



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL**

**BÁRBARA GOMES FERREIRA**

**AVALIAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DO MODELO DE GESTÃO DO  
SANEAMENTO BÁSICO NO NORDESTE**

**FORTALEZA**

**2025**

BÁRBARA GOMES FERREIRA

AVALIAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DO MODELO DE GESTÃO DO SANEAMENTO  
BÁSICO NO NORDESTE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, do Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Economia Rural. Linha de pesquisa: Economia dos Recursos Naturais e Política Ambiental.

Orientador: Prof. Ph.D. Ahmad Saeed Khan.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F439a Ferreira, Bárbara Gomes.

Avaliação qualiquantitativa do modelo de gestão do saneamento básico no Nordeste / Bárbara Gomes Ferreira. – 2025.  
170 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2025.  
Orientação: Prof. Dr. Ahmad Saeed Khan.

1. Saneamento. 2. Política nacional de saneamento básico. 3. Análise de eficiência. I. Título.  
CDD 338.1

---

BÁRBARA GOMES FERREIRA

AVALIAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DO MODELO DE GESTÃO DO SANEAMENTO  
BÁSICO NO NORDESTE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, do Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Economia Rural. Linha de pesquisa: Economia dos Recursos Naturais e Política Ambiental.

Aprovada em: 08/04/2025.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ph.D. Ahmad Saeed Khan (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Edward Martins Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Everton Nogueira Silva  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Profa. Dr. Fernando Daniel de Oliveira Mayorga  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Grande Arquiteto do Universo, que em todas as batalhas foi meu guia e conforto. Ao meu avô Sebastião que, antes de mim, mensurou a expectativa deste título. Aos meus pais, Anadir Gomes do Nascimento Ferreira e Airton José Batista Ferreira, que mesmo distantes se fazem presentes ao modo particular de cada um. Aos meus irmãos, Ayrana Gomes Ferreira e Breno Airton Gomes Ferreira, que são minha fortaleza, meu colo, meu conselho e que vibram por mim com profundo afeto. À minha companheira de vida, Mauricelia Belmont Barreto, que não mede esforços para que eu me sinta realizada todos os dias.

Agradeço aos colegas discentes do curso (mestrado e doutorado, turma 2021) pelo apoio e companheirismo, em especial ao meu amigo Hélio.

Agradeço a meu professor orientador pelo apoio, direção e complacência.

Agradeço aos professores e colaboradores do Programa de Pós-graduação em Economia Rural (PPGER), pela solicitude.

Agradeço aos professores que participaram da banca examinadora desta pesquisa (exame de qualificação e defesa final).

Agradeço à Universidade Federal do Ceará (UFC), por meio do PPGER, pela oportunidade em poder contribuir com a sociedade.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente estiveram envolvidos neste processo árduo.

"A ciência é mais que um corpo de conhecimento, é uma forma de pensar, uma forma cética de interrogar o universo, com pleno conhecimento da falibilidade humana."

(Carl Sagan)

## RESUMO

A presente investigação avaliou os serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste brasileiro, estruturando-se em três estudos analíticos aprofundados. O primeiro estudo, fundamentado em dados provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), examinou a eficiência técnica e as variações na produtividade dos serviços de saneamento básico, considerando os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de *Malmquist*, observou-se um incremento discreto na fronteira de eficiência dos municípios; contudo, uma média de pontuações de eficiência sofreu uma redução significativa. Esse declínio na produtividade total dos fatores foi majoritariamente atribuído ao declínio na eficiência técnica e ao retrocesso tecnológico, apontando para desafios críticos na gestão dos recursos hídricos. O segundo estudo analisou os determinantes do desempenho operacional dos serviços de água e esgoto, do Nordeste para os mesmos períodos, utilizando análise fatorial para discernir os fatores que moldam o Índice de Desempenho Operacional (IDO), e Regressão *Quantílica* para elucidar os efeitos distributivos desses determinantes. Revela-se que a tarifa média praticada, o índice de perdas na distribuição e o consumo de água foram as variáveis com maior capacidade explicativa para avanços no desempenho operacional, enquanto o volume de empregados e a medida de atendimento urbano de esgoto exibiram influência limitada, fornecendo a necessidade de revisões estratégicas nas políticas de gestão de recursos humanos e infraestrutura tecnológica no setor. O terceiro estudo integrou dados adicionais do SNIS, da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para explorar o impacto das características socioeconômicas nas mesorregiões administrativas do Ceará sobre o desempenho operacional dos serviços municipais de água e esgoto, utilizando métodos de Regressão *Quantílica* e análise de agrupamento para agrupar municípios por desempenho. Os resultados indicaram que melhorias no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e condições de saúde geralmente correlacionam níveis com o desempenho em municípios de alta eficiência operacional, enquanto indicadores de desigualdade e educação tendem a melhorar o desempenho em municípios com níveis intermediários de operação. Além disso, confirmou-se que as intervenções da política nacional de saneamento básico proporcionaram resultados positivos, principalmente nos municípios com menor desempenho operacional.

**Palavras-chave:** saneamento; política nacional de saneamento básico; análise de eficiência.

## ABSTRACT

The present investigation evaluated water and sewage services in the states of Northeast Brazil, structuring the analysis into three in-depth analytical studies. The first study, based on data from the National Sanitation Information System (SNIS), examined the technical efficiency and productivity changes in basic sanitation services, considering the periods 2005-2006 and 2016-2017. Using Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist Index, a slight increase in the efficiency frontier of municipalities was observed; however, the average efficiency scores experienced a significant reduction. This decline in total factor productivity was mainly attributed to decreased technical efficiency and technological regression, highlighting critical challenges in water resources management. The second study analyzed the determinants of the operational performance of water and sewage services in the Northeast for the same periods, employing factor analysis to discern the factors shaping the Operational Performance Index (IDO) and quantile regression to elucidate the distributive effects of these determinants. It was revealed that the average tariff, distribution losses index, and water consumption were the variables with the highest explanatory power for advances in operational performance, whereas the number of employees and the urban sewage service coverage showed limited influence, indicating the need for strategic revisions in human resources management and technological infrastructure policies within the sector. The third study integrated additional data from SNIS, the Federation of Industries of the State of Rio de Janeiro (FIRJAN), and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) to explore the impact of socioeconomic characteristics in the administrative mesoregions of Ceará on the operational performance of municipal water and sewage services, using quantile regression methods and cluster analysis to group municipalities by performance level. The results indicated that improvements in the Human Development Index (HDI) and health conditions are generally correlated with higher performance in municipalities with high operational efficiency, while inequality and education indicators tend to improve performance in municipalities with intermediate levels of operation. Furthermore, it was confirmed that national sanitation policy interventions yielded positive outcomes, especially in municipalities with lower operational performance.

**Keywords:** sanitation; national basic sanitation policy; efficiency analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Localização dos municípios utilizados na pesquisa .....	40
Figura 2	Capitais e municípios de médio porte no Nordeste .....	132
Figura 3	Dados sobre o fornecimento de água em 2022 .....	134
Figura 4	Dados sobre esgotamento sanitário em 2022 .....	135
Figura 5	Localização dos estados do Nordeste do Brasil .....	143
Figura 6	Divisão dos estados do Nordeste por <i>clusters</i> em relação ao IDO .....	163
Gráfico 1	Histograma da distribuição dos escores dos períodos analisados .....	73
Gráfico 2	Evolução e Classificação do Índice de Desempenho dos Estados do Nordeste .....	124
Quadro 1	Parâmetros de Avaliação de Eficiência do Saneamento: <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> nos Estados do Nordeste .....	42
Quadro 2	Classificação do Índice KMO para Análise Fatorial .....	99
Quadro 3	Indicadores operacionais selecionados dos serviços de água e esgoto....	106
Quadro 4	Variáveis Operacionais de Água e Esgoto .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Alagoas.....	44
Tabela 2	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado da Bahia.....	45
Tabela 3	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Ceará.....	47
Tabela 4	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Maranhão.....	48
Tabela 5	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado da Paraíba.....	50
Tabela 6	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Pernambuco.....	51
Tabela 7	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Piauí.....	53
Tabela 8	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Rio Grande do Norte.....	54
Tabela 9	Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Sergipe.....	55
Tabela 10	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Alagoas.....	59
Tabela 11	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais da Bahia.....	60
Tabela 12	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Ceará.....	62
Tabela 13	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Maranhão.....	64
Tabela 14	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais da Paraíba .....	66
Tabela 15	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Pernambuco.....	68
Tabela 16	Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e	

2016-2017 em municípios amostrais do Piauí.....	69
Tabela 17 Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Rio Grande do Norte.....	71
Tabela 18 Coeficientes de Eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Sergipe.....	72
Tabela 19 Estatísticas descritivas dos períodos analisados, no que se refere a média, desvio padrão e frequência da quantidade de DMUs.....	74
Tabela 20 Resultados do Índice de <i>Malmquist</i> , Efeito emparelhamento e Efeito Deslocamento para os períodos analisados.....	77
Tabela 21 Estatísticas descritivas dos valores do Índice de <i>Malmquist</i> , Efeito emparelhamento e Efeito deslocamento dos períodos analisados.....	78
Tabela 22 Análise descritiva dos indicadores e variáveis fatoriais.....	111
Tabela 23 Análise descritiva das variáveis utilizadas na <i>Regressão Quantílica</i> .....	111
Tabela 24 Variância explicada.....	115
Tabela 25 Cargas fatoriais e comunalidades para os indicadores de desempenho dos estados do Nordeste.....	119
Tabela 26 Índices de Desempenho Operacional dos estados do Nordeste.....	122
Tabela 27 Coeficientes das variáveis do modelo de <i>Regressão Quantílica</i> .....	126
Tabela 28 Descrição estatística dos dados aplicados na <i>Regressão Quantílica</i> .....	153
Tabela 29 Classificação dos Índices de Desempenho Operacional dos Serviços de Água e Esgoto em 2020.....	156
Tabela 30 Estimativas dos <i>Quantis</i> para as Variáveis do Modelo de <i>Regressão Quantílica</i> .....	159
Tabela 31 Hierarquização dos Estados do Nordeste por IDO.....	160

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABCON	Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
AC	Análise de <i>Clusters</i>
ACP	Análise dos Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
AFC	Análise dos Fatores Comuns
AGESPISA	Companhia de Águas e Esgotos do Piauí
ANA	Agência Nacional de Águas
BTS	Teste de Esfericidade de <i>Bartlett</i>
CAEMA	Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CESB	Companhias Estaduais de Saneamento Básico
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRS	Retornos Constantes de Escala
DEA	Análise Envoltória de Dados
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DMU	Unidades Tomadoras de Decisão
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
ETG	Eficiência Técnica Global
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
KMO	<i>Kaiser-Mayer-Olkin</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDO	Índice de Desempenho Operacional
LNSB	Lei Nacional do Saneamento Básico
MAS	Medida de Adequação da Amostra

MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAAES	Plano Estadual de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário
PL	Projeto de Lei
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional de Amostras e Domicílios
PNADC	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PTF	Produtividade Total dos Fatores
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SESP	Serviço Especial de Saúde Pública
SINDCON	Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	15
2	<b>AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E PRODUTIVIDADE DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO NOS ESTADOS DO NORDESTE, BRASIL.....</b>	18
2.1	<b>Introdução.....</b>	18
2.2	<b>Referencial Teórico.....</b>	21
2.2.1	<b><i>Desempenho do saneamento básico.....</i></b>	21
2.2.2	<b><i>Desempenho do serviço de saneamento.....</i></b>	24
2.3	<b>Metodologia .....</b>	27
2.3.1	<b><i>Área de estudo .....</i></b>	27
2.3.2	<b><i>Análise Envoltória dos Dados (DEA) .....</i></b>	30
2.3.3	<b><i>A Técnica Jackstrap .....</i></b>	33
2.3.4	<b><i>Índice de Malmquist .....</i></b>	35
2.3.5	<b><i>Metodologia de seleção e tratamento de variáveis .....</i></b>	38
2.3.6	<b><i>Análise descritiva das variáveis aplicadas ao modelo DEA .....</i></b>	43
2.4	<b>Resultados e discussão.....</b>	58
2.4.1	<b><i>Eficiência dos Fatores Operacionais.....</i></b>	58
2.4.2	<b><i>Avaliação das Variações na Eficiência Produtiva dos Municípios.....</i></b>	76
2.5	<b>Conclusão .....</b>	79
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	81
3	<b>DETERMINANTES DE DESEMPENHO E SEUS EFEITOS NO FORNECIMENTO DE SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL .....</b>	86
3.1	<b>Introdução .....</b>	86
3.2	<b>Referencial teórico .....</b>	88
3.2.1	<b><i>Fornecimento de serviços de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil .....</i></b>	88
3.2.2	<b><i>Desempenho do setor de saneamento e fornecimento de água na região Nordeste do Brasil .....</i></b>	91
3.2.3	<b><i>Análise dos efeitos do fornecimento de água e esgotamento sanitário na</i></b>	

<i>região Nordeste do Brasil</i> .....	93
3.2.3.1 <i>Desafios e obstáculos para a melhoria do acesso à água e saneamento</i> .....	94
3.2.3.2 <i>Iniciativas e políticas públicas para o setor</i> .....	95
<b>3.3 Metodologia</b> .....	96
3.3.1 <i>Área de estudo</i> .....	96
3.3.2 <i>Análise fatorial</i> .....	96
3.3.3 <i>Índice de desempenho operacional dos estados do nordeste brasileiro</i> .....	101
3.3.4 <i>Regressão Quantílica</i> .....	103
3.3.5 <i>Estrutura dos dados e variáveis utilizadas</i> .....	105
3.3.6 <i>Estatística descritiva dos índices e variáveis utilizadas na análise fatorial</i> .....	109
3.3.7 <i>Avaliação Estatística das Variáveis na Regressão Quantílica</i> .....	111
<b>3.4 Resultados e discussão</b> .....	114
3.4.1 <i>Análise fatorial</i> .....	114
3.4.2 <i>Índice de Desempenho Operacional dos serviços de água e esgoto da Região Nordeste-Brasil</i> .....	121
3.4.3 <i>Fatores determinantes e distribuição dos resultados nos serviços de água e esgoto</i> .....	124
<b>3.5 Conclusão</b> .....	127
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	129
<b>4 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL E OS IMPACTOS RELACIONADOS AOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO</b> .....	131
<b>4.1 Introdução</b> .....	131
<b>4.2 Referencial teórico</b> .....	133
4.2.1 <i>O Nordeste brasileiro e as condições de vida, como resultantes dos serviços fornecidos relacionados com água e esgoto</i> .....	133
4.2.1.1 <i>Educação e conscientização sobre saneamento básico</i> .....	137
4.2.1.2 <i>Impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de água no Nordeste e perspectivas futuras</i> .....	137
4.2.2 <i>Projeções para melhoria no fornecimento de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil</i> .....	139
<b>4.3 Metodologia</b> .....	141

<b>4.3.1</b>	<i>Área de estudo</i> .....	141
<b>4.3.2</b>	<i>Processo de construção do Índice de Desempenho Operacional (IDO)</i> .....	143
<b>4.3.3</b>	<i>Regressão Quantílica</i> .....	144
<b>4.3.4</b>	<i>Método de agrupamento dos estados do Nordeste</i> .....	145
<b>4.3.5</b>	<i>Conjunto de dados e variáveis analisadas</i> .....	147
<b>4.3.5.1</b>	<i>Definição das variáveis</i> .....	149
<b>4.3.5.2</b>	<i>Variáveis socioeconômicas</i> .....	150
<b>4.3.5.3</b>	<i>Análise descritiva das variáveis empregadas na Regressão Quantílica</i> .....	151
<b>4.4</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	155
<b>4.4.1</b>	<i>Índice de Desempenho Operacional dos serviços de água e esgoto</i> .....	155
<b>4.4.2</b>	<i>Análise da Regressão Quantílica</i> .....	157
<b>4.4.3</b>	<i>Análise de agrupamento da região Nordeste</i> .....	159
<b>4.5</b>	<b>Conclusão</b> .....	165
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	166
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	168

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A adoção de uma política nacional de saneamento básico é crucial para assegurar o acesso da população a serviços de água e esgoto de alta qualidade. Adicionalmente, tal política exerce um impacto substancial na eficiência técnica e na produtividade dos serviços de saneamento. Uma abordagem bem planejada e integrada pode aprimorar a gestão dos serviços, otimizar a utilização de recursos, reduzir as perdas de água e minimizar os impactos ambientais adversos. Esse conjunto de melhorias contribui diretamente para a elevação da eficiência técnica dos serviços de saneamento, o que, por sua vez, resulta em um aumento significativo da produtividade.

