecionadas variáveis do tipo *input* e *output* com base nos dados econômico-financeiros disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). O período de análise compreende os anos de 2010 a 2021, o que permite a avaliação temporal. As variáveis consideradas neste estudo, são apresentadas no Quadro 1, detalhando seus respectivos códigos e descrições conforme a nomenclatura adotada pelo SNIS.

No que se refere às variáveis utilizadas, foram selecionados cinco insumos (*inputs*) que expressam os principais custos operacionais envolvidos na prestação dos serviços de saneamento básico. A primeira corresponde às despesas com pessoal próprio (FN010), que englobam os gastos com salários, encargos e benefícios dos trabalhadores diretamente vinculados à operação dos sistemas. A segunda refere-se à despesa com produtos químicos (FN011), indispensáveis aos processos de tratamento da água e do esgoto. A terceira é a despesa com energia elétrica (FN013), insumo essencial ao funcionamento de estações de bombeamento, unidades de tratamento e demais estruturas operacionais do sistema. A quarta compreende as despesas com serviços de terceiros (FN014), que incluem contratos com empresas prestadoras de apoio técnico, manutenção e gestão operacional. Por fim, a quinta, denominada despesas de exploração (FN015), sintetiza os custos totais operacionais do sistema, reunindo os elementos anteriores e outros gastos recorrentes da atividade.

Quadro 1: *Inputs e outputs* considerados na mensuração da eficiência gerencial na prestação de serviços de saneamento básico nas capitais do Nordeste, Brasil, no período de 2010 a 2021

Tipo	Sigla	Variável (R\$/ano)
<i>Inputs</i>	FN010	Despesa com o pessoal próprio
	FN011	Despesa com produtos químicos
	FN013	Despesa com energia elétrica
	FN014	Despesa com serviços de terceiros
	FN015	Despesas de Exploração (DEX)
<i>Output</i>	FN005	Receita operacional total (direta + indireta)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em MDR/SNIS (2023)

Como variável de produto (*output*), utilizou-se a receita operacional total (FN005), que abrange tanto as receitas diretas, oriundas da cobrança pelos serviços de água e esgoto, quanto as receitas indiretas, relacionadas a outras fontes vinculadas à operação do sistema. Essa variável foi escolhida por refletir, de forma abrangente, a capacidade de converter os recursos públicos investidos em retorno financeiro, o que pode indicar maior ou menor eficiência na condução dos serviços de saneamento básico.

2.2 Métodos analíticos

2.2.1 Data Envelopment Analysis (DEA)

A avaliação da eficiência produtiva é fundamental para mensurar o desempenho relativo de unidades que utilizam recursos escassos na geração de produtos ou serviços. Nesse contexto, destaca-se a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*), descrita por Leal (2018) como uma abordagem não paramétrica, baseada em programação linear, que permite comparar unidades produtivas, denominadas Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units – DMUs*) sem a necessidade de conhecer previamente a forma funcional que relaciona insumos e produtos.

Desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), com base nos fundamentos teóricos de Farrell (1957), a DEA constrói uma fronteira empírica de eficiência a partir das melhores práticas observadas no conjunto de unidades analisadas. Sua aplicação é particularmente apropriada em contextos marcados por elevada heterogeneidade estrutural e pela ausência de uma função de produção explícita (Alves, 2019). O autor referenciado, destaca-se, ainda, a flexibilidade da técnica em lidar com múltiplos insumos e múltiplos produtos, bem como em distinguir diferentes escalas operacionais, tornando-a uma ferramenta amplamente empregada em estudos sobre desempenho relativo, sustentabilidade e políticas públicas.

Em outro plano, entre os modelos mais utilizados da DEA estão o modelo CCR, proposto pelos próprios autores da técnica, que assume retornos constantes de escala (CRS) e considera que as unidades operam em sua escala ótima, sendo adequado quando se espera proporcionalidade entre insumos e produtos. Em complemento, o modelo BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), introduz a hipótese de retornos variáveis de escala (VRS), permitindo avaliar a eficiência em ambientes onde diferentes tamanhos e capacidades

operacionais afetam o desempenho. Carneiro (2024) aponta que a adoção conjunta desses modelos possibilita uma análise mais abrangente da eficiência técnica e da escala de operação das unidades analisadas.

Neste estudo, a análise de eficiência adota a orientação às saídas, abordagem que avalia em que medida é possível expandir os níveis de produção sem aumentar o volume de insumos utilizados, conforme proposto por Silva e Sá (2021). No caso dos serviços de saneamento básico, o objetivo é verificar até que ponto as capitais avaliadas conseguem ampliar a oferta e melhorar a qualidade dos serviços prestados à população com os mesmos recursos disponíveis. Nesse contexto, as equações (1) e (2) representam, respectivamente, os modelos DEA sob retornos constantes (CRS) e variáveis (VRS) à escala, conforme apresentado por Lucena, Barbosa e Sousa (2021):

$$Max_{\theta, \lambda} \theta, \text{sujeito a: } -\theta y_i + Y\lambda > 0, x_i - X\lambda \geq 0 \text{ e } \lambda \geq 0 \quad (1)$$

$$Max_{\theta, \lambda} \theta, \text{sujeito a: } -\theta y_i + Y\lambda > 0, x_i - X\lambda \geq 0, N_1'\lambda = 1 \text{ e } \lambda \geq 0 \quad (2)$$

Em que: θ representa o escore de eficiência técnica bruta da unidade de decisão (DMU); y_i e x_i correspondem, respectivamente, ao vetor de produtos e ao vetor de insumos observados da DMU i ; Y e X são as matrizes de produtos (n por m) e de insumos (n por k), compostas pelas demais unidades avaliadas; λ é um vetor de pesos (n por 1) que forma combinações lineares das DMUs no espaço de referência; N_1 representa um vetor linha (1 por n) composto por elementos unitários, utilizado no modelo VRS para impor a restrição de convexidade.