Os serviços de água e esgoto desempenham um papel fundamental na saúde pública e no desenvolvimento socioeconômico. A disponibilidade de água potável é crucial para prevenir doenças transmitidas pela água, enquanto a falta de saneamento básico pode prejudicar a economia de uma região, aumentando os custos com saúde e reduzindo a produtividade devido à maior incidência de doenças. Além disso, a distribuição desigual desses serviços pode perpetuar a pobreza e a desigualdade social, especialmente em comunidades rurais e áreas urbanas desfavorecidas.

É imperativo garantir que esses serviços sejam acessíveis e tenham alta qualidade para todas as pessoas, independentemente de sua localização geográfica, condição social ou econômica. A promoção da igualdade de acesso deve ser prioridade máxima para o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Dessa forma, compreender como as características socioeconômicas das mesorregiões impactam o desempenho operacional dos serviços de água e esgoto é essencial para o planejamento e gestão eficazes desses serviços. Isso deve ser incorporado à definição de políticas públicas e estratégias empresariais, a fim de garantir que esses serviços sejam acessíveis e tenham a qualidade ideal para toda a população.

Por outro lado, as características socioeconômicas das mesorregiões administrativas exercem uma influência significativa no desempenho operacional dos serviços de água e esgoto. Mesorregiões densamente povoadas e urbanizadas exigem investimentos e gestão de recursos mais substanciais, enquanto áreas com menor renda per capita e estrutura socioeconômica mais frágil podem enfrentar desafios adicionais, como a necessidade de investimentos em infraestrutura para expandir a cobertura dos serviços.

A presente tese tem como objetivo geral realizar uma avaliação da eficiência dos serviços de gestão do saneamento básico na região Nordeste do Brasil, sendo dividida em três

capítulos correspondentes aos objetivos específicos, a saber: (i) investigar a eficácia técnica e operacional do modelo de gestão do saneamento básico (água e esgoto) adotado em diferentes localidades do Nordeste; (ii) Examinar os elementos determinantes do desempenho prático dos serviços de água e esgoto; (iii) Analisar o impacto das variáveis socioeconômicas das mesorregiões administrativas sobre a produtividade operacional da gestão dos serviços de água e esgoto.

No primeiro, foram aplicadas técnicas como Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice de *Malmquist* para mensurar as alterações na produtividade. A Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método que compara o desempenho relativo de unidades de decisão, utilizando múltiplas entradas para gerar múltiplas saídas. Esse método identifica as unidades mais eficientes e promove melhorias no desempenho das unidades menos eficientes, além de auxiliar na formulação de decisões estratégicas. Por outro lado, o Índice de *Malmquist* avalia a mudança na eficiência produtiva de uma unidade de decisão ao longo do tempo, permitindo a comparação da produtividade da organização em diferentes períodos e possibilitando a compreensão dos fatores que influenciaram essa mudança de eficiência.

Para o segundo objetivo proposto, empregaram-se métodos como Análise Fatorial (AF) e Regressão *Quantílica*. A Análise Fatorial (AF) explora a estrutura latente dos dados, identificando fatores subjacentes que podem ser utilizados para prever ou explicar o comportamento de interesse. Esse método é particularmente útil para reduzir a dimensionalidade dos dados, o que facilita análises subsequentes, como a regressão. Ao condensar um grande número de variáveis em um conjunto menor de fatores, a AF permite uma interpretação mais clara e eficiente das relações complexas presentes nos dados originais.

Já a Regressão *Quantílica* modela a relação entre as variáveis em diferentes quantis da distribuição da variável de resposta, proporcionando uma análise mais abrangente e detalhada. Diferentemente da regressão linear tradicional, que estima a média condicional da variável de resposta, a Regressão *Quantílica* oferece *insights* sobre como as variáveis se relacionam em diferentes pontos da distribuição. Isso é especialmente útil em situações onde a variabilidade dos dados é significativa, permitindo uma compreensão mais profunda das dinâmicas subjacentes.

Utilizando-se da combinação da Análise Fatorial e da Regressão *Quantílica*, pode-se obter uma análise mais robusta e rica em detalhes. A AF, ao reduzir a dimensionalidade dos dados, simplifica a modelagem e interpretação dos resultados. A Regressão *Quantílica*, por sua vez, complementa essa abordagem ao fornecer uma visão detalhada das relações entre variáveis em diferentes segmentos da distribuição. Juntas, essas técnicas oferecem uma poderosa

ferramenta para a análise estatística, permitindo a extração de *insights* mais precisos e relevantes a partir de conjuntos de dados complexos.

Para alcançar o terceiro objetivo específico proposto, a análise dos impactos das características socioeconômicas foi avaliada por meio da Análise de *Cluster* (AC) uma técnica que complementa a Regressão *Quantílica*, uma vez que essa interação proporciona uma compreensão mais profunda e detalhada dos dados. Enquanto a Regressão *Quantílica* modela as relações entre variáveis em diferentes quantis da distribuição, a AC organiza os dados em grupos coesos, destacando as semelhanças intrínsecas entre os objetos analisados.

Cada capítulo desta tese segue uma estrutura consistente de artigos, incluindo introdução, revisão teórica, metodologia, resultados e conclusões. Ao final, apresentam-se as considerações finais e referências bibliográficas, proporcionando uma análise abrangente e detalhada sobre a eficiência dos serviços de água e esgoto no contexto dos estados do Nordeste.

## **2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E PRODUTIVIDADE DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO NOS ESTADOS DO NORDESTE, BRASIL**

### **2.1 Introdução**

No contexto brasileiro, a política de saneamento básico ganhou relevância significativa, especialmente após a promulgação de legislações específicas para esse setor. A Lei n.º 11.445, de 2007, conhecida como a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), estabelece diretrizes cruciais para a prestação eficiente e sustentável dos serviços públicos de saneamento no Brasil. A PNSB tem como princípios orientadores a universalização do acesso e a consideração das particularidades locais e regionais (Brasil, 2007; Aloch, 2011).

Essa legislação visa a promover uma gestão mais eficiente do setor, refletindo o compromisso do Brasil com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Meta 6 – a qual tem como propósito garantir o acesso universal à água potável e ao saneamento adequado até 2030, reconhecendo a importância fundamental desses serviços para a saúde pública e o desenvolvimento sustentável.

Em 2020, o Brasil ainda enfrentou um desafio significativo em relação à cobertura dos serviços de saneamento básico. Segundo dados atualizados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o índice médio de atendimento da rede pública de abastecimento de água era de 83,6%, enquanto o acesso aos serviços de esgoto alcançava 53,2%. Isso significa que aproximadamente 35 milhões de pessoas não tinham acesso ao abastecimento de água, e cerca de 100 milhões de pessoas ficaram desprovidas de serviços de esgoto em todo o País (SNIS, 2020).

Na região Nordeste, a situação era igualmente preocupante em 2020, de acordo com os dados do SNIS. A cobertura de abastecimento de água atingiu 74,2%, e apenas 53,2% da população contava com serviços de esgotamento sanitário adequado. Isso fez com que, na região Nordeste, milhões de pessoas enfrentassem desafios relacionados à falta de acesso à água potável e saneamento básico adequado, evidenciando a necessidade de ações efetivas para melhorar essa situação.

Nas últimas décadas, o Brasil experimentou avanços significativos na ampliação da cobertura dos serviços de saneamento básico. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), entre 2004 e 2020, a cobertura de abastecimento de água aumentou de 80,6% para 83,6%, evidenciando um progresso contínuo e gradual.

Paralelamente, o acesso aos serviços de esgotamento sanitário também apresentou uma evolução notável, passando de 38,4% para 53,2% no mesmo período. Esses dados refletem os esforços realizados para melhorar a infraestrutura de saneamento e a qualidade de vida da população brasileira.

No entanto, apesar desses avanços, uma parte considerável da população ainda não possui acesso adequado a esses serviços essenciais. A universalização do saneamento básico permanece um desafio complexo, exigindo políticas públicas mais eficazes, investimentos contínuos e uma gestão integrada e eficiente dos recursos. A desigualdade no acesso aos serviços de água e esgoto ressalta a necessidade de estratégias direcionadas que considerem as especificidades regionais e socioeconômicas, visando a alcançar uma cobertura completa e equitativa em todo o território nacional.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), imposta pela Lei n.º 11.445 de 5 de janeiro de 2007, desempenha um papel fundamental no contexto brasileiro. A PNSB define diretrizes nacionais para o saneamento básico no País, baseadas na busca pela universalização do acesso e na consideração das particularidades locais e regionais (Brasil, 2007; Alóchio, 2011). Essas diretrizes têm como objetivo promover a prestação eficiente e sustentável dos serviços públicos de saneamento, refletindo o compromisso do Brasil em melhorar o setor.

A literatura tem destacado a ineficiência do sistema de saneamento básico brasileiro como um dos principais obstáculos ao desenvolvimento do setor. Estudos indicam que as principais causas dessa ineficiência incluem a falta de planejamento adequado, má gestão das companhias de saneamento, baixa qualidade técnica dos projetos e dificuldades em obter financiamento e licenças para obras (Ferreira; Dias, 2015; Silveira, 2017). Adicionalmente, pesquisadores como Oliveira (2021) apontam que a fragmentação institucional e a falta de coordenação entre os diferentes níveis de governo também contribuem para a ineficiência do setor.

A escassez de investimentos no setor de saneamento resulta em infraestrutura precária e gera externalidades negativas que afetam a população. Essas externalidades incluem a propagação de doenças transmitidas pela água, como cólera e giardíase, e a poluição ambiental de corpos d'água, ar e solo (Ribeiro; Rooke, 2010; Alochio, 2011; Brasil, 2015; Carcará *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2020). Consequentemente, a busca por maior eficiência no sistema de saneamento básico não só pode mitigar esses impactos negativos, mas também potencializar externalidades positivas, como a melhoria da saúde pública e a preservação ambiental (Pereira, 2021). Portanto, é fundamental adotar medidas que promovam a eficiência operacional e incentivem investimentos sustentáveis no setor.

De acordo com Nocko (2017), o sistema de saneamento básico presta um serviço à população por meio da transformação de insumos em produtos ou resultados, a análise da eficiência do sistema e a identificação dos fatores determinantes da produtividade são cruciais para o planejamento e o aprimoramento desse setor. A operação eficiente dos serviços de saneamento básico pode contribuir para a expansão da cobertura desses serviços e, consequentemente, para o aumento do bem-estar da população atendida.

A Política Nacional de Saneamento Básico trouxe mudanças significativas no sistema de saneamento básico brasileiro, com potencial para melhorar a eficiência na prestação de serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto nos municípios brasileiros. Segundo estudos como o de Aleixo *et al.*, (2016), essa política visa a integrar os serviços de saneamento em um modelo de gestão mais coeso e eficiente, promovendo a universalização do acesso e a melhoria da qualidade dos serviços prestados. A implementação dessa política tem sido associada a uma gestão mais efetiva dos recursos e a um planejamento mais robusto das intervenções necessárias para a expansão e manutenção da infraestrutura de saneamento.

Além disso, estudos indicam que a Política Nacional de Saneamento Básico tem potencial para promover a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. Borges *et al.* (2022) apontam que a política incentiva a adoção de tecnologias mais eficientes e a implementação de práticas de gestão que minimizam os impactos ambientais, como a redução da poluição dos corpos d'água e a melhoria do tratamento de esgoto. Essas ações são essenciais para mitigar os efeitos negativos do saneamento inadequado e promover um ambiente mais saudável para a população. Com a correta implementação e monitoramento, a política pode contribuir significativamente para a resolução dos desafios históricos enfrentados pelo setor de saneamento no Brasil.

Nesse contexto, este estudo se concentra na avaliação da eficiência técnica e da produtividade dos serviços de saneamento básico nos estados do Nordeste brasileiro sendo eles: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Estudos apontam que o setor de saneamento no Brasil é caracterizado por expressivas disparidades regionais principalmente quando se comparam as macrorregiões Norte e Nordeste com as demais regiões do Brasil. Segundo dados do IBGE (2020), a partir da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em 2017 o percentual de municípios com serviço de abastecimento de água no Nordeste era de 99,3% abaixo da média nacional (99,6%). Tratando-se do esgotamento sanitário, o percentual de municípios da Região Nordeste servidos por rede coletora, fossa séptica ou esgotos sanitários em 2020, era de 49,0%, sendo que apenas 55,6% dos domicílios possuem esses serviços (Santos, 2022).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo examinar as transformações na eficiência técnica na prestação dos serviços de saneamento básico e as causas das mudanças na produtividade dos fatores de produção nos estados do Nordeste, entre os anos de 2005-2006 e 2016-2017. O estudo abrange tanto o período anterior à implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (2005-2006) quanto os anos subsequentes à sua efetivação (2016-2017). Para isso, é utilizada a Análise Envoltória de Dados (DEA) para construir uma fronteira de eficiência, e o Índice de *Malmquist* para medir as variações na Produtividade Total dos Fatores (PTF) de produção. Essa abordagem permite avaliar o impacto da PNSB na eficiência técnica e na produtividade dos serviços de saneamento básico nos estados do Nordeste. O uso dessas ferramentas metodológicas, conforme discutido por Hayne (2003), Ferreira e Gomes (2009) e Macedo (2018), proporciona uma compreensão detalhada das mudanças operacionais e dos fatores que influenciam a performance do setor ao longo do tempo.

O presente capítulo está estruturado em cinco seções, sendo: 1. introdução, 2. embasamento teórico que explorará os fundamentos e teorias relevantes ao tema estudado, 3. são detalhados os métodos utilizados incluindo as variáveis analisadas e os procedimentos metodológicos adotados durante a pesquisa. Já a seção 4. apresenta e discute em profundidade os principais resultados, analisando suas implicações e contribuições para o campo de estudo. Finalmente, a seção 5. contém as conclusões do estudo, sumarizando os achados e delineando possíveis direções para futuras pesquisas.

## 2.2 Referencial teórico

A seção aborda o desempenho do saneamento básico no Brasil com enfoque nos estados da região Nordeste.

### 2.2.1 Desempenho do saneamento básico

A evolução do saneamento básico no Brasil pode ser dividida em diferentes fases históricas. Conforme delineado por Delpupo (2014), a chegada da corte portuguesa em 1808 marcou um avanço significativo nos serviços de saneamento básico, especialmente na cidade do Rio de Janeiro. Nesse período, houve a implementação de inspeções rigorosas nos portos de desembarque para prevenir a entrada de navios carregando indivíduos enfermos, visando a controlar possíveis surtos de doenças.

Já no período republicano, os serviços de saneamentos eram de responsabilidade do

Estado, porém os investimentos eram destinados a locais onde residiam as elites da época. Ao passo que as cidades se desenvolviam, a necessidade de investimento em serviços de saneamento básico seguia o avanço, de tal modo que as décadas de 1950 e 1960 foram marcadas por pressões da população exigindo maiores investimentos no setor, pois apenas um em cada três domicílios estavam ligados à rede geral de coleta de esgoto (Econômica, 2014).

Dessa forma, ao longo da história, o conceito de saneamento vem sendo socialmente estabelecido no que tange às condições materiais e sociais de cada época, do avanço do conhecimento e da sua internalização pela população. Massa (2020) sinaliza que o saneamento básico pode ser definido como o controle dos fatores do meio físico que exercem ou têm o potencial de exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social quando relacionados aos serviços de disponibilidade de água potável, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos.

A gestão do saneamento básico no Brasil é um aspecto fundamental para garantir a saúde pública e a preservação ambiental. A falta de infraestrutura adequada tem sido um desafio histórico, com impactos diretos na qualidade de vida da população e no desenvolvimento socioeconômico. O cenário atual exige um planejamento estratégico e investimentos contínuos para superar as deficiências existentes e alcançar um padrão de serviços eficientes e sustentáveis. Nesse contexto, a legislação desempenha um papel crucial na definição de diretrizes e na regulamentação das atividades relacionadas ao saneamento, uma vez que são serviços essenciais para a população.

Sendo assim, a Lei n.º 11.445/2007, intitulada como Lei das Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico e também conhecida como Marco Legal, foi alterada em 2020 pela Lei n.º 14.026/2020 (Brasil, 2020a). Elas estabelecem as diretrizes nacionais para o saneamento básico, as quais o definem como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais destinado ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais, e tem como finalidade orientar os órgãos do Poder Executivo Federal, amenizando as incertezas e os conflitos entre as entidades federais, estaduais e municipais (Pereira Junior, 2008).

No Brasil, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2015, é possível perceber que o desenvolvimento acontece de forma lenta com baixos índices de atendimentos. De acordo com os dados, 98 milhões de habitantes têm atendimento por redes de esgoto, com índice médio de 58,0% nas áreas urbanas brasileiras. Para o atendimento de água, verifica-se que 157,2 milhões de habitantes são atendidos por redes de água, com uma totalidade de atendimento em média nacional de 93,1% nas áreas urbanas (Brasil, 2019a).

No entanto, embora avançando lentamente, a ineficiência e as desigualdades no acesso aos serviços ainda representam importante campo de atuação das políticas públicas que ainda são insuficientes para alcançar a universalização do saneamento básico, segundo a Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto / Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON/SINDCON, 2016).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), promulgado pelo governo federal em 2014, compõe a política nacional de saneamento básico previsto na Lei n.º 11.445/2007 e estabelece metas de redução de déficits presentes nos serviços de saneamento a serem alcançadas em 2018, 2023 e 2033, as revisões anuais têm o intuito de gerar indicadores para induzir e direcionar ações para promover a universalização do abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, com investimentos públicos e privados estimados em R\$ 304 bilhões (Santos *et al.*, 2020).

Apesar dos investimentos no setor entre os anos de 2007 e 2016 (Brasil, 2019b), “os indicadores de cobertura de serviços não apresentaram uma evolução satisfatória” (Kuwajima, 2020). Diversos estudos analisam essa questão, incluindo contribuições da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES (2018), Instituto Trata Brasil (2018), Santos e Kuwajima (2019), Banco Mundial (2018) e Brasil (2019b; 2020b). Entre os fatores que impedem a universalização dos serviços, destacam-se os estudos de Nascimento e Heller (2005) e de Britto e Bessa (2012), os quais identificam como possíveis causas a fragmentação das políticas públicas a falta de uniformização na regulação e implementação da Emenda Constitucional n.º 95/2016 (Brasil, 2016) que impôs limites para o gasto público por 20 anos, levando a cortes profundos nos recursos para as áreas sociais, incluindo a de saneamento básico.

Dessa forma, a implementação de políticas estaduais de abastecimento de água e esgotamento sanitário em diversos estados do Nordeste do Brasil seguem princípios e diretrizes alinhados às políticas federais. Essas políticas visam a assegurar que os serviços públicos de saneamento sejam prestados de maneira eficiente, sustentável e integrada.

A política estadual de saneamento nos estados do Nordeste busca promover a eficiência e a universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Estudos e relatórios, como os da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e do Instituto Trata Brasil, destacam a necessidade de uniformização das regulações e a superação da fragmentação das políticas públicas para atingir esses objetivos. O alinhamento com as diretrizes federais permite a integração de esforços e recursos, facilitando

a implementação de soluções adequadas às particularidades regionais. Isso é fundamental para enfrentar os desafios específicos do Nordeste, em que as disparidades socioeconômicas e a escassez de recursos hídricos exigem abordagens inovadoras e eficientes para garantir a melhoria da qualidade de vida da população (Santos, 2022).

De acordo com Hutton e Varughese (2016), o alcance das metas de universalização do acesso à água potável, saneamento e higiene até 2030, conforme proposto nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), exige não apenas investimentos financeiros significativos, mas também a adoção de estratégias de gestão eficiente e políticas públicas integradas. Os autores ressaltam que a insuficiência de recursos e a má alocação de investimentos comprometem o desempenho do setor, perpetuando desigualdades regionais e limitando os avanços necessários para a cobertura plena dos serviços. Nesse sentido, além do aporte financeiro, são imprescindíveis, ao fortalecimento institucional, a regulação adequada e o monitoramento contínuo das ações, a fim de assegurar a eficácia dos programas e a sustentabilidade dos resultados alcançados.

### **2.3 Desempenho do serviço de saneamento**

O histórico de publicações sobre o saneamento básico no Brasil e no mundo reflete uma trajetória de crescente conscientização da relevância da temática combinada à saúde pública e ao desenvolvimento sustentável. As primeiras publicações sobre saneamento básico surgiram no final do século XIX, em resposta à crescente urbanização e aos surtos de doenças infecciosas que acometiam as cidades. Entre essas publicações, destaca-se o relatório de Edwin Chadwick, *"Report on the Sanitary Condition of the Labouring Population of Great Britain"* (1842), que teve um impacto significativo na saúde pública no Reino Unido. O relatório de Chadwick documentou as terríveis condições sanitárias nas áreas urbanas e sua ligação com doenças, como cólera e tifo, recomendando melhorias no abastecimento de água e na gestão de resíduos.

No Brasil, as primeiras discussões e publicações sobre saneamento básico começaram a ganhar relevância no final do século XIX e início do século XX, com destaque para os trabalhos de médicos sanitaristas, como Osvaldo Cruz e Carlos Chagas, os quais avaliaram as condições sanitárias no País.

Quanto ao desempenho dos serviços de saneamento básico, os primeiros trabalhos sobre a eficiência das companhias de saneamento dos municípios e das políticas públicas com uso da metodologia de Análise Envoltória dos Dados (DEA) remontam a partir da década de

1990, com destaque para algumas publicações de extrema relevância.

O estudo publicado por Carmo (2003) avaliou, por meio do modelo DEA, a eficiência das 26 Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESB) a fim de pontuar as principais variáveis que influenciam o aumento da produtividade. A pesquisa exploratória utilizou como fonte de dados o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) como ano base 2000. Concluiu-se que as companhias estaduais de saneamento básico, de um modo geral, apresentaram resultados significativos, por outro lado o estudo apontou expressiva ineficiência técnica, o que reafirma a necessidade de profunda discussão quanto a regulações de políticas públicas.

No mesmo sentido, Motta e Moreira (2006) aplicaram o DEA para avaliar a eficiência das empresas de saneamento no Brasil, comparando as eficiências técnicas dessas e identificando os fatores que influenciam a performance. Com dados extraídos do SNIS para o período entre 1998-2002, os índices de eficiência técnica foram estimados para 104 operadores, dos quais 25 servem apenas água, 20 são regionais e 11 são concessionários privados. Os resultados apontaram ineficiência (aproximadamente 0,7) no comparativo entre as tarifas cobradas e as eficiências dos serviços. Os operadores privados locais se destacaram em eficiência, enquanto operadores regionais apresentam baixa produtividade. Os resultados do estudo confirmam que a falta de regulação eficiente impede avanços tecnológicos e que a produtividade é impulsionada pela adoção de melhores práticas.

Paiva e Bastos (2014) analisaram a eficiência das prestadoras de serviços de água e esgotamento sanitário do estado do Pará, utilizando a DEA. A análise apontou que, entre as 24 unidades do estudo, a COSANPA ocupa a 16<sup>a</sup> posição no ranqueamento geral com nível de eficiência de 69,13%, o que pressupõe a possibilidade de significativos incrementos em seus produtos sem, necessariamente, aumentar as Despesas de Exploração, variável significativa (*inputs*). Tais resultados ressaltam a relevância da criação de instituições que permitam a alavancagem dos investimentos em capital físico e capacitação de pessoal no setor, tornando a prestação, além de universal, mais eficiente.

Por conseguinte, o estudo de Cruz e Ramos (2013) fornece uma análise detalhada da eficiência na gestão do saneamento básico e seu impacto na promoção da saúde pública, utilizando a DEA para estimar os escores de eficiência. Os resultados revelaram que todos os estados da região Sul do Brasil apresentam eficiência próxima de 1, indicando desempenho robusto na gestão dos serviços. Na região Sudeste, a maioria dos estados também demonstrou alta eficiência, refletida por escores elevados, com exceção notável do Rio de Janeiro e Minas

Gerais, que mostraram desempenhos abaixo da média e enfrentam desafios significativos em termos de eficiência.

Em consonância com a literatura internacional, González *et. al.* (2008) demonstram, ao analisar o setor de abastecimento de água na Espanha por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), que a eficiência dos serviços urbanos de água está fortemente associada à adoção de melhores práticas de gestão, à regulação eficaz e ao alinhamento dos incentivos institucionais. Os autores destacam que a identificação de unidades eficientes serve como parâmetro para o setor, possibilitando a definição de *benchmarks* que orientam a busca por ganhos de produtividade e qualidade nos serviços. Além disso, enfatizam que as disparidades regionais no desempenho operacional evidenciam a importância de políticas públicas voltadas tanto para a equalização das condições de gestão quanto para a promoção de investimentos em infraestrutura e capacitação, aspectos que se mostram igualmente relevantes para a realidade brasileira do saneamento básico.

Por outro lado, as regiões Norte e Nordeste apresentaram um grau geral de baixa eficiência na gestão do saneamento básico. A Região Norte, embora menos eficiente comparada às regiões Sul e Sudeste, teve resultados relativamente melhores em comparação com a Região Nordeste, a qual enfrentou os maiores desafios de eficiência. Esses achados destacam a disparidade na qualidade dos serviços de saneamento entre as diferentes regiões do Brasil, evidenciando a necessidade de políticas direcionadas e investimentos estratégicos para melhorar a gestão e, consequentemente, a promoção da saúde em regiões menos eficientes.

Em suma, a análise histórica e contemporânea da eficiência dos serviços de saneamento básico no Brasil revela um cenário marcado por desafios significativos e disparidades regionais. Os estudos realizados ao longo das últimas décadas, utilizando metodologias, como a Análise Envoltória dos Dados (DEA), têm sido cruciais para identificar tanto os progressos quanto as deficiências na gestão do saneamento. Embora algumas regiões, como o Sul e parte do Sudeste, apresentem índices de eficiência relativamente elevados, grande parte do País, especialmente as regiões Norte e Nordeste, ainda enfrenta consideráveis dificuldades para alcançar níveis satisfatórios de desempenho. Essas desigualdades refletem a necessidade urgente de políticas públicas mais eficazes, investimentos robustos em infraestrutura e capacitação técnica, além de uma regulação mais eficiente para fomentar avanços tecnológicos e boas práticas de gestão no setor de saneamento.

Portanto, os resultados desses estudos sublinham a importância de um planejamento estratégico e integrado para superar os desafios históricos e contemporâneos do saneamento básico no Brasil.

A implementação de políticas públicas direcionadas, as quais considerem as particularidades regionais e promovam a alavancagem de investimentos, é essencial para melhorar a eficiência dos serviços de saneamento e, consequentemente, a qualidade de vida da população. A continuidade das pesquisas e avaliações, utilizando ferramentas robustas como a DEA, é vital para monitorar o progresso e ajustar as estratégias conforme necessário, garantindo que os serviços de saneamento básico não apenas atinjam um nível universal de cobertura, mas também operem de forma eficiente e sustentável em toda a região Nordeste, o que o estudo se propõe a fazer.

## 2.3 Metodologia

Neste capítulo, estão dispostos os procedimentos metodológicos delineados pela área de estudo, os métodos de análise empregados: a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência relativa das unidades produtivas; a técnica de *Jackstrap*, a qual medirá a robustez e precisão das estimativas de eficiência; e o Índice de *Malmquist*, que irá analisar a produtividade ao longo do tempo. As variáveis utilizadas nos modelos são detalhadamente definidas, bem como a fonte de dados da pesquisa.

### 2.3.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa é a região Nordeste do Brasil, que compreende nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A região possui uma área total de aproximadamente 1.561.177,8 km<sup>2</sup> e uma população estimada, para o ano de 2020, de 57.374.223 habitantes, tornando-se a segunda região mais populosa do País. Em termos de desenvolvimento, o Nordeste apresenta um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio de 0,663, destacando-se a necessidade de políticas públicas e investimentos direcionados para melhorar a qualidade de vida e a infraestrutura básica da região (IBGE, 2020).