A equação (1) corresponde ao modelo DEA com retornos constantes de escala (CRS), que assume que todas as DMUs operam em escala ótima. Já a equação (2) representa o modelo com retornos variáveis de escala (VRS), que introduz a restrição adicional, permitindo a análise de eficiência considerando diferentes escalas de operação. Em ambos os modelos, adota-se a orientação às saídas, ou seja, busca-se maximizar proporcionalmente os níveis de produção (outputs) da DMU avaliada, mantendo fixos os insumos utilizados.

Salienta-se que a utilização conjunta dos modelos CCR e BCC tem como objetivo capturar não apenas a eficiência técnica total, mas também distinguir os efeitos relacionados à escala de operação (Silva; Luca; Vasconcelos, 2019). Em outras palavras, o modelo CCR, ao assumir retornos constantes de escala, pode superestimar a ineficiência de unidades que operam fora de sua escala ótima. Já o modelo BCC, ao considerar retornos variáveis de escala, ajusta a fronteira de eficiência para contemplar tais variações, oferecendo uma avaliação mais realista em contextos marcados por heterogeneidade estrutural. A comparação entre os escores obtidos em ambos os modelos permite, portanto, estimar a eficiência de escala e identificar se a ineficiência observada decorre de problemas operacionais ou do porte inadequado da unidade analisada.

2.2.2 Window Analysis (WA)

Com o intuito de incorporar a dimensão temporal à análise de eficiência, este estudo adotou a técnica da Análise de Janelas (*Window Analysis* – WA), proposta por Charnes e Cooper (1984). Essa abordagem permite examinar o desempenho das unidades de decisão ao longo do tempo por meio da criação de janelas temporais sobrepostas, que agrupam sequências de anos consecutivos. Conforme explicam Pereira e Tavares (2020), cada janela é tratada como uma instância independente de avaliação, o que possibilita monitorar a evolução da eficiência das unidades ao longo do tempo.

Matematicamente, a construção das janelas é definida a partir do tamanho da janela e da quantidade de janelas geradas, conforme as equações (3) e (4):

$$n = \frac{N+1}{2} \quad (3)$$

$$w = N - n + 1 \quad (4)$$

Em que: N representa o número total de períodos avaliados; n é o tamanho da janela (em anos); e w é o número de janelas resultantes.

No presente estudo, o recorte temporal compreende o período de 2010 a 2021, totalizando $N = 12$. Foram adotadas 7 janelas com largura igual a 6, o que implica sete janelas temporais, cada uma composta por seis anos consecutivos. Assim, a janela mais antiga abrange o período de 2010 a 2015, e a mais recente, de 2016 a 2021.

A aplicação integrada da DEA com os modelos CCR e BCC, combinada à análise de janelas, possibilita captar a complexidade da gestão pública municipal no setor de saneamento básico, especialmente em uma região marcada por desigualdades estruturais como o Nordeste brasileiro. Tal abordagem metodológica oferece uma avaliação da eficiência na alocação dos recursos públicos.

Dessa forma, torna-se possível identificar padrões de desempenho, gargalos operacionais e oportunidades de aprimoramento na prestação dos serviços, fornecendo subsídios relevantes para o planejamento e a formulação de políticas públicas mais eficazes. Ademais, todas as imputações, as estimações e as tabelas foram realizadas na linguagem R, no ambiente *RStudio*, por meio do pacote *Benchmarking*.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Análise descritiva das variáveis

Antes da mensuração da eficiência, é apresentada uma análise descritiva das variáveis utilizadas no estudo. A Tabela 1 resume os principais indicadores estatísticos das variáveis de *input* e *output* selecionadas, considerando o conjunto das capitais nordestinas entre os anos de 2010 e 2021.

Tabela 1: Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência na prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas no período de 2010 a 2021

Estatística	FN005	FN010	FN011	FN013	FN014	FN015
Mínimo	117208137,57	29819960,97	495830,85	7313751,14	3483951,16	77694130,33
Média	405041301,05	114779867,38	10470460,63	28031107,2	81482078,23	297545987,11
Máximo	1308360605,6	259515314,2	52777920,54	76552633,4	291794556,07	828712858,76
Desvio padrão	288876666,1	49366343,36	11173945,15	15128058,67	73667522,46	175492670,47
CV (%)	71,32	43,01	106,72	53,97	90,41	58,98

Nota: CV remete ao coeficiente de variação.

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

Observa-se que a receita operacional total (FN005) apresenta média de R\$ 405 milhões, com elevado desvio padrão e coeficiente de variação superior a 71%, evidenciando significativa desigualdade nos rendimentos das prestadoras de serviços de saneamento entre as capitais nordestinas, em consonância com os apontamentos de Ferreira (2025). Entre os insumos, destacam-se as despesas de exploração (FN015), com CV em torno de 59%, e a despesa com pessoal próprio (FN010), que apresenta a menor dispersão (CV de 43%). Em contraste, os maiores níveis de variação ocorrem nas despesas com produtos químicos (FN011) e serviços de terceiros (FN014), cujos coeficientes ultrapassam 90%, indicando forte heterogeneidade, sugerindo que diferentes capitais adotam estratégias distintas ou enfrentam realidades operacionais muito variadas no tocante a esses gastos específicos (Silva, 2024).

Ressalta-se que os valores máximos de todas as variáveis foram observados na capital do estado da Bahia, resultado da concentração e do aumento dos investimentos em programas de universalização do saneamento básico (Cunha; Borja, 2018). Por outro lado, os menores valores foram identificados nas capitais do Maranhão, Alagoas, Pernambuco e Paraíba, o que está em consonância com os dados apresentados por Figueiredo e Ferreira (2017), indicando um desempenho inferior dessas unidades na consolidação dos serviços de saneamento.

Por conseguinte, a Tabela 2 apresenta a matriz de correlação entre os indicadores utilizados na análise de eficiência da prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas, no período de 2010 a 2021. Observa-se que a receita total gerada (FN005) apresenta correlação positiva e elevada com todos os componentes de entrada do modelo, com destaque para as despesas de exploração (FN015) e os gastos com insumos químicos (FN011), sugerindo que maiores investimentos operacionais tendem a se associar a maiores níveis de arrecadação. Essa relação é destacada na literatura, que reconhece o impacto positivo dos aportes operacionais sobre a performance financeira dos serviços de saneamento, especialmente em contextos de expansão da cobertura e melhoria da eficiência (Pimentel; Miterhof, 2022; Alves, 2023).

Tabela 2: Correlação entre as variáveis utilizadas na mensuração da eficiência na prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas no período de 2010 a 2021

	FN005	FN010	FN011	FN013	FN014	FN015
FN005	1,0000					
FN010	0,6346	1,0000				
FN011	0,8574	0,6095	1,0000			
FN013	0,7509	0,5418	0,7424	1,0000		
FN014	0,7377	0,5729	0,4726	0,4706	1,0000	
FN015	0,9149	0,7620	0,7156	0,6656	0,8969	1,0000

Fonte: elaborada pelos autores (2023)

Entre os insumos, as despesas de exploração (FN015) se destacam por apresentarem uma forte associação com outros componentes da estrutura de custos, especialmente com as despesas com pessoal próprio (FN010) e os serviços contratados de terceiros (FN014). Essa correlação sugere uma interdependência significativa entre os diferentes tipos de gasto operacional, refletindo a complexidade da gestão financeira no setor de saneamento, em paralelo ao apontado por Santos, Marques e Alves (2024).

Em contraste, correlações mais moderadas são observadas em outras combinações, como entre os recursos humanos e os gastos com energia elétrica, bem como entre os produtos químicos e os serviços terceirizados, o que pode indicar, conforme Araújo e Bertussi (2018), padrões de alocação menos integrados ou demandas específicas menos diretamente associadas.

Os resultados sugerem uma estrutura de custos relativamente articulada, com destaque para o papel central das despesas de exploração, tanto na geração de receita quanto na composição conjunta dos demais insumos. Essa organização reforça a pertinência da variável no contexto do modelo DEA.

3.2 Análise da eficiência

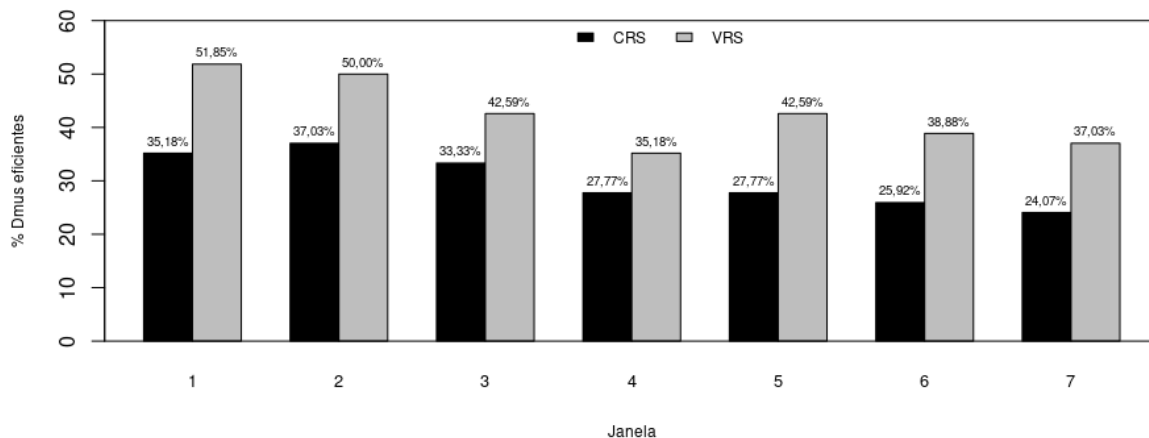
A Figura 2 apresenta os escores de eficiência das capitais nordestinas na prestação de serviços de saneamento estimados com modelo DEA sob pressuposição CRS e VRS, respectivamente. A distribuição de escores é especificada por janelas, sendo 7 janelas com

largura igual a 6, conforme a metodologia apresentada na subseção 2.2.2. Com efeito, as duas figuras são similares, ou seja, as eficiências com pressuposição CRS e VRS são semelhantes.