A região Nordeste do Brasil é politicamente dividida em diversos municípios, em que os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são prestados tanto por autarquias municipais quanto por empresas estaduais de economia mista. Cada estado possui suas respectivas companhias responsáveis pelo saneamento: a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) em Alagoas, que atende a 102 municípios; a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) na Bahia, que atende a 417 municípios; a Companhia de Saneamento

Ambiental do Maranhão (CAEMA) no Maranhão, que atende a 217 municípios; a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) na Paraíba, que atende 223 municípios; a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) em Pernambuco, que atende a 185 municípios; a Companhia de Águas e Esgotos do Piauí (AGESPISA) no Piauí, que atende a 224 municípios; a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) no Rio Grande do Norte, que atende a 167 municípios; e a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) em Sergipe, que atende a 75 municípios.

Em Alagoas, o serviço de abastecimento de água é prestado principalmente pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), que atende a maioria dos 102 municípios do estado. A média de cobertura de abastecimento de água é de 63,2%, com a capital Maceió atingindo 85%. No entanto, municípios menores e mais afastados, como Pilar e Marechal Deodoro, apresentam índices bem inferiores, refletindo as dificuldades logísticas e a carência de infraestrutura. Em relação ao esgotamento sanitário, apenas 28,4% da população têm acesso ao serviço, com a capital liderando a cobertura com 46%. Municípios como Arapiraca e Palmeira dos Índios apresentam taxas de cobertura muito baixas, indicando a necessidade de políticas públicas que ampliem o acesso ao saneamento básico em todo o estado.

Na Bahia, a Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) é a principal responsável pelo saneamento, atendendo a 366 dos 417 municípios. A cobertura média de abastecimento de água é de 69,8%, com a capital Salvador alcançando 93%. Cidades como Feira de Santana e Vitória da Conquista também apresentam altas taxas de cobertura, enquanto municípios menores como Jeremoabo e Itamaraju têm índices significativamente mais baixos. Quanto ao esgotamento sanitário, a cobertura média no estado é de 35,7%, com Salvador liderando com 61%. Municípios do interior, como Ilhéus e Barreiras, enfrentam grandes desafios, com cobertura de esgoto abaixo de 30%, evidenciando a desigualdade regional.

O Ceará está dividido em 184 municípios, com serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) em 151 municípios (82%) e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) em 33 municípios (18%). Em 2017, a média de abastecimento de água foi de 54,6%, com cobertura variando de 100% em Sobral a 14,5% em Beberibe. Oito municípios, incluindo Fortaleza e Juazeiro do Norte, superaram 80% de cobertura de água. Quanto ao esgotamento sanitário, a média de cobertura foi de 16,1%, com Sobral e Fortaleza apresentando as maiores coberturas, de 87,7% e 50,7%, respectivamente, indicando um grande déficit na rede de esgoto.

No Maranhão, a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) atende a 217 dos 217 municípios. A média de cobertura de abastecimento de água no estado é

de 47,5%, com a capital São Luís chegando a 76%. Municípios como Imperatriz e Caxias apresentam índices de cobertura relativamente altos, enquanto áreas rurais e cidades menores, como Codó e Balsas, enfrentam graves deficiências. Em termos de esgotamento sanitário, a cobertura média é de apenas 22,1%, com São Luís alcançando 40%. Municípios como Timon e Açaílândia têm cobertura inferior a 20%, o que reflete a necessidade urgente de investimentos em infraestrutura de saneamento no estado.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é a principal responsável pelos serviços de saneamento nos 223 municípios desse estado. A cobertura média de abastecimento de água é de 61,3%, com João Pessoa atingindo 88%. Municípios como Campina Grande e Patos também apresentam boas taxas de cobertura, enquanto cidades menores e mais afastadas, como Sousa e Cajazeiras, têm índices mais baixos. Quanto ao esgotamento sanitário, a média de cobertura é de 30,3%, com João Pessoa alcançando 52%. Municípios como Bayeux e Santa Rita têm coberturas de esgoto abaixo de 25%, indicando grandes desigualdades no acesso a serviços básicos.

Em Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) atende a maioria dos 185 municípios. A cobertura média de abastecimento de água é de 71,5%, com Recife atingindo 94%. Cidades como Olinda e Jaboatão dos Guararapes também apresentam altas taxas de cobertura, enquanto municípios do interior, como Caruaru e Petrolina, têm índices mais baixos. Em relação ao esgotamento sanitário, a cobertura média é de 38,4%, com Recife liderando com 63%. Municípios como Garanhuns e Serra Talhada apresentam coberturas de esgoto abaixo de 30%, refletindo a necessidade de melhorias significativas na infraestrutura de saneamento.

A Companhia de Águas e Esgotos do Piauí (AGESPISA) é a principal responsável pelo saneamento nos 224 municípios do estado. A cobertura média de abastecimento de água é de 53,9%, com Teresina alcançando 80%. Municípios como Parnaíba e Picos apresentam boas taxas de cobertura, enquanto cidades menores como Floriano e Piripiri têm índices mais baixos. Quanto ao esgotamento sanitário, a média de cobertura é de 26,5%, com Teresina chegando a 45%. Municípios como Campo Maior e Barras têm coberturas de esgoto inferiores a 20%, indicando uma grande necessidade de investimentos em saneamento básico.

No Rio Grande do Norte, a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) atende a maioria dos 167 municípios. A cobertura média de abastecimento de água é de 65,7%, com Natal atingindo 89%. Cidades como Mossoró e Parnamirim também apresentam altas taxas de cobertura, enquanto municípios menores, como Caicó e Currais Novos, têm índices mais baixos. Em termos de esgotamento sanitário, a cobertura média é de

33,9%, com Natal alcançando 55%. Municípios como São Gonçalo do Amarante e Macaíba têm coberturas de esgoto abaixo de 30%, refletindo a necessidade de ampliação dos serviços de saneamento.

A Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) é a principal responsável pelos serviços de saneamento nos 75 municípios do estado. A cobertura média de abastecimento de água é de 59,8%, com Aracaju atingindo 87%. Municípios como Nossa Senhora do Socorro e Itabaiana também apresentam boas taxas de cobertura, enquanto cidades menores, como Lagarto e Estância, têm índices mais baixos. Em relação ao esgotamento sanitário, a média de cobertura é de 29,7%, com Aracaju liderando com 48%. Municípios como São Cristóvão e Tobias Barreto têm coberturas de esgoto inferiores a 25%, destacando a necessidade de investimentos em infraestrutura para melhorar a qualidade de vida da população.

### **2.3.2 Análise Envoltória dos Dados (DEA)**

Os métodos de eficiência na produção se desencadearam com os estudos de Pareto e Debreu (1951), que mais tarde teve o modelo ampliado por Farrell (1957) com a construção de fronteiras de produção e indicadores de eficiência produtiva relativa (Carmo, 2003). Posteriormente, Charnes *et al.* (1978) aprimoraram a técnica de análise de eficiência a partir da avaliação das Unidades de Tomadas de Decisão (DMU) com múltiplas entradas como fatores de produção (insumos ou *inputs*) e múltiplas saídas (produtos ou *outputs*). As DMUs são unidades que utilizam os mesmos tipos de insumos para a produção dos mesmos bens e/ou serviços.

A Análise Envoltória dos Dados (DEA) é um método não paramétrico e de fronteira que permite uma avaliação holística da eficiência ao calcular um índice de desempenho relativo, que compara a eficiência de cada DMU com a melhor combinação observada entre outras unidades. Esse índice, que varia de 1 para DMUs eficientes a valores inferiores para as ineficientes, proporciona uma visão detalhada sobre o desempenho das unidades analisadas (Simionato, 2019).

A produtividade de cada Unidade de Tomada de Decisão (DMU) é determinada pela razão entre a soma ponderada dos produtos (*outputs*) e a soma ponderada dos insumos (*inputs*) necessários para gerá-los. Quando uma DMU é considerada ineficiente, a DEA identifica um conjunto de DMUs eficientes que podem servir de referência para melhorias (Lee *et al.*, 2014). Em outras palavras, essa combinação entre insumos e produtos que maximiza o produto com o mínimo de insumos é denominada como fronteira ou curva de eficiência.

De acordo com a literatura, a DEA utiliza dois modelos clássicos matemáticos para comparar o desempenho relativo das DMUs com base em múltiplos insumos e produtos. Entre os modelos clássicos da DEA, destacam-se o Modelo de Programação Linear com Retornos Constantes de Escala (CCR) (Charnes, Cooper e Rhodes) também conhecido como *Constant Returns to Scale* (CRS) que define a eficiência como a soma ponderada dos *outputs*, dividida pela soma ponderada dos *inputs*; e o Modelo de Programação Linear com Retornos Variáveis de Escala (BCC) (Banker, Charnes e Cooper), também conhecido como *Variable Returns to Scale* (VRS), considera situações de eficiência de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. A escolha entre os modelos influencia a profundidade e a precisão da análise de eficiência, adaptando-se às características específicas das unidades analisadas (Sales *et al.*, 2019).

Dessa forma, a aplicabilidade e eficácia da Análise Envoltória dos Dados em estudos se justifica pela sua capacidade de lidar com múltiplos *inputs* e *outputs* sem a necessidade de especificar uma forma funcional pré-determinada, como é necessário em métodos paramétricos. Isso permite maior flexibilidade e precisão na avaliação de unidades de tomada de decisão, especialmente em contextos em que as relações entre insumos e produtos são complexas e não lineares. A natureza não paramétrica da DEA também facilita a identificação de *benchmarks* eficientes, fornecendo um conjunto de referências práticas para unidades ineficientes (Cooper *et al.*, 2007).

Um estudo realizado por Zhu (2014), destaca a capacidade da DEA de realizar análises detalhadas de eficiência em diferentes contextos e setores. O autor ainda enfatiza que o DEA é amplamente aplicável em áreas como educação, saúde, finanças e manufatura, devido à sua adaptabilidade a diferentes conjuntos de dados e condições operacionais. Além disso, a DEA permite a incorporação de múltiplos critérios de avaliação, o que é essencial para uma análise abrangente e holística da eficiência. Essa adaptabilidade e abrangência tornam a DEA uma ferramenta valiosa não apenas para a avaliação de eficiência, mas também para a formulação de políticas e estratégias de melhoria contínua em diversas áreas.

Diante do preâmbulo, para analisar a eficiência dos prestadores de serviço de saneamento básico nos estados da região Nordeste do Brasil, a metodologia DEA é utilizada para construir uma fronteira de eficiência relativa entre os diferentes estados. A avaliação se baseia nos escores de eficiência dos serviços de saneamento básico prestados, considerando os insumos, como recursos públicos; e os produtos, como a qualidade do serviço de saneamento oferecido em cada estado. Essa análise permite identificar quais estados estão operando de forma eficiente e quais podem melhorar, utilizando as DMUs (unidades de tomada de decisão)

como referência.

A análise também considera o impacto da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) como um fator externo e condicionante político que pode influenciar mudanças técnicas e tecnológicas nos serviços prestados ao longo do tempo. A PNSB estabelece diretrizes e incentivos que visam a melhorar a eficiência dos serviços de saneamento básico, promovendo investimentos em infraestrutura e tecnologia. A partir desses incentivos, as agências prestadoras de serviço de saneamento básico nos estados do Nordeste podem alcançar melhorias significativas na eficiência de suas operações.

Por meio da aplicação da DEA, é possível avaliar o impacto da PNSB na produtividade total dos fatores empregados pelos prestadores de serviços de saneamento em toda a região Nordeste do Brasil. A análise mostra que a implementação de políticas públicas eficazes e direcionadas pode resultar em aumentos substanciais na eficiência e na qualidade dos serviços oferecidos. Assim, ao analisar todos os estados da região Nordeste, a pesquisa pode fornecer *insights* valiosos sobre as variações de eficiência entre os estados e identificar áreas que necessitam de maior atenção e investimento para alcançar melhores resultados em saneamento básico.

De acordo com Charnes *et al.* (1978), a fronteira de eficiência é formada pelas unidades de tomada de decisão (DMUs) que utilizam, de forma otimizada, os insumos para a geração de *outputs*, estabelecendo um padrão de excelência. Bunker *et al.* (1984) complementam que a eficiência relativa de cada DMU é calculada pela razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos, permitindo uma análise comparativa. Em um estudo mais recente, Liu *et al.* (2013) destacam que a avaliação da eficiência relativa é fundamental para identificar tanto unidades eficientes quanto ineficientes, promovendo a busca por melhores práticas operacionais e alocação de recursos.

Para o cálculo da eficiência, considera-se  $X$  a matriz dos *inputs*, em que  $x_{ij}$  é a quantidade do insumo  $i$  na DMU  $j$ ; e  $Y$ , a matriz dos *outputs*, em que  $y_{ij}$  é a quantidade do produto  $i$  na DMU  $j$ . A medida de eficiência para cada  $i$ -ésima DMU da amostra é dada pela razão entre todos os produtos e todos os insumos, de acordo com a Equação 1, a seguir:

$$DMU_i = \frac{\mu'y1_i + \mu'y2_i + \dots + \mu_my_{mi}}{V_1X_{1i} + V_2X_{2i} + \dots + V_kX_{ki}} \quad (1)$$

Em que:  $DMU_i$  é a eficiência da  $i$ -ésima DMU,  $\mu$  é um vetor ( $m \times 1$ ) de pesos nos produtos e  $V$  é um vetor ( $k \times 1$ ) de pesos nos insumos.

De acordo com a abordagem de retornos constantes de escala e eficiência voltada para o aumento do produto, utiliza-se uma equação específica para orientar a análise para o produto (Equação 2).

$$MAX\mu\nu (\mu'y_i) \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\begin{cases} \mu'y_j - \vartheta'x_j \leq 0, & j = 1, 2, \dots, n, \\ \vartheta x_i = 1 \\ \mu, \vartheta \geq 0 \end{cases}$$

Os escores de eficiência relativa para unidades de tomada de decisão (DMUs) são normalmente representados em uma escala de 0 a 1. A literatura corrobora que, na orientação ao produto, uma DMU recebe um escore de 1 quando é considerada eficiente, o que significa que ela está posicionada na fronteira de eficiência. Por outro lado, um escore inferior a 1 é atribuído a DMUs ineficientes, indicando que elas estão abaixo da fronteira de eficiência e possuem potencial para melhorias na utilização dos insumos ou na produção dos *outputs*.

Os escores de eficiência para o modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) são estimados utilizando o *software Data Envelopment Analysis Computer Program* (DEAP), versão 2.1.

### 2.3.3 A Técnica Jackstrap

A pesquisa utiliza a técnica *Jackstrap*, combinação das técnicas *Jackknife* e *Bootstrap* em conformidade à pesquisa de Cardoso (2023) que buscou identificar e remover os dados discrepantes, também chamados de *outliers*, a fim de garantir que os escores de eficiência sejam calculados de maneira robusta, reduzindo a influência de anomalias que possam comprometer a precisão dos resultados de análise.

A técnica *Jackknife* caracteriza-se como um método não paramétrico destinado a estimar o enviesamento e, portanto, reduzi-lo, e a variância de estimadores em condições teoricamente complexas ou em que não se tem confiança no modelo especificado. O método ainda permite eliminar o impacto que a exclusão de uma unidade de tomada de decisão (DMU)

tem sobre a eficiência das outras, garantindo que a análise permaneça estável e confiável.