Observa-se que, ao longo das sete janelas analisadas, os escores de eficiência VRS são consistentemente superiores aos escores CRS, indicando que a maior parte das ineficiências está relacionada à escala de operação, e não apenas à má alocação de recursos. Em outras palavras, essa diferença sugere que muitas das capitais poderiam melhorar seu desempenho ajustando seu porte operacional, explorando economias de escala.

Considerando uma análise por janelas, na primeira, o escore VRS atinge seu valor mais alto, enquanto o escore CRS é de aproximadamente 35%. Esse padrão se repete na segunda janela, com valores de 50% (VRS) e 37% (CRS), indicando relativa estabilidade no início do período. Entretanto, a partir da terceira janela, observa-se uma queda nos escores, especialmente nos CRS, que atingem seu menor valor na sétima janela. Isso pode indicar, de acordo com Afonso e Fernandes (2008), que quedas nos escores de eficiência ao longo do tempo podem estar relacionadas a fatores como escassez de investimentos, inércia institucional ou deficiências na governança local. Assim, a redução dos escores CRS, em contraste com a relativa estabilidade dos VRS, sugere que as capitais, embora mantenham certa eficiência técnica sob condições operacionais ideais, enfrentam dificuldades em operar em escala eficiente, comprometendo a sustentabilidade do desempenho ao longo do tempo.

Figura 2: Escores de eficiência na prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas conforme as janelas no período de 2010 a 2021



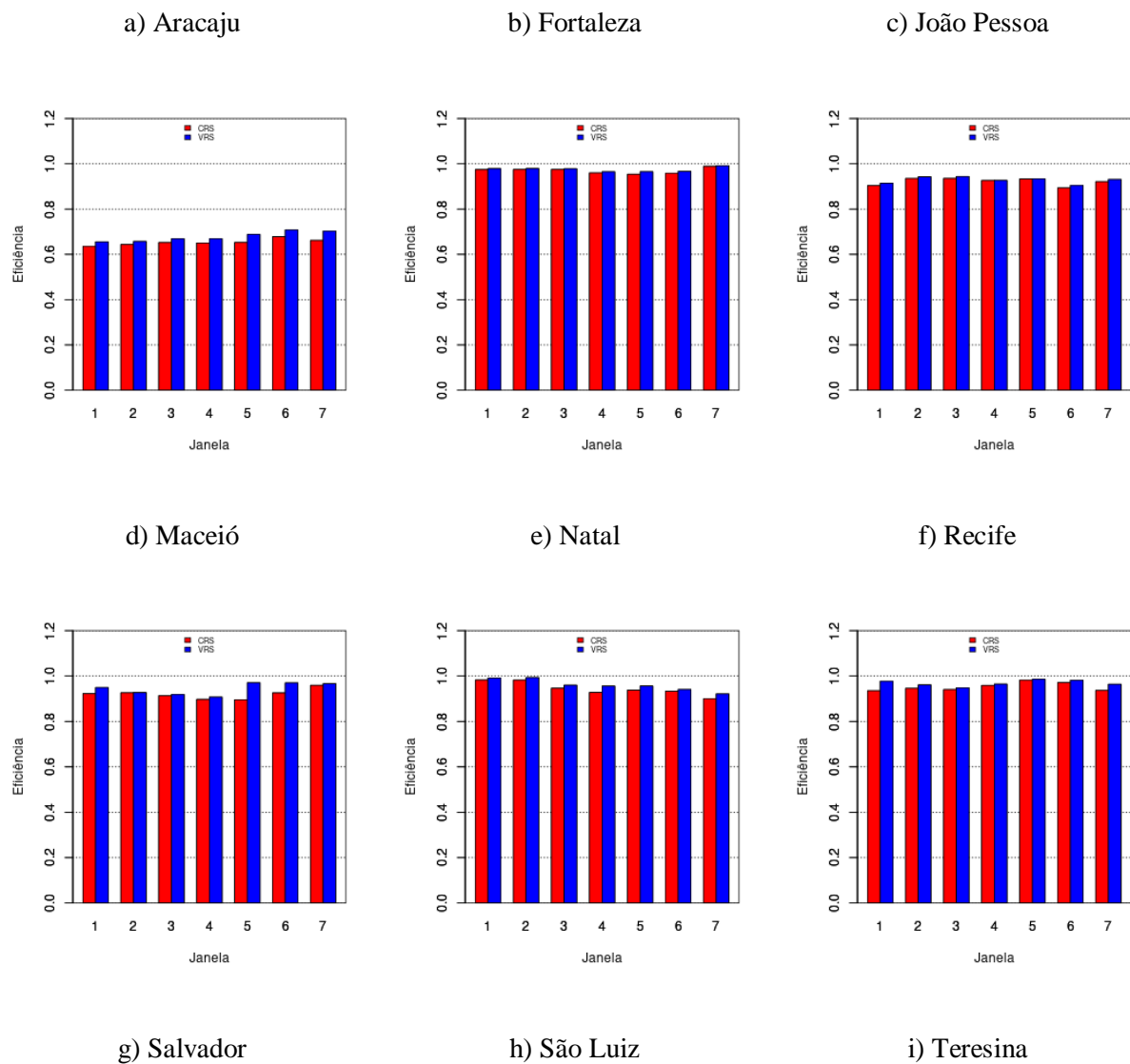
Nota: janela 1 (2010–2015), janela 2 (2011–2016), janela 3 (2012–2017), janela 4 (2013–2018), janela 5 (2014–2019), janela 6 (2015–2020), janela 7 (2016–2021).

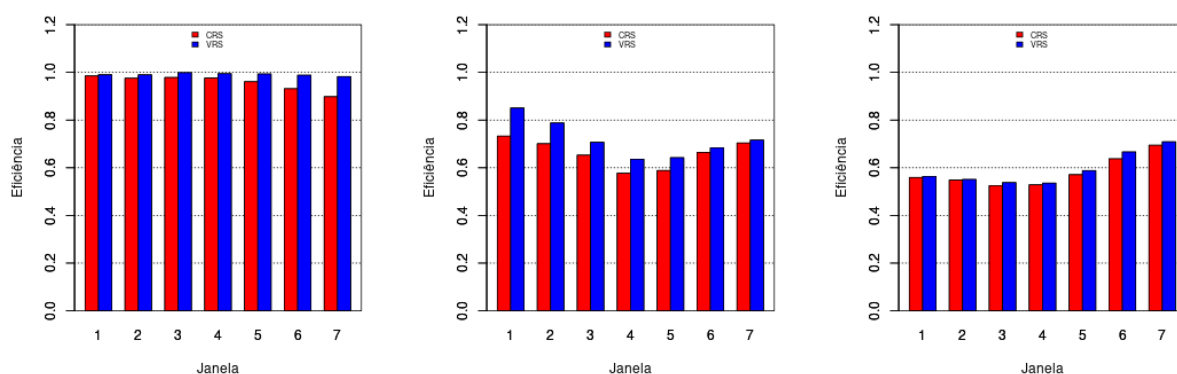
Fonte: elaborada pelos autores (2023)

Na comparação dos modelos entre janelas, verifica-se que os escores CRS são relativamente estáveis, variando entre 24% e 37%, enquanto os escores VRS apresentam maior variação, oscilando entre 37% e 51%. Essa variação reforça a ideia de que parte das ineficiências poderia ser corrigida por ajustes no porte das operações ou pelo uso mais eficiente de recursos em unidades de diferentes tamanhos. Os resultados indicam, conforme elucidado por Ferreira (2025), a presença de ineficiência técnica significativa no setor de saneamento nas capitais nordestinas, com ênfase para as ineficiências de escala. Sendo assim, essas evidências podem subsidiar ações voltadas à reestruturação das operações e à promoção de uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis.

Complementando a análise exposta acima, a Figura 3 apresenta a evolução dos escores médios de eficiência técnica sob as hipóteses de retornos constantes de escala (CRS) e retornos variáveis de escala (VRS) para as nove capitais da região Nordeste do Brasil, considerando o período de 2010 a 2021. A comparação entre os dois modelos de análise permite distinguir entre ineficiências técnicas puras e ineficiências relacionadas à escala de operação.

Figura 3: Eficiência média com retornos constantes e variáveis de escala (CRS e VRS) na prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas conforme as janelas no período de 2010 a 2021





Nota: janela 1 (2010–2015), janela 2 (2011–2016), janela 3 (2012–2017), janela 4 (2013–2018), janela 5 (2014–2019), janela 6 (2015–2020), janela 7 (2016–2021).
 Fonte: elaborada pelos autores (2023).

De maneira geral, observa-se que, para todas as capitais, os escores de eficiência VRS são consistentemente superiores aos escores CRS. Essa diferença reforça a presença de ineficiências de escala como elemento estruturante das limitações observadas na prestação dos serviços de saneamento. Capitais como Salvador e Fortaleza apresentaram escores VRS mais elevados e estáveis ao longo do tempo, indicando desempenho técnico relativamente satisfatório. No entanto, a diferença significativa entre os escores VRS e CRS em Salvador sugere que a cidade ainda enfrenta desafios quanto à escala de operação. Mesmo com altos investimentos em saneamento, conforme exposto por Cunha e Borja (2018), Salvador apresenta significativa diferença entre os escores VRS e CRS, indicando ineficiência de escala. Isso sugere que os recursos não estão sendo utilizados no porte ideal de operação. Fortaleza, por outro lado, apresentou uma diferença menor entre os modelos, o que indica que opera mais próxima de sua escala ótima, reflexo da combinação da boa gestão técnica com uma estrutura de operação adequada, resultando em práticas mais sustentáveis no decorrer do tempo (Oliveira, 2019).

Cidades como Maceió, Recife e São Luís apresentaram escores CRS consistentemente baixos, mesmo com desempenhos moderados sob o modelo VRS, indicando não apenas ineficiências técnicas, mas também inadequação quanto à escala de operação. Já Aracaju, João Pessoa e Teresina, apesar de certa estabilidade nos escores VRS, também demonstram ineficiências de escala ao longo do tempo, sugerindo a necessidade de melhorias estruturais para alcançar maior eficiência global. Segundo Petrus e Pereira Junior (2021), os índices de saneamento nessas cidades estão diretamente associados às negligenciadas condições sociodemográficas e econômicas locais.