Já a técnica *Bootstrap* consiste em um método de reamostragem, pois se baseia na construção de subamostras da amostra original, é empregue para calcular os valores de *leverage*, que indicam o grau de influência de cada DMU na análise de eficiência. Esses valores são derivados por meio de um processo de reamostragem estocástica, permitindo uma avaliação mais precisa das variações nas medidas de eficiência. Segundo Simar e Wilson (2000), o *leverage* pode ser entendido como o desvio-padrão das medidas de eficiência, calculado antes e depois da exclusão das observações, proporcionando uma análise mais robusta e confiável.

No decorrer deste estudo, os escores de eficiência foram inicialmente obtidos utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA). Esse passo preliminar foi essencial para estabelecer uma base sólida sobre a qual as análises subsequentes poderiam ser construídas, garantindo a consistência dos resultados ao longo das diferentes etapas do processo.

Posteriormente, para refinar os resultados, subconjuntos de valores *leverage* foram calculados a partir de um grupo aleatório de DMUs. Esse procedimento foi realizado em conformidade com a recomendação de Sousa e Stosic (2005), utilizando 10% das observações. Ao repetir essa etapa, foi possível acumular um subconjunto de informações *leverage* para todas as DMUs, permitindo uma análise mais detalhada e precisa da eficiência das unidades.

Por fim, para avaliar a influência média das unidades de tomada de decisão (DMUs) sobre a eficiência do modelo, calculou-se a média geral dos *leverages* pela Equação 3:

$$l_j = \sum_b^n y_j = \frac{l_j b}{n_j} \quad (3)$$

A identificação dos *outliers* é realizada utilizando a média geral dos *leverage* em conjunto com a média individual de cada DMU por meio da função Heaviside step recomendada por Sousa e Stosic (2005), os quais argumentam quanto a sua capacidade de reduzir a arbitrariedade na detecção dos *outliers* e no aumento da robustez dos dados analisados. A função Heaviside step, cuja representação é dada pela Equação 4, serve como um critério matemático para identificar desvios significativos em relação à média geral.

$$P(lx) = \{1, \text{ se } lk < l \log k, 0, \text{ se } lk < l \log. \} \quad (4)$$

Ainda de acordo com as recomendações dos autores mencionados acima, a função aplicada neste trabalho desprezou as DMUs que apresentaram *leverage* três vezes maior do que a média geral de todos os *leverages* da amostra. A técnica de Jackstrap foi executada pelo seu

pacote correspondente do Programa R.

### 2.3.4 Índice de Malmquist

Na avaliação da eficiência ao longo do tempo, o Índice de *Malmquist* destaca-se como um indicador amplamente utilizado em modelos DEA. Esse índice, inicialmente proposto por *Malmquist* (1953) e posteriormente expandido por outros estudiosos, como *Scazzieri et al.* (1995) e *Ferreira e Gomes* (2009), permite a análise das variações de eficiência em um sistema produtivo, comparando diferentes períodos temporais e capturando mudanças tecnológicas e de eficiência relativa.

O índice se caracteriza pela capacidade de medir a mudança, em termos de produtividade total dos fatores, entre diferentes períodos e decompor esse índice em eficiência técnica e mudança de tecnologia (Bezerra, 2015).

Além disso, o Índice de *Malmquist* tem sido aplicado em diversos contextos para entender a evolução da eficiência em setores específicos. *Ahn e Min* (2014) ressaltam a utilidade desse índice para identificar não apenas ganhos ou perdas de eficiência, mas também para decompor esses resultados em fatores, como progresso tecnológico e eficiência técnica. Essa decomposição proporciona uma visão detalhada das causas das variações de desempenho, sendo uma ferramenta valiosa para gestores e formuladores de políticas.

Conforme apontado por *Wilhelm* (2003), o Índice de *Malmquist* possui diversas características que o tornam particularmente vantajoso em análises de eficiência. Uma das principais vantagens é que ele não requer a definição prévia do comportamento da função, como a minimização de custos ou a maximização de receitas, o que é especialmente útil em contextos em que os objetivos dos produtores são variados ou não claramente estabelecidos. Além disso, o índice permite desmembrar as variações na produção em dois componentes principais: eficiência técnica e mudança tecnológica, oferecendo uma visão mais detalhada sobre a natureza das mudanças na produtividade ao longo do tempo.

Além das vantagens mencionadas, estudos como os de *Rosano-Peña et al.* (2012) destacam a importância de incluir uma dimensão temporal na análise. Isso possibilita a criação de um modelo dinâmico, que não apenas avalia a eficiência em um único momento, mas também explora a trajetória temporal das DMUs. Dessa forma, o Índice de *Malmquist* permite que se compreenda não apenas o desempenho atual, mas também a evolução e a direção das mudanças, fornecendo *insights* valiosos para ajustes estratégicos e decisões de longo prazo.

Neste estudo, o Índice de *Malmquist* foi adotado para medir as variações na Produtividade Total dos Fatores (PTF) no setor de saneamento básico. Como destacado por Ferreira e Gomes (2009), "o Índice de *Malmquist* é calculado através de funções de distância, aplicadas em contextos de múltiplos produtos e insumos, sem a necessidade de definir previamente os objetivos comportamentais dos agentes, como a minimização de custos ou maximização de lucros". Essa flexibilidade permite que o índice seja utilizado tanto na orientação ao insumo quanto na orientação ao produto, proporcionando uma análise abrangente das mudanças de produtividade ao longo do tempo.

Desse modo, com a função orientada ao produto para um período  $t$ , a tecnologia de produção pode ser caracterizada pelo conjunto de produção  $P(x)$  que concebe todo o vetor de produto dado por  $y_t$ , que é obtido por meio do emprego do vetor insumo  $x_t$  conforme Equação 5.

$$P(x) = \{y_t : x_t \text{ pode produzir } y_t\} \quad (5)$$

De acordo com Shepard (1970), a função distância orientada ao produto para o período  $t$ , referida como  $d_o^t(x_t, y_t)$ , é definida dentro do conjunto de produção  $P(x)$  conforme descrito na Equação 6.

$$d_o^t(x_t, y_t) = \inf \left\{ \left( \delta : \frac{y_t}{\delta} \right) \in P(x) \right\} \quad (6)$$

De acordo com Ray (2004), a função distância é caracterizada por ser não decrescente em relação ao vetor de produto  $y_t$ , crescente em relação ao vetor de insumo  $x_t$  e linearmente homogênea em  $y_t$ . Essa função é utilizada para medir a máxima expansão proporcional do vetor de produto  $y_t$ , dado um vetor de insumo, de forma que a combinação permaneça dentro do conjunto de produção  $P(x)$ . Além disso, o Índice de *Malmquist*, que avalia a variação da produtividade total entre dois períodos, é fundamentado nesses princípios, conforme discutido por Färe *et al.* (1994) e expresso na Equação 7.

$$m0(ys, xs, yt, xt) = \left[ \frac{ds0(yt, xt)}{ds0(ys, xs)} \times \frac{ds0(yt, xt)}{ds0(ys, xs)} \right]^{0,5} \quad (7)$$

Sendo assim, o Índice de *Malmquist*, ao assumir valores reais não negativos, permite quantificar a variação na Produtividade Total dos Fatores (PTF) entre os períodos analisados. Escores  $m_0$  inferiores a 1 indicam uma variação negativa na PTF, refletindo uma diminuição na produtividade, enquanto escores superiores a 1 sinalizam uma variação positiva, apontando para um aumento na produtividade. Após uma reorganização algébrica dos termos, a Equação 8 oferece uma alternativa para expressar essa relação de maneira mais clara e precisa.

$$m_0(ys, xs, yt, xt) = \frac{dt0(yt, xt)}{ds0(ys, xs)} [ds0(yt, xt)ds0(ys, xs) \times ds0(yt, xt)ds0(ys, xs)]^{0.5} \quad (8)$$

O Índice de *Malmquist* pode ser desmembrado em dois componentes principais conforme a Equação 8: o efeito emparelhamento, também conhecido como *catch-up effect*, e o efeito deslocamento da fronteira, ou *frontier-shift effect*. O efeito emparelhamento é representado pela razão das eficiências técnicas dos períodos em análise. Um valor superior a 1 indica que houve um aprimoramento na eficiência técnica ao longo do tempo, um valor igual a 1 sugere que a eficiência técnica permaneceu constante, enquanto um valor inferior a 1 indica uma redução na eficiência técnica entre os períodos.

O efeito deslocamento da fronteira, por sua vez, avalia o movimento das fronteiras de eficiência ao longo do tempo, medindo a distância entre as unidades de decisão e essas fronteiras em diferentes períodos. Um escore superior a 1 sugere que houve progresso tecnológico, indicando um avanço na fronteira de eficiência no período mais recente. Se o escore é igual a 1, isso indica que não houve mudança tecnológica entre os períodos analisados, enquanto um escore inferior a 1 aponta para um retrocesso tecnológico, indicando que a fronteira de eficiência se moveu para uma posição menos favorável.

Essa decomposição do Índice de *Malmquist* em seus dois componentes é fundamental para uma análise mais aprofundada da dinâmica da produtividade ao longo do tempo, permitindo identificar não apenas as variações na eficiência técnica, mas também as mudanças tecnológicas que influenciam a capacidade produtiva das unidades em estudo. Esse enfoque possibilita uma compreensão mais detalhada dos fatores que contribuem para a evolução ou regressão da produtividade em diferentes contextos.

Pesquisas indicam que o efeito emparelhamento, também conhecido como *catch-up effect*, avalia a variação na eficiência técnica das unidades produtivas ao longo do tempo. Esse efeito é essencial para entender como as unidades melhoram ou perdem eficiência em seus processos, mantendo a tecnologia constante. Estudos como os de Ray (2004) destacam que a

análise do efeito emparelhamento é crucial para identificar tendências de aprimoramento ou declínio na eficiência das unidades produtivas, permitindo que gestores tomem decisões mais informadas sobre a otimização dos processos.

Além disso, o efeito deslocamento da fronteira, ou *frontier-shift effect*, é analisado para entender os impactos das inovações tecnológicas na produtividade das unidades. Esse efeito mede o progresso ou retrocesso tecnológico, refletindo como as mudanças tecnológicas influenciam a capacidade produtiva das DMUs ao longo do tempo. De acordo com estudos de Färe *et al.* (1994), o efeito deslocamento é uma ferramenta valiosa para avaliar o impacto das inovações tecnológicas no desempenho produtivo, ajudando a diferenciar entre melhorias derivadas de uma maior eficiência técnica e aquelas resultantes de avanços tecnológicos.

### **2.3.5 Metodologia de seleção e tratamento de variáveis**

A base de dados utilizada na pesquisa para aplicação dos modelos de eficiência e produtividade no setor de saneamento básico frequentemente usa dados de natureza secundária, sendo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) uma das principais fontes de informação. O SNIS é amplamente reconhecido como a base de dados de referência para o setor de saneamento no Brasil, fornecendo um conjunto abrangente de indicadores que detalham a prestação de serviços de água, esgoto, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem urbana (Brasil, 2019; SNIS, 2021). Esses dados são cruciais para a análise de desempenho dos serviços e para a formulação de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura de saneamento nas diversas regiões do País, incluindo os estados do Nordeste.

No contexto dos estudos sobre saneamento básico, a utilização do SNIS permite uma análise detalhada e comparativa entre diferentes regiões do Brasil, possibilitando identificar padrões de eficiência e produtividade.

A base de dados do SNIS, atualizada anualmente, fornece informações que são essenciais para avaliar a qualidade e a abrangência dos serviços prestados, oferecendo subsídios para intervenções governamentais e investimentos em áreas críticas. Além disso, a aplicação desses dados em modelos econômétricos auxilia na determinação de variáveis que influenciam diretamente a eficiência dos serviços de saneamento, especialmente em regiões com desafios estruturais como o Nordeste brasileiro.

Ademais, a literatura especializada destaca que, ao utilizar os dados fornecidos pelo SNIS, os pesquisadores conseguem realizar análises mais precisas sobre as disparidades regionais na prestação de serviços de saneamento. No Nordeste, por exemplo, os indicadores

apontam para a necessidade de melhorias significativas, tanto na infraestrutura quanto na gestão dos serviços. Estudos como os de Cardoso (2023) enfatizam que a correta interpretação desses dados é fundamental para o desenvolvimento de estratégias que visem a aumentar a cobertura e a eficiência dos serviços de saneamento, promovendo, assim, o desenvolvimento socioeconômico das áreas mais carentes da região.

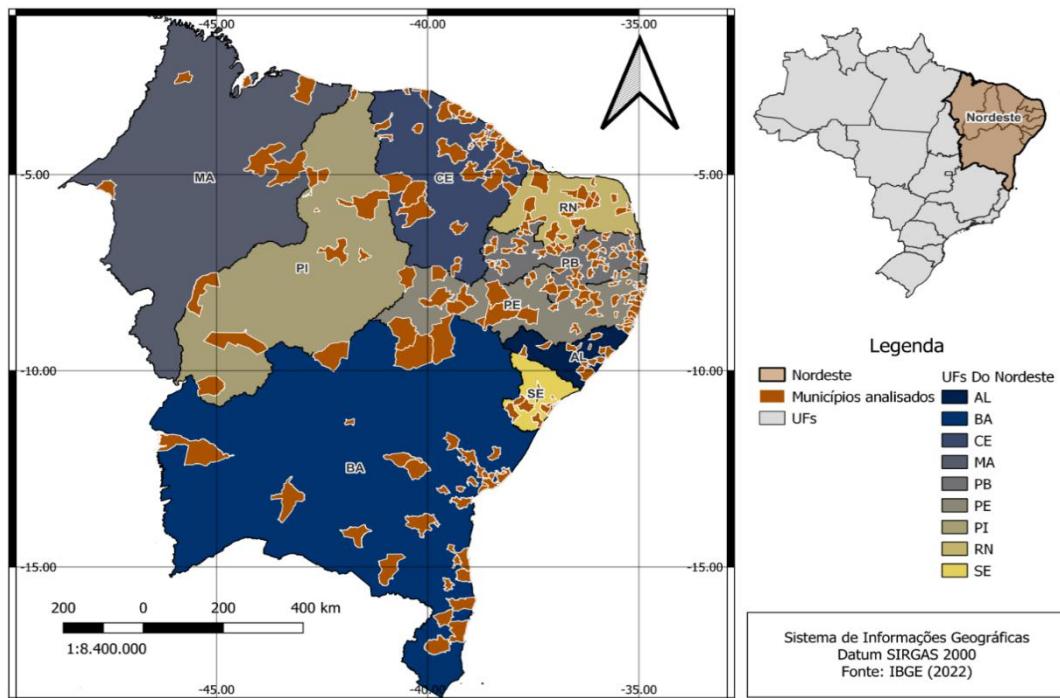
A região Nordeste do Brasil é composta por 1.794 municípios, dos quais 148 (8,25%) apresentaram informações completas para os indicadores analisados. Após a aplicação dos critérios metodológicos da abordagem *Jackstrap*, que assegura a consistência e robustez dos dados, a amostra final permaneceu com os 148 municípios, representando um recorte adequado para a análise de eficiência no setor de saneamento básico.