Os resultados da Figura 3 confirmam o padrão identificado na análise agregada da Figura 2, no qual as ineficiências de escala se destacam como o principal fator limitante da eficiência dos serviços de saneamento nas capitais nordestinas. Essa constatação reforça os fatos elucidados por Macedo (2021), que enfatiza a importância de ações voltadas à regionalização dos serviços, ao redimensionamento das unidades operacionais e à integração de sistemas, de modo a possibilitar o aproveitamento de economias de escala e ganhos sustentáveis em eficiência técnica.

De mais a mais, a Tabela 3 destaca a média e o desvio padrão da eficiência das capitais nordestinas na prestação de serviços de saneamento básico. Tais métricas, nesta ordem, traduzem o desempenho médio da estabilidade dos escores de eficiência para as capitais. Nesse

sentido, essas estatísticas fornecem o desempenho médio das capitais na prestação de serviços de saneamento, bem como a estabilidade desses escores ao longo do tempo.

Tabela 3: Média e desvio padrão da eficiência com retornos constantes e variáveis de escala (CRS e VRS) na prestação de serviços de saneamento nas capitais nordestinas no período de 2010 a 2021

Capital	Média		Desvio padrão	
	CRS	VRS	CRS	VRS
Aracaju	0,6533	0,6785	0,0330	0,0374
Fortaleza	0,9692	0,9748	0,0544	0,0474
João Pessoa	0,9211	0,9281	0,0930	0,0891
Maceió	0,9199	0,9441	0,0929	0,0828
Natal	0,9443	0,9597	0,0833	0,0687
Recife	0,9529	0,9690	0,0580	0,0475
Salvador	0,9578	0,9910	0,0439	0,0167
São Luís	0,6599	0,7175	0,2221	0,2126
Teresina	0,5805	0,5928	0,1422	0,1479

Fonte: elaborada pelos autores (2023)

De modo geral, observa-se que as médias de eficiência VRS são superiores às de CRS em todas as capitais, o que reforça a presença de ineficiências de escala no sistema. Essa diferença sugere que, mesmo com uma gestão técnica relativamente eficaz (captada pelo VRS), muitas capitais operam fora de sua escala ótima de produção, o que impacta negativamente os resultados sob a hipótese de CRS.

Dentre as capitais analisadas, Salvador, Recife e Fortaleza se destacam com os maiores escores médios de eficiência tanto em CRS quanto em VRS, sinalizando elevado desempenho técnico e estruturas operacionais mais próximas do ideal, consonante às inferências de Silva Neto *et al.* (2023). Em particular, Salvador apresenta um escore médio VRS de 0,9910, com o menor desvio padrão entre todas as capitais (0,0167), evidenciando um desempenho altamente eficiente e estável ao longo do período, em resposta aos altos investimentos em saneamento.

Em contraste, Teresina e São Luís registram os menores escores médios, especialmente sob a hipótese de CRS, com médias de 0,5805 e 0,6599, respectivamente. Além disso, ambas apresentam os maiores desvios padrão, o que revela não apenas baixa eficiência técnica, mas também grande instabilidade nos resultados ao longo das janelas temporais. Esses padrões sugerem que essas capitais enfrentam limitações estruturais persistentes e inconsistências na gestão dos serviços de saneamento (Silva; Machado, 2019).

Capitais como Natal, João Pessoa e Maceió ocupam posições intermediárias, com escores médios relativamente altos, mas com desvios padrão um pouco mais elevados, indicando certa variabilidade no desempenho ao longo dos anos. Já Aracaju apresenta escores médios modestos e baixa variabilidade, sugerindo um desempenho consistente, porém aquém do potencial ideal.

Portanto, a Tabela 3 confirma os achados anteriores ao evidenciar que, embora algumas capitais apresentem boa eficiência técnica, a maioria ainda convive com desafios ligados à escala de operação e à estabilidade dos serviços prestados. Esses dados reforçam a necessidade de intervenções estratégicas que combinem melhorias gerenciais com o redimensionamento das estruturas operacionais para garantir maior eficiência e consistência na prestação dos serviços de saneamento básico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência gerencial das capitais da região Nordeste do Brasil na prestação de serviços de saneamento básico no período de 2010 a 2021, utilizando a metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA), combinada à técnica de Análise de Janelas (*Window Analysis*). A análise considerou os modelos CCR e BCC, possibilitando uma avaliação mais abrangente do desempenho técnico e das condições estruturais que impactam a eficiência dos serviços prestados.

Os resultados demonstraram que, de forma geral, as capitais nordestinas apresentam escores de eficiência VRS superiores aos escores CRS em todas as janelas analisadas, o que evidencia a predominância de ineficiências associadas à escala de operação. Essa constatação indica que parte significativa das limitações na gestão do saneamento não está relacionada apenas à má alocação de recursos, mas também ao porte inadequado das estruturas operacionais. Capitais como Salvador, Fortaleza e Recife destacaram-se com os maiores níveis médios de eficiência, combinando bom desempenho técnico e relativa estabilidade ao longo do tempo. Por outro lado, cidades como São Luís e Teresina apresentaram os piores resultados, tanto em termos de eficiência média quanto em variação dos escores, o que sinaliza instabilidade e problemas estruturais mais profundos. A análise dos desvios padrão reforçou a percepção de que a consistência na gestão dos serviços também é um desafio para diversas capitais.