No estado de Alagoas, 12 municípios foram analisados, correspondendo a 11,76% do total de 102 municípios. Na Bahia, a amostra incluiu 23 municípios, representando 5,52% dos 417 municípios baianos. No Ceará, 33 municípios foram considerados, equivalendo a 17,93% dos 184 municípios cearenses. Para o Maranhão, a análise abrangeu 6 municípios, o que corresponde a 2,76% dos 217 municípios do estado.

Na Paraíba, foram incluídos 23 municípios, representando 10,31% dos 223 municípios do estado. Em Pernambuco, a amostra contemplou 25 municípios, correspondendo a 13,59% dos 184 municípios pernambucanos. No Piauí, 7 municípios foram selecionados, representando aproximadamente 3,13% dos 224 municípios piauienses. No Rio Grande do Norte, 11 dos 167 municípios foram incluídos, correspondendo a 6,59% do total, enquanto em Sergipe, a análise considerou 8 municípios, equivalendo a 10,67% dos 75 municípios do estado.

A distribuição espacial dos municípios selecionados para a análise é apresentada na Figura 1. A seleção deles foi baseada em critérios metodológicos rigorosos, considerando indicadores de eficiência relacionados ao saneamento básico e à infraestrutura de abastecimento de água e esgoto. A amostra abrange todos os estados do Nordeste, refletindo a diversidade das condições socioeconômicas e dos desafios enfrentados na gestão desses serviços.

Figura 1 – Localização dos municípios utilizados na pesquisa



Fonte: Autora (2024).

A seleção dos indicadores para a análise foi orientada por fontes teóricas (Cardoso, 2023; Silva *et al.*, 2017) e pela realidade operacional do setor de saneamento básico. Os *inputs* selecionados para a análise incluem: o custo total com os serviços por metro cúbico faturado (IN003), o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058) e o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN059).

O custo variável unitário, expresso em reais por metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>), é amplamente utilizado em estudos de eficiência no saneamento básico devido à sua capacidade de refletir o consumo de insumos essenciais, como mão de obra, produtos químicos e energia elétrica. Estudos como os de Zucatto *et al.* (2013), Liduares (2022), Hilorme *et al.*, (2018) e Correia *et al.* (2020) destacam a relevância desse indicador na análise da performance econômica dos sistemas de saneamento. Este indicador é fundamental para compreender a eficiência operacional, já que menores custos variáveis por metro cúbico indicam uma maior otimização dos recursos utilizados no processo de saneamento, sugerindo uma possível relação inversa entre eficiência técnica e custos operacionais (Coelli *et al.*, 2005; Färe *et al.*, 1994).

Neste estudo específico, os custos do setor foram representados pelo custo total com os serviços por metro cúbico faturado, que permite uma avaliação detalhada da relação entre eficiência e custos no contexto dos serviços de saneamento. Ao conjecturar essa relação dentro do próprio *input*, o estudo propõe que sistemas mais eficientes tendem a apresentar custos

variáveis menores, reforçando a ideia de que a otimização dos insumos pode resultar em maior eficiência técnica (Zhu, 2009; Bogetoft; Otto, 2011). Assim, a análise busca confirmar a hipótese de que a eficiência técnica do sistema de saneamento está inversamente relacionada ao custo variável, seguindo a linha de estudos anteriores que exploram essa relação.

A inclusão do consumo de energia elétrica como um insumo (*input*) na análise de eficiência dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário é fundamentada pela sua importância tanto na operação quanto na gestão financeira desses sistemas. Conforme evidenciado em relatórios do Brasil (2019), a energia elétrica é indispensável para o funcionamento adequado dos sistemas de saneamento, configurando-se como uma das maiores despesas operacionais.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) destaca que o Índice de Consumo de Energia Elétrica é uma métrica crucial para projeções de custos operacionais, pois reflete diretamente os gastos necessários para a manutenção e administração dos serviços. Portanto, a consideração desse indicador na análise de eficiência não apenas permite uma avaliação mais precisa dos custos envolvidos, mas também proporciona uma visão abrangente das implicações econômicas e ambientais decorrentes do uso da energia.

A relevância da energia elétrica na gestão de sistemas de saneamento se acentua quando se considera o contexto brasileiro, pois a matriz energética é predominantemente composta por fontes hidráulicas. Esse fator não apenas garante uma operação mais sustentável, mas também contribui para a mitigação das mudanças climáticas, um aspecto cada vez mais importante na avaliação da eficiência de serviços públicos. A análise técnica sugere que a eficiência dos sistemas de saneamento pode ser diretamente associada ao Índice de Consumo de Energia Elétrica: quanto menor o índice, maior a eficiência do sistema, dado que o consumo energético é um indicador crítico de desempenho operacional. Desse modo, a energia elétrica emerge como um insumo central na avaliação da eficiência técnica dos sistemas de saneamento, justificando sua inclusão como um dos principais fatores a serem analisados (Cavalcante, 2015).

Além dos *inputs*, a análise de eficiência considerou também *outputs* específicos para captar as principais características técnicas, operacionais e econômicas dos sistemas de saneamento. Entre os *outputs* selecionados estão o Índice de Atendimento Total de Água (IN055), que mede a cobertura de abastecimento de água; o Índice de Atendimento Total de Esgoto (IN056), o qual avalia a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário em relação aos municípios atendidos com água; e o Indicador de Desempenho Financeiro (IN012), que analisa a saúde financeira dos serviços prestados. Esses *outputs* foram escolhidos por sua capacidade de representar o grau de universalização dos serviços e o desempenho econômico do setor,

permitindo uma análise abrangente e equilibrada das diferentes dimensões da eficiência.

O período de análise compreendeu os anos de 2005-2006 e 2016-2017, o que permite observar a evolução dos sistemas de saneamento ao longo de um período significativo de mudanças político-institucionais, especialmente a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). A divisão temporal em subperíodos de 2005-2006 e 2016-2017 é relevante para identificar os impactos das políticas públicas sobre a eficiência dos serviços de saneamento. Esse enfoque permite não apenas uma análise detalhada do desempenho ao longo do tempo, mas também a identificação de tendências e padrões que podem ter influenciado a eficiência técnica dos sistemas, fornecendo *insights* valiosos para futuras políticas e intervenções no setor.

Os indicadores utilizados na análise foram organizados em duas categorias principais: *inputs* e *outputs*. Essa classificação é essencial para entender como os diferentes fatores influenciam a eficiência e o desempenho dos sistemas de saneamento. No Quadro 1, são apresentados esses indicadores de forma detalhada, incluindo suas denominações e definições específicas.

Quadro 1 – Parâmetros de Avaliação de Eficiência do Saneamento: *Inputs* e *Outputs* nos estados do Nordeste (*Continua*)

	<b>Indicador</b>	<b>Caracterização</b>
<i>Input</i>	Despesa total com os serviços porm <sup>3</sup> faturado (IN003)	É a razão entre o custo total (custos fixos e custos variáveis) com os serviços e o total de volume faturado de água e esgoto, expressa em reais por metro cúbico. (Valores reais)
<i>Input</i>	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058)	É o consumo total de energia elétrica em kWh, dividido pela soma do volume de água produzido e importado (ambos em m <sup>3</sup> ), expresso em kWh por metro cúbico.
<i>Input</i>	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN059)	É o consumo total de energia elétrica em kWh nos sistemas de esgotos, dividido pelo volume em m <sup>3</sup> de esgotos coletados, expresso em kWh por metro cúbico.
<i>Output</i>	Índice de atendimento total de água (IN055)	É a proporção da população atendida com os serviços de abastecimento de água, obtida pela razão entre a população total atendida com abastecimento de água e a população total do município em questão, expressa em termos percentuais.

Quadro 1 – Parâmetros de Avaliação de Eficiência do Saneamento: *Inputs* e *Outputs* nos estados do Nordeste (*Conclusão*)

	<b>Indicador</b>	<b>Caracterização</b>
<i>Output</i>	Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água (IN056)	É a proporção da população atendida com os serviços de esgotamento sanitário, obtida pela razão entre a população total atendida com esgotamento sanitário e a população total do município, expressa em termos percentuais.
<i>Output</i>	Indicador de desempenho financeiro (IN012)	É a razão entre o total das receitas brutas, ou seja, o montante recebido pela prestação de serviços (receita operacional de água, receita operacional de água exportada, receita operacional direta de esgoto e a receita operacional com esgoto bruto importa) e o total dos custos operacionais com os serviços, expressa em termos percentuais.

Fonte: Brasil (2019); SNIS (2023)

### **2.3.6 Análise descritiva das variáveis aplicadas ao modelo DEA**

A estatística descritiva dos indicadores de *inputs* e *outputs*, utilizados na análise de eficiência do saneamento básico em uma amostra de municípios dos estados da região Nordeste, é apresentada nas tabelas a seguir. Esses dados são fundamentais para a avaliação do desempenho e da eficiência dos sistemas de saneamento, oferecendo uma compreensão detalhada sobre a variabilidade dos padrões de consumo de recursos e a prestação de serviços, de acordo com a metodologia aplicada na pesquisa.

A Tabela 1 sintetiza a estatística descritiva dos indicadores referentes aos 15 municípios de Alagoas incluídos na análise de eficiência do saneamento básico. Esses dados fornecem uma base quantitativa para avaliar o desempenho dos sistemas de saneamento no estado, destacando as principais variáveis envolvidas no uso de recursos e na entrega de serviços.

Tabela 1 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Alagoas

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005-2006	R\$/m <sup>3</sup>	2,34	1,31	1,07	5,14
	2016-2017		3,89	3,27	0,97	11,62
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,41	0,31	0,04	1,02
	2016-2017		0,82	0,87	0,17	2,76
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,61	0,42	0,04	1,12
	2016-2017		0,48	0,58	0,03	1,72
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005-2006	%	81,49	25,32	43,23	113,69
	2016-2017		94,08	26,77	47,74	135,6
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005-2006	%	61,85	27,65	7,82	100
	2016-2017		81,08	11,75	59,93	99
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005-2006	%	32,14	21,48	1,25	59,84
	2016-2017		30,22	22,74	3,72	68,62

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência para o estado de Alagoas, no período de 2005-2006 comparado a 2016-2017, revela uma tendência de aumento significativo nos custos e no consumo de energia elétrica relacionados aos serviços de saneamento. O custo total por metro cúbico dos serviços (IN003) aumentou de uma média de R\$ 2,34/m<sup>3</sup> para R\$ 3,89/m<sup>3</sup>, representando uma variação de aproximadamente 66%.

O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058) também apresentou um crescimento considerável, passando de 0,41 kWh/m<sup>3</sup> para 0,82 kWh/m<sup>3</sup>, sugerindo um aumento na demanda energética. De maneira semelhante, o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN059) apresentou uma leve redução, de 0,61 kWh/m<sup>3</sup> para 0,48 kWh/m<sup>3</sup>, refletindo melhorias operacionais em termos de eficiência energética nesse sistema.

No entanto, ao observar os indicadores de desempenho financeiro e atendimento

aos serviços, há uma variação mista nos resultados. O indicador de desempenho financeiro (IN012) apresentou uma melhora, com a média subindo de 81,49% para 94,08%, indicando um incremento na capacidade de geração de receita em relação às despesas.

O índice de atendimento total de água (IN055) também mostrou um aumento significativo, passando de 61,85% para 81,08%, evidenciando melhorias na expansão do serviço de abastecimento de água. Em contrapartida, o índice de atendimento total de esgoto (IN056) apresentou uma leve redução, de 32,14% para 30,22%, sugerindo desafios na ampliação e manutenção dos serviços de esgotamento sanitário no estado durante o período analisado. Essas variações indicam que, embora tenha havido avanços em determinados aspectos, persistem desafios significativos, especialmente no atendimento ao esgotamento sanitário.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos indicadores de eficiência para os 36 municípios da Bahia incluídos na pesquisa de saneamento básico. Os dados fornecem uma análise detalhada dos custos, consumo de energia, índices de atendimento e desempenho financeiro dos sistemas de saneamento, permitindo uma avaliação comparativa da eficiência entre os municípios e a identificação de áreas para melhorias e intervenções estratégicas.

Tabela 2 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado da Bahia Nordeste

(Continua)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005-2006	R\$/m <sup>3</sup>	3,67	1,85	0,62	6,58
	2016-2017		4,66	1,80	1,49	8,78
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,83	0,82	0,09	3,83
	2016-2017		0,66	0,42	0,16	1,58
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,43	0,34	0,01	1,44
	2016-2017		0,53	0,34	0,01	1,15

Tabela 2 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado da Bahia (*Conclusão*)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005-2006	%	91,10	39,19	30,04	212,74
	2016-2017		94,43	38,13	45,43	228,35
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005-2006	%	85,85	17,44	49,16	100
	2016-2017		90,43	13,01	60,08	100
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005-2006	%	31,29	21,98	2,09	67,04
	2016-2017		51,22	22,72	7,61	86,61

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência para o estado da Bahia revela mudanças significativas entre os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. O custo total por metro cúbico dos serviços (IN003) aumentou de uma média de R\$ 3,67/m<sup>3</sup> para R\$ 4,66/m<sup>3</sup>, refletindo um crescimento nos custos operacionais do saneamento no estado. Em relação ao consumo de energia elétrica, o índice de consumo em sistemas de abastecimento de água (IN058) diminuiu, passando de 0,83 kWh/m<sup>3</sup> para 0,66 kWh/m<sup>3</sup>, indicando uma redução na demanda energética para esses sistemas. Já o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN059) apresentou um leve aumento, de 0,43 kWh/m<sup>3</sup> para 0,53 kWh/m<sup>3</sup>, sugerindo uma maior exigência energética na operação dos sistemas de esgoto.

Quanto aos indicadores de desempenho, o indicador financeiro (IN012) apresentou uma leve melhora, com a média subindo de 91,10% para 94,43%, sugerindo uma maior eficiência financeira do sistema ao longo do tempo. O índice de atendimento total de água (IN055) também registrou uma melhora, passando de 85,85% para 90,43%, o que reflete uma expansão no acesso ao serviço de abastecimento de água. Já o índice de atendimento total de esgoto (IN056) mostrou um aumento ainda mais significativo, subindo de 31,29% para 51,22%, indicando avanços importantes na cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, embora ainda haja desafios a serem superados.

A Tabela 3 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para 32 municípios analisados do estado do Ceará. Os dados abordam custos, consumo de energia, índices de atendimento e desempenho financeiro dos serviços de saneamento, permitindo uma avaliação comparativa e a identificação de oportunidades para otimização dos serviços.

Tabela 3 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Ceará

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005 -2006	R\$/m <sup>3</sup>	1,25	0,59	0,45	2,54
	2016 -2017		3,84	0,83	2,46	6,12
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,67	0,45	0,07	2,23
	2016-2017		0,71	0,35	0,08	1,45
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,79	1,07	0,02	3,59
	2016 -2017		0,47	0,53	0,05	3,04
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005 -2006	%	126,33	54,28	35,56	250,65
	2016 -2017		78,07	19,04	45,84	119,86
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005 -2006	%	48,13	22,43	11,21	100
	2016 -2017		46,35	17,56	14,56	84,39
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005 -2006	%	10,33	10,73	0,01	56,73
	2016 -2017		12,93	8,51	1,41	40,73

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência para o estado do Ceará revela um aumento expressivo nos custos dos serviços de saneamento ao longo do tempo. A despesa total por metro cúbico (IN003) aumentou de uma média de R\$ 1,25/m<sup>3</sup> no período de 2005-2006 para R\$ 3,84/m<sup>3</sup> em 2016-2017, evidenciando um crescimento significativo nos custos operacionais. O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN058) permaneceu relativamente estável, variando ligeiramente de 0,67 kWh/m<sup>3</sup> para 0,71 kWh/m<sup>3</sup>, sugerindo pouca alteração no consumo energético desses sistemas. Já o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN059) apresentou uma redução significativa, passando de 0,79 kWh/m<sup>3</sup> para 0,47 kWh/m<sup>3</sup>, o que pode indicar avanços na eficiência energética desses sistemas de esgotamento sanitário. Em relação aos *outputs*, o indicador de desempenho financeiro (IN012) caiu significativamente de 126,33% para 78,07%, o que pode sugerir uma redução na capacidade de geração de receita em comparação com as despesas operacionais ao longo do tempo. O índice de atendimento total de água (IN055) teve

uma ligeira queda, passando de 48,13% para 46,35%, indicando uma leve retração na cobertura dos serviços de abastecimento de água. Já o índice de atendimento total de esgoto (IN056) registrou um pequeno aumento, subindo de 10,33% para 12,93%, o que demonstra um progresso modesto na expansão da cobertura de esgotamento sanitário no estado. Esses dados revelam que, apesar de alguns avanços pontuais, os desafios em termos de eficiência financeira e ampliação da cobertura dos serviços de saneamento no Ceará ainda persistem.

A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva dos indicadores de eficiência para os 5 municípios do Maranhão, abrangendo métricas específicas sobre custos operacionais, consumo de energia e índices de cobertura dos serviços de saneamento. Essa análise permite uma avaliação precisa do desempenho dos sistemas de saneamento em um contexto regional específico, facilitando a identificação de variáveis críticas e a proposição de estratégias para a melhoria da eficiência e da qualidade dos serviços prestados.

Tabela 4 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Maranhão

(Continua)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005 -2006	R\$/m <sup>3</sup>	2,34	2,24	0,62	6,23
	2016 -2017		3,05	1,74	1,42	5,46
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,95	0,49	0,3	1,67
	2016-2017		0,48	0,21	0,26	0,76
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,45	0,41	0,04	1,06
	2016 -2017		0,32	0,54	0,07	0,64
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005 -2006	%	64,71	30,81	18,11	100
	2016 -2017		105,58	20,57	73,56	125,1
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005 -2006	%	67,16	32,28	32,98	100
	2016 -2017		60,61	29,69	28	86,38

Tabela 4 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Maranhão

(Conclusão)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005 -2006	%	24,03	23,77	3,77	51,27
	2016 -2017		25,24	24,73	5,49	55,61

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência para o estado do Maranhão entre os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 revela variações importantes nos custos e no consumo de energia no setor de saneamento. A despesa total por metro cúbico com os serviços (*input*) aumentou de R\$ 2,34/m<sup>3</sup> para R\$ 3,05/m<sup>3</sup>, indicando um crescimento nos custos operacionais ao longo do tempo. Por outro lado, o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (*input*) caiu significativamente, de 0,95 kWh/m<sup>3</sup> para 0,48 kWh/m<sup>3</sup>, sinalizando uma melhora substancial na eficiência energética desse segmento. O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (*input*) também apresentou uma leve queda, de 0,45 kWh/m<sup>3</sup> para 0,32 kWh/m<sup>3</sup>, reforçando a tendência de maior eficiência no uso de energia no tratamento de esgoto.

Em relação aos *outputs*, o desempenho financeiro do setor de saneamento no Maranhão apresentou uma melhora significativa, com o indicador de desempenho financeiro subindo de 64,71% para 105,58%, sugerindo uma gestão mais eficiente ou maior lucratividade. No entanto, o índice de atendimento total de água registrou uma redução de 67,16% para 60,61%; e o índice de atendimento total de esgoto também apresentou uma leve diminuição de 24,03% para 25,24%. Esses resultados indicam que, apesar da melhoria na eficiência financeira, houve uma redução na cobertura de serviços, especialmente no abastecimento de água, embora o esgotamento sanitário tenha mostrado um pequeno progresso.

Já a Tabela 5 fornece uma análise estatística dos indicadores de eficiência para os 22 municípios da amostra do estado da Paraíba. Os dados incluem informações detalhadas sobre custos, consumo de energia e índices de atendimento dos sistemas de saneamento, permitindo uma avaliação abrangente do desempenho dos serviços e a identificação de áreas para potencial otimização e melhoria na gestão dos recursos sanitários.

Tabela 5 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado da Paraíba

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005 -2006	R\$/m <sup>3</sup>	6,11	4,86	0,67	23,72
	2016 -2017		6,85	6,49	1,73	32,72
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,89	0,61	0,18	2,39
	2016-2017		1,65	1,47	0,02	5,39
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,32	0,31	0,01	0,97
	2016 -2017		0,5	0,68	0,01	2,75
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005 -2006	%	73,48	35,24	26,89	187,83
	2016 -2017		83,77	46,83	26,89	249,83
Índice de Atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005 -2006	%	67,18	22,03	21,78	100
	2016 -2017		67,87	20,12	36,23	99,54
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005 -2006	%	18,14	17,37	2,47	65,68
	2016 -2017		38,39	26,82	1,54	99,17

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência para o estado da Paraíba mostra que o custo total por metro cúbico dos serviços de saneamento (IN003) apresentou uma média de R\$ 6,11/m<sup>3</sup> entre 2005 e 2006, com um desvio padrão de 4,86, evidenciando grande variação nos custos entre os municípios. No período de 2016 a 2017, a média aumentou para R\$ 6,85/m<sup>3</sup>, com um desvio padrão de 6,49, o que indica uma dispersão significativa dos custos ao longo do tempo. O valor máximo registrado foi de R\$ 32,72/m<sup>3</sup>, sugerindo que, em alguns municípios, os custos operacionais foram particularmente elevados. Esses dados sugerem variações regionais ou ineficiências operacionais no fornecimento dos serviços de água e esgoto, refletindo desafios financeiros no setor de saneamento da Paraíba. Quanto ao consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN58) e esgotamento sanitário (IN59) na Paraíba, os dados indicam um aumento expressivo no uso de energia ao longo do período

analisado. Nos sistemas de abastecimento de água, o consumo médio subiu de 0,89 kWh/m<sup>3</sup>, entre 2005 e 2006, para 1,65 kWh/m<sup>3</sup> no período de 2016 a 2017, representando um aumento significativo. Nos sistemas de esgotamento sanitário, o consumo de energia também apresentou um acréscimo notável, com a média passando de 0,32 kWh/m<sup>3</sup> para 0,50 kWh/m<sup>3</sup>. Esses números apontam para uma possível ineficiência energética crescente nos sistemas de saneamento, sugerindo a necessidade de políticas focadas na melhoria da eficiência energética no setor.

A Tabela 6 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para a amostra de 24 municípios de Pernambuco. Ela abrange custos operacionais, consumo de energia e índices de cobertura dos serviços de saneamento, oferecendo uma visão detalhada do desempenho dos sistemas de saneamento e facilitando a identificação de oportunidades para melhorias e ajustes na gestão dos serviços.

Tabela 6 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Pernambuco

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005 -2006	R\$/m <sup>3</sup>	2,99	2,19	0,95	8,46
	2016 -2017		4,21	2,75	1,48	11,66
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	1,25	1,99	0,08	8,96
	2016-2017		1,62	2,14	0,09	10,55
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,23	0,36	0,01	1,71
	2016 -2017		0,40	0,69	0,01	3,36
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005 -2006	%	74,21	39,05	20,04	174,57
	2016 -2017		106,60	42,74	35,67	199,22
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005 -2006	%	72,46	18,25	35,06	100
	2016 -2017		86,60	15,69	49,39	100
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005 -2006	%	28,66	24,76	1,12	82,47
	2016 -2017		37,53	28,33	1,54	99,19

Fonte: SNIS (2023).

Na análise dos indicadores de eficiência para o estado de Pernambuco, algumas tendências revelaram-se relevantes ao longo dos períodos de 2005-2006 e 2016-2017. O custo total por metro cúbico com os serviços (IN003) apresentou um aumento considerável, passando de uma média de R\$ 2,99/m<sup>3</sup>, no primeiro período, para R\$ 4,21/m<sup>3</sup>, no segundo período, com um desvio padrão relativamente alto em ambos os intervalos (2,19 e 2,75, respectivamente), indicando variações substanciais entre os municípios. Esses números sugerem uma elevação dos custos operacionais ao longo do tempo, possivelmente relacionada a fatores, como expansão da rede ou aumento de despesas com insumos, como energia elétrica.

No que se refere ao consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (IN58) e esgotamento sanitário (IN59), houve um aumento significativo ao longo dos anos. Para o abastecimento de água, o consumo médio subiu de 1,25 kWh/m<sup>3</sup>, no período de 2005-2006, para 1,62 kWh/m<sup>3</sup> em 2016-2017, enquanto o consumo em sistemas de esgotamento sanitário aumentou de 0,23 kWh/m<sup>3</sup> para 0,40 kWh/m<sup>3</sup> nos mesmos períodos. Esse aumento no consumo de energia pode indicar desafios crescentes relacionados à eficiência operacional das infraestruturas de saneamento no estado, como a expansão da rede e a modernização dos sistemas.

O indicador de desempenho financeiro (IN012) também apresentou uma melhoria expressiva, passando de uma média de 74,21% no período inicial para 106,60% no período posterior. Esse crescimento sugere que as operações financeiras relacionadas aos serviços de água e esgoto em Pernambuco tornaram-se mais sustentáveis e eficientes ao longo do tempo, com uma melhor gestão dos recursos financeiros.

Por fim, os índices de atendimento total de água (IN055) e esgoto (IN56) também demonstraram progresso. O índice de atendimento total de água aumentou de 72,46% para 86,60%, enquanto o índice de atendimento de esgoto cresceu de 28,66% para 37,53%. Esses números refletem avanços na cobertura dos serviços de saneamento básico no estado, embora ainda existam disparidades consideráveis, especialmente no atendimento de esgoto, que continua aquém da universalização.

A Tabela 7 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para a amostra de 6 municípios do estado do Piauí. Nessa tabela, são avaliados os custos operacionais, o consumo de energia elétrica e os índices de cobertura de água e esgoto nos serviços de saneamento. A análise permite uma compreensão detalhada do desempenho dos sistemas de abastecimento e tratamento de esgoto nesses municípios, fornecendo subsídios importantes para a identificação de áreas que demandam melhorias operacionais e ajustes na gestão, visando a aumentar a eficiência e a qualidade dos serviços prestados.

Tabela 7 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Piauí

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005 -2006	R\$/m <sup>3</sup>	1,61	0,53	2,31	0,75
	2016 -2017		3,66	0,66	4,51	2,91
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,54	0,16	0,74	0,26
	2016-2017		0,70	0,25	1,17	0,44
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005 -2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,21	0,27	0,76	0,02
	2016 -2017		0,28	0,35	0,98	0,05
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005 -2006	%	110,35	51,38	209,97	64,15
	2016 -2017		88,63	18,57	115,48	68,46
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005 -2006	%	63,52	20,19	91,25	43,87
	2016 -2017		78,57	17,18	98,93	57,56
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005 -2006	%	26,24	37,15	100	3,56
	2016 -2017		31,89	19,86	53,65	5,49

Fonte: SNIS (2023).

A análise dos indicadores de eficiência dos sistemas de saneamento básico no estado do Piauí, com base em dados de 2005-2006 e 2016-2017, houve uma evolução significativa nos custos operacionais e consumo de energia, além de variações nos índices de cobertura de serviços. O custo total por metro cúbico com os serviços (IN003) aumentou de R\$ 1,61/m<sup>3</sup>, no período de 2005-2006, para R\$ 3,66/m<sup>3</sup> em 2016-2017, refletindo um aumento considerável nos custos operacionais ao longo do tempo. O consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (IN58) também subiu de 0,54 kWh/m<sup>3</sup> para 0,70 kWh/m<sup>3</sup>, enquanto o consumo nos sistemas de esgotamento sanitário (IN59) variou de 0,21 kWh/m<sup>3</sup> para 0,28 kWh/m<sup>3</sup>, sugerindo desafios contínuos na gestão energética do setor. Essas variações indicam a necessidade de melhorias nas infraestruturas e maior eficiência no uso de recursos energéticos. Em termos de cobertura de serviços, o índice de atendimento total de água (IN055) melhorou, passando de 67,77% para 79,72%, o que representa um avanço na universalização do abastecimento de água. No entanto, o índice de atendimento total de esgoto (IN56) apresentou uma leve queda, passando de 31,46% para 27,08%, destacando as dificuldades na

expansão dos serviços de esgotamento sanitário. Esses resultados sugerem a necessidade de estratégias para melhorar a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira dos serviços, garantindo a ampliação e melhoria contínua no atendimento à população.

Já a Tabela 8 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para a amostra de 10 municípios do estado do Rio Grande do Norte. A tabela avalia os custos operacionais, consumo de energia elétrica e os índices de cobertura de água e esgoto, oferecendo uma visão abrangente sobre o desempenho dos sistemas de saneamento nesses municípios. A análise proporciona subsídios fundamentais para a identificação de ineficiências operacionais e oportunidades de melhoria na gestão dos serviços, destacando áreas que necessitam de intervenções para otimizar o uso de recursos e expandir a cobertura dos serviços de saneamento no estado.

Tabela 8 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado do Rio Grande do Norte

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005-2006	R\$/m <sup>3</sup>	2,84	0,93	3,99	1,27
	2016-2017		4,01	0,51	4,67	3,27
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	1,84	2,01	7,01	0,34
	2016- 2017		1,50	1,11	4,27	0,42
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,35	0,66	2,17	0,01
	2016 -2017		0,65	0,93	2,73	0,03
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005-2006	%	71,46	11,09	90,47	53,72
	2016-2017		88,87	13,74	114,95	71,76
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005-2006	%	78,63	18,49	94,65	44,67
	2016-2017		76,81	16,89	100	46,84
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005-2006	%	32,67	28,19	76,34	0,12
	2016-2017		30,75	21,94	66,64	3,05

Fonte: SNIS (2023).