Tendo em vista os resultados encontrados no presente estudo, pode-se apontar algumas sugestões para melhorias na eficiência gerencial das prestadoras de serviços de saneamento básico nas capitais nordestinas. Em primeiro lugar, o consorciamento com outros tipos de empresas pode contribuir para reduções dos altos custos inerentes a este segmento. Em segundo lugar, um planejamento que envolva o setor público, possibilitando integração com outros aportes de recursos e financiamentos. Ademais, o investimento em tecnologias e modernizações no setor também pode aumentar a produção, mantendo os custos, já que um problema comum é a otimização da escala.

Como principal limitação desta pesquisa, destaca-se a área de estudo, pois se resume apenas às capitais do Nordeste; e considerar apenas os investimentos das próprias prestadoras, ou seja, a análise não considerou os gastos públicos com o saneamento. Para sugestão de estudos futuros, pode-se ser relevante estudar os diferenciais de eficiência entre a alocação do recurso público e a receita operacional das próprias prestadoras, contribuindo para evidenciar os principais gargalos operacionais. Outra abordagem mais metodológica é incluir modelos para analisar os determinantes dos escores de eficiência. Além disso, pode-se pertinente ampliar a área de estudo, incluindo outras capitais brasileiras, municípios e unidades federativas.

REFERÊNCIAS

AFONSO, A.; FERNANDES, S. Assessing and explaining the relative efficiency of local government. **Journal of Socio-Economics**, v. 37, n. 5, p. 1946–1979, 2008.

ALVES, C. F. **Avaliação da eficiência de terminais de contêineres**: uma aplicação do método DEA com a inclusão de um insumo intangível. 2019. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2019

ARAÚJO, F. C.; BERTUSSI, G. L. Saneamento básico no Brasil: estrutura tarifária e regulação. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 51, 2018.

BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Manage. Sci.** v. 30, n.9, p. 1078–1092. 1984.

BARBOSA, R. P; BASTOS, A.P. V. Utilização da análise por Envoltória de Dados (DEA) na mensuração da eficiência das prestadoras de serviços de água e esgotamento sanitário: um enfoque no desempenho da companhia de saneamento do Estado do Pará (COSANPA). **Revista Economia & Gestão**, v. 14, n. 35, p. 151-181, abr./jun. 2014.

BITTELBRUNN, F.; BRINCKMANN, R.; ANDRETT, M. C. S.; PFITSCHER, E. D. Estudo da eficiência dos gastos com saneamento básico dos estados brasileiros e DF entre 2012 a 2014 por meio de Análise Envoltória de Dados. CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 23. **Anais...** Porto de Galinhas, PE, 2016.

CARNEIRO, A. D. C. **Análise da eficiência operacional no setor de transmissão de energia elétrica no Brasil no período de 2018 a 2023**. 2024. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás). Goiânia, Goiás. 2024.

CHARNES, A.; COOPER, W. W. Preface to topics in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, v. 2, p. 59–94. 1984. DOI: doi:10.1007/BF01874733.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal Of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444. 1978.

CHAVES, R. R.; LUCENA, M. A.; SOUSA, E. P. Eficiência dos gastos públicos municipais com saneamento no Ceará e seus determinantes sociodemográficos. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, ano 24, v. 3, n. 53, p. 63-91, set./dez. 2022. DOI: 10.36810/rde.v3i53.7674.

CRUZ, F. P.; MOTTA, R. S.; MARINHO, A. Análise da eficiência técnica e da produtividade dos serviços de água e esgotos no Brasil de 2006 a 2013. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 49, n. 3, p. 81-106, dez. 2019.

CUNHA, M. A.; BORJA, P. C. O programa de aceleração do crescimento no estado da Bahia e os desafios da universalização do saneamento básico. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 173-185, 2018.

FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **J. Royal Statistical Society**, v. 120, p. 253-290, 1957.

FERREIRA, B. G. Avaliação quali-quantitativa do modelo de gestão do saneamento básico no nordeste. 2025. 172f. Tese (Doutorado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. 2025.

FERREIRA, J. G.; GOMES, M. F. B.; DANTAS, M. W. A. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil / Desafios e polêmicas do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, São José dos Pinais, v. 7, n. 7, p. 65449–65468, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n7-019.

FIGUEIREDO, F. F.; FERREIRA, J. G. O saneamento básico no Nordeste e no Rio Grande no Norte: avanços e constrangimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL, 17., São Paulo. **Anais eletrônico...** São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2017.

LEAL, M. R. D. **Avaliação de desempenho da educação superior brasileira por análise envoltória de dados e conceito de porte relativo**. 2018. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

LEÃO, P. L. F.; SOUZA, P. V. N. C. de S. de. Desenvolvimento sustentável e o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020) com foco no ODS nº 6. **Revista do Instituto de Direito Constitucional e Cidadania**, Londrina, v. 7, n. 1, p. e055, jan./jun. 2023. DOI: 10.48159/revistadoidcc.v7n1.e055

LOPES, A. C. B. **Análise da evolução do sistema de esgotamento sanitário e da gestão do tratamento do esgotamento sanitário das capitais do nordeste durante o período de 2007 a 2016**. 2018. 104f. Dissertação (Mestrado em Gestão Pública) - Universidade Federal do Piauí - Teresina, PI. 2018.

LUCENA, M. A.; BARBOSA, W. B.; SOUSA, E. P. Eficiência dos gastos públicos com segurança nos municípios baianos em 2018. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, p. 153-172, 2021.

MACEDO, L. A. R. **Regionalização da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: uma análise do desempenho em consórcios operantes e seus municípios no Brasil e na Argentina**. 2021. 365f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

MACEDO, Joel de Jesus; SAMPAIO, Armando Vaz. Avaliação do setor de saneamento no Brasil período 2015 usando o método Análise Envoltória de Dados (DEA). **Tópicos em Administração**, v. 39, p. 21, 2021.

MARTINS, M. F.; RODRIGUES, A. G. Saneamento básico como direito fundamental – os reflexos da desigualdade social e a violação à dignidade da pessoa humana. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 11, p. 2749–2762, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i11.7872.

MEDEIROS, V.; RODRIGUES, C. T. Políticas públicas municipais, universalização e eficiência no setor de saneamento básico: uma análise para os municípios mineiros. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 53, p. 183-210, jul. dez. 2019.

OLIVEIRA, C. R. Novo marco regulatório para o saneamento básico: estratégias para definição, capacitação e acompanhamento das normas de referência emitidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico –ANA. **Cadernos Enap**, 117. 2022. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7256>. Acesso em: 15 de jul de 2025.

PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência do setor sucroenergético com base na análise de janelas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 59–82, 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n1p59-82.

PETRUS, J. K. B.; PEREIRA JUNIOR, M. V. Capitais Nordestinas do Brasil: análise de indicadores de pobreza a partir de dados censitários de 2010. **Ateliê Geográfico**, v. 15, n. 1, p. 194-217, 2021.

PIMENTEL, L. B.; MITERHOF, M. T. O financiamento dos serviços de água e esgoto: análise do passado recente (2016-2019) e desafios da diversificação de fontes para chegar à universalização. **Economia e Sociedade**, v. 31, n. 3, p. 735-770, 2022.

PINHEIRO, H. D.; LIMA, E. M. N. Implantação do Plano Municipal de Resíduos Sólidos nas capitais nordestinas: análise da legislação. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 13, n. 3, p. 81-97, 2020.

PORTELLA, V. R. **Eficiência dos investimentos das prestadoras de serviço de saneamento nos municípios de Santa Catarina**. 2018. 18f. TCC (Graduação em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

RODRIGUES, A. F. O.; RAUPP, F. M. Impacto de instrumentos regulatórios prévios na eficiência dos prestadores de serviço de saneamento básico. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro v. 58, n. 5, p.e2023-0290, 2024.

SANTOS, N. A. D.; MARQUES, E. L.; ALVES, R. C. Análise da viabilidade econômico-financeira dos modelos de prestação de serviços de saneamento básico nos municípios do Amazonas: estudo de caso do município de Itacoatiara. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 10, n. 4, p. 301-316, 2024.

SILVA NETO, Antonio Celestino; MORAES, Ariana Ferreira de Alencar; JÚNIOR, Gilson Santiago Macedo; COSTA, Lara Paula de Meneses; OLIVEIRA, Pedro Levi Lima. Zonas especiais de conflitos urbanos: a disputa e a descaracterização das Zonas Especiais de Interesse Social em Salvador, Fortaleza, Recife e Natal. **Revista Brasileira de Direito Urbanístico**, Belo Horizonte: Fórum, v. 9, n. 16, p. 143–168, 2023.

SILVA, M. M. A. S. SANEAMENTO: v. 9, n. 350, setembro, 2024. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza: Banco do Nordeste, v. 9, set. 2024.

SILVA, S. C. **Desafios à vista**: o programa de coleta seletiva do Recife como política pública sustentável. 2024. 207 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2024.

SILVA, T. H. O.; DE SÁ, E. M. Eficiência na RFEPCT: uma análise regionalizada por Análise Envoltória de Dados. **Revista Científica da Ajes**, v. 10, n. 21, 2021.

SILVA, C. R. M.; ALVES, R. M. P.; LUCA, M. M. M.; VASCONCELOS, A. C. de. Eficiência da alocação de recursos públicos nas unidades da federação nos governos Lula e Dilma. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania, São Paulo**, v. 24, n. 78, 2019. DOI: 10.12660/cgpc.v24n78.73696.

SILVA, J. C. B.; MACHADO, C. J. S. Associações entre dengue e variáveis socioambientais nas capitais do Nordeste brasileiro por Análise de Agrupamentos. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, p. 1-22. 2019.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO.
Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022. Brasília: MDR, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/saneamento/snis>. Acesso em: 25 jul. 2023.

SIQUEIRA, I. M.; REIS, A. O.; FRAGA, M. S.; FERREIRA, E. P.; AMARAL, N. L.
Eficiência na alocação de recursos em saneamento básico: correlações com saúde, educação, renda e urbanização nos municípios mineiros. **Contabilometria**, Monte Carmelo, v. 5, n. 1, p. 1-16, jan./ jun. 2018.

VITOR, G. A.; LANDO, G. A.; DUARTE, C. A. L.; MARQUES, D. A. V.; D'ANGELO, I. B. M. Saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com doenças de veiculação hídrica. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 15, p. e521101522913, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.22913.