A Tabela 8, referente ao estado do Rio Grande do Norte, apresenta uma análise dos indicadores de eficiência para 10 municípios, revelando um aumento nos custos operacionais por metro cúbico (IN003), que subiram de R\$ 2,84, no período de 2005-2006, para R\$ 4,01 em 2016-2017, indicando um crescimento nas despesas para a prestação dos serviços de saneamento. O consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água (IN58) também apresentou variações significativas, passando de 1,84 kWh/m<sup>3</sup> para 1,50 kWh/m<sup>3</sup> no período posterior, embora com maior dispersão nos valores. Nos sistemas de esgotamento sanitário (IN59), o consumo de energia subiu de 0,35 kWh/m<sup>3</sup> para 0,65 kWh/m<sup>3</sup>, reforçando a necessidade de melhorias na eficiência energética. Os sugerem que há espaço para aprimorar a gestão dos recursos e a eficiência operacional dos sistemas de saneamento no estado.

Os indicadores de desempenho financeiro (IN012) mostram uma evolução positiva, passando de 71,46% para 88,87%, o que sugere uma melhora na sustentabilidade financeira dos serviços de saneamento ao longo do tempo. Contudo, os índices de atendimento total de água (IN055) e esgoto (IN56) revelam desafios persistentes na cobertura dos serviços. O índice de atendimento de água, embora tenha se mantido relativamente estável, caiu ligeiramente de 78,63% para 76,81%, enquanto o índice de esgoto, que já era baixo, diminuiu de 32,67% para 30,75%, evidenciando a dificuldade em expandir os serviços de esgotamento sanitário. Esses dados sugerem que, apesar de alguns avanços, é fundamental intensificar os esforços para ampliar a cobertura e melhorar a eficiência dos serviços de saneamento no estado.

Por fim, a Tabela 9 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para a amostra de 7 municípios do estado de Sergipe. Essa tabela avalia detalhadamente os custos operacionais por metro cúbico, o consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além dos índices de cobertura dos serviços de água e esgoto. A análise desses dados fornece uma visão crítica sobre o desempenho dos sistemas de saneamento nos municípios sergipanos, identificando tanto os desafios enfrentados quanto as oportunidades para otimização da gestão e ampliação da cobertura desses serviços essenciais no estado.

Tabela 9 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Sergipe

(Continua)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Custo total por metro cúbico com os serviços ( <i>input</i> ) – IN003	2005-2006	R\$/m <sup>3</sup>	1,85	0,64	1,27	2,9
	2016-2017		4,11	0,99	2,36	5,83

Tabela 9 – Análise estatística dos indicadores de eficiência para o estado de Sergipe

(Conclusão)

Indicadores	Período	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água ( <i>input</i> ) – IN58	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	1,21	0,65	0,39	3,2
	2016-2017		1,28	0,92	0,38	4,07
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário ( <i>input</i> ) – IN59	2005-2006	kWh/m <sup>3</sup>	0,16	0,08	0,004	0,29
	2016-2017		0,625	0,78	0,03	2,00
Indicador de desempenho financeiro ( <i>output</i> ) – IN012	2005-2006	%	108,1	35,52	47,49	167,81
	2016-2017		100,6	22,69	67,72	142,48
Índice de atendimento total de água ( <i>output</i> ) – IN055	2005-2006	%	73,97	15,63	54,32	98,37
	2016-2017		85,42	12,45	65,21	99,6
Índice de atendimento total de esgoto ( <i>output</i> ) – IN56	2005-2006	%	18,36	13,01	33,71	3,64
	2016-2017		44,81	33,64	6,08	100,02

Fonte: SNIS (2023).

Conforme sinalizado, a Tabela 9 apresenta a análise dos indicadores de eficiência para os 7 municípios de Sergipe incluídos na amostra. O custo total por metro cúbico de serviços (IN003) aumentou significativamente de R\$ 1,85/m<sup>3</sup>, no período de 2005-2006, para R\$ 4,11/m<sup>3</sup> em 2016-2017, sugerindo um crescimento nas despesas operacionais e de insumos ao longo dos anos. O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (IN58) manteve-se praticamente estável, variando de 1,21 kWh/m<sup>3</sup> para 1,28 kWh/m<sup>3</sup> entre os períodos, o que indica uma leve elevação no consumo energético. No entanto, o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (IN59) registrou um aumento mais acentuado de 0,16 kWh/m<sup>3</sup> para 0,625 kWh/m<sup>3</sup>, apontando a necessidade de investimentos e ações voltadas à melhoria da eficiência energética nesses sistemas de esgotamento sanitário.

O indicador de desempenho financeiro (IN012) revelou uma leve diminuição (6,87%) na eficiência financeira dos serviços prestados, com uma redução da média de 108,11% no período de 2005-2006 para 100,68% no período de 2016-2017, o que ainda indica um bom desempenho geral. O índice de atendimento total de água (IN055) apresentou uma melhora

considerável, passando de 73,97% para 85,42%, evidenciando a ampliação da cobertura de água nos municípios analisados. Já o índice de atendimento total de esgoto (IN56) também registrou um avanço significativo, subindo de 18,36% para 44,81% no mesmo intervalo, embora ainda exista uma disparidade notável na cobertura de esgotamento sanitário em relação ao abastecimento de água. Esses resultados indicam áreas de progresso, mas também destacam desafios contínuos no aprimoramento dos sistemas de saneamento em Sergipe.

A análise conjunta dos indicadores de eficiência dos estados de Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte revela um padrão de variação considerável nos custos e na eficiência dos serviços de saneamento antes e depois da implementação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNBS). Em termos de *inputs*, o custo total dos serviços aumentou significativamente em todos os estados analisados. No estado de Pernambuco, por exemplo, houve um aumento de 40,8%, com o custo passando de R\$2,99/m<sup>3</sup> (2005-2006) para R\$4,21/m<sup>3</sup> (2016-2017). O Piauí registrou um aumento ainda mais expressivo de 127,3%, indo de R\$1,61/m<sup>3</sup> para R\$3,66/m<sup>3</sup>; enquanto, no Rio Grande do Norte, o custo subiu 41,2%, de R\$2,84/m<sup>3</sup> para R\$4,01/m<sup>3</sup>. Esses aumentos refletem as pressões econômicas e operacionais enfrentadas para manter e expandir os serviços de saneamento. O índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água variou de forma menos acentuada. Em Pernambuco, o consumo subiu de 1,25 kWh/m<sup>3</sup> para 1,62 kWh/m<sup>3</sup>, representando um aumento de 29,6%. Já no Piauí, esse indicador também teve aumento, passando de 0,54 kWh/m<sup>3</sup> para 0,70 kWh/m<sup>3</sup> (29,6%). No Rio Grande do Norte, no entanto, observou-se uma redução no consumo de energia, caindo de 1,84 kWh/m<sup>3</sup> para 1,50 kWh/m<sup>3</sup>, o que representa uma diminuição de 18,5%, sugerindo melhorias na eficiência energética no estado.

Em relação ao índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário, as variações foram mais acentuadas. Pernambuco registrou um aumento de 73,9%, com o índice subindo de 0,23 kWh/m<sup>3</sup> para 0,40 kWh/m<sup>3</sup>. O Piauí, por sua vez, teve um aumento de 33,3%, de 0,21 kWh/m<sup>3</sup> para 0,28 kWh/m<sup>3</sup>. No Rio Grande do Norte, esse indicador aumentou consideravelmente, de 0,35 kWh/m<sup>3</sup> para 0,65 kWh/m<sup>3</sup>, um aumento de 85,7%, o que reflete o impacto da expansão dos sistemas de esgotamento e possíveis ineficiências energéticas nesses processos.

No que tange aos *outputs*, o indicador de desempenho financeiro teve comportamento variado. Em Pernambuco, ele aumentou 43,7%, de 74,21% para 106,60%, enquanto no Piauí ocorreu uma redução significativa de 19,7%, caindo de 110,35% para 88,63%, refletindo a pressão de custos sobre as receitas. O Rio Grande do Norte registrou uma

melhora de 24,4%, de 71,46% para 88,87%, sugerindo que, nesse estado, as receitas conseguiram acompanhar o aumento dos custos.

O índice de atendimento total de água também variou positivamente em todos os estados analisados. Pernambuco apresentou um aumento de 19,5%, com o índice subindo de 72,46% para 86,60%. No Piauí, o aumento foi de 23,7%, de 63,52% para 78,57%, enquanto o Rio Grande do Norte registrou uma ligeira queda de 2,3%, de 78,63% para 76,81%.

Por fim, o índice de atendimento total de esgoto aumentou em todos os estados. Em Pernambuco, houve um crescimento de 30,9%, passando de 28,66% para 37,53%. No Piauí, o aumento foi mais modesto, de 21,5%, ou seja, de 26,24% para 31,89%, enquanto no Rio Grande do Norte houve uma redução de 5,9%, de 32,67% para 30,75%.

Essas variações nos indicadores revelam que o aumento nos custos operacionais foi uma tendência comum, enquanto os ganhos de eficiência energética e expansão dos serviços de esgotamento foram mais variáveis. Em termos de desempenho financeiro, o desafio de alinhar o crescimento das receitas com os custos operacionais permanece evidente, especialmente no Piauí. Em resumo, a análise destaca a necessidade de políticas que melhorem a eficiência operacional e a sustentabilidade financeira dos serviços de saneamento nos estados estudados.

## 2.4 Resultados e discussão

Nesta seção, são apresentados os resultados do estudo, abrangendo a análise de eficiência do setor de saneamento em todos os estados do Nordeste. A análise considera os indicadores de desempenho financeiro e cobertura dos serviços de água e esgoto, avaliando as mudanças nos custos operacionais e no consumo de energia elétrica. Além disso, são discutidas as variações na produtividade total dos fatores por meio do Índice de *Malmquist*, permitindo uma compreensão detalhada das transformações ocorridas no setor de saneamento na região após a implementação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNBS).

### 2.4.1 Eficiência dos Fatores Operacionais

A Tabela 10 apresenta os coeficientes de eficiência das DMUs em municípios amostrais de Alagoas para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Observa-se que a média dos escores de eficiência aumentou de 0,40 no período de 2005-2006 para 0,54 no período de 2016-2017, indicando uma melhora de aproximadamente 35% na eficiência dos municípios analisados ao longo do tempo.

No período de 2005-2006, três municípios (Cajueiro, São Miguel dos Campos e Teotônio Vilela) alcançaram o escore 1, posicionando-se na fronteira de eficiência, o que representa 25% da amostra. No período subsequente, apenas um município, Teotônio Vilela, manteve o escore 1, enquanto os demais apresentaram quedas ou aumentos variados em seus escores de eficiência. Vale destacar o caso de Campo Alegre, cujo escore aumentou significativamente de 0,25 para 0,98, aproximando-se da fronteira de eficiência.

Por outro lado, municípios como Maceió e Santana do Ipanema apresentaram quedas acentuadas em seus escores de eficiência. Maceió passou de 0,43 para 0,22, enquanto Santana do Ipanema apresentou um declínio ainda mais expressivo, de 0,28 para 0,08, indicando um distanciamento considerável da fronteira de eficiência no segundo período analisado. Esses dados sugerem que, embora alguns municípios tenham melhorado sua eficiência, outros enfrentaram desafios que impactaram negativamente sua performance no setor de saneamento básico.

Tabela 10 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Alagoas

Municípios	Escore de Eficiência	
	2005-2006*	2016-2017**
Cajueiro	1	0,57
Campo Alegre	0,25	0,98
Marechal Deodoro	0,81	0,67
Palmeira dos Índios	0,25	0,23
Paulo Jacinto	0,32	0,52
Rio Largo	0,18	0,18
Santana do Ipanema	0,28	0,08
São Miguel dos Campos	1	0,59
Teotônio Vilela	1	1
União dos Palmares	0,98	0,36
<b>MÉDIA</b>	<b>0,61</b>	<b>0,52</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 11 apresenta os coeficientes de eficiência das DMUs em municípios

amostrais da Bahia para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Observa-se uma queda geral nos escores de eficiência, com a média passando de 0,56, no primeiro período, para 0,45, no segundo, representando um declínio de aproximadamente 19,6%. Esse resultado indica uma redução na eficiência geral dos municípios baianos analisados no setor de saneamento ao longo do tempo.

No período de 2005-2006, cinco municípios (Candeias, Eunápolis, Itabuna, Jequié e Juazeiro) alcançaram o escore máximo de 1, demonstrando que estavam na fronteira de eficiência. No entanto, durante o período de 2016-2017, apenas Itabuna e Juazeiro mantiveram o escore máximo, enquanto os demais municípios, os quais antes estavam na fronteira, experimentaram quedas notáveis. Por exemplo, Candeias reduziu seu escore de 1 para 0,88; e Eunápolis apresentou uma queda acentuada de 1 para 0,27, evidenciando um declínio significativo na eficiência técnica. Além disso, municípios como Feira de Santana, o qual apresentava um escore relativamente alto de 0,92 no primeiro período, viu seu escore cair drasticamente para 0,34 no segundo período. Outro destaque é Porto Seguro, que passou de 0,70 para 0,29, evidenciando uma queda considerável na eficiência. Em contraste, alguns municípios apresentaram melhorias nos escores de eficiência ao longo do tempo. Vitória da Conquista aumentou de 0,25 para 0,51; e Santo Amaro subiu de 0,17 para 0,44, mostrando uma recuperação no desempenho. Esse comportamento heterogêneo reflete as diferentes respostas dos municípios à implementação de políticas e investimentos no setor de saneamento, sugerindo que, embora alguns tenham mantido ou melhorado sua eficiência, a maioria apresentou declínios, indicando a necessidade de estratégias mais eficazes para melhorar a eficiência dos serviços em todo o estado.

Tabela 11 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais da Bahia (*Continua*)

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2016-2017*	2016-2017**
Barreiras	0,50	0,48	Lauro de Freitas	0,62	0,43
Belmonte	0,32	0,24	Madre de Deus	0,19	0,39
Bom Jesus da Lapa	0,87	0,97	Maragogipe	0,22	0,26

Tabela 11 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais da Bahia (*Conclusão*)

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2016-2017*	2016-2017**
Camaçari	0,41	0,34	Porto Seguro	0,70	0,29
Candeias	1	0,88	Santo Amaro	0,17	0,44
Dias d Ávila	0,46	0,25	São Francisco do Conde	0,11	0,39
Eunápolis	1	0,27	Una	0,18	0,26
Feira de Santana	0,92	0,34	Vera Cruz	1	0,34
Ilhéus	0,22	0,29	Vitória da Conquista	0,25	0,51
Itabuna	1	1			
Itaparica	0,09	0,19	MÉDIA	0,56	0,45
Jequié	1	0,43			
Juazeiro	1	1			

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006.

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 12 apresenta os coeficientes de eficiência das DMUs para os municípios amostrais do Ceará nos períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Nota-se uma queda significativa na média geral de eficiência, que passou de 0,56, no primeiro período, para 0,33, no segundo, representando um declínio de aproximadamente 41%. Esse resultado evidencia que a eficiência dos serviços de saneamento nos municípios cearenses analisados diminuiu consideravelmente ao longo do tempo.

No período de 2005-2006, cinco municípios (Acarapé, Forquilha, Maranguape, Pacatuba e Tauá) atingiram o escore máximo de 1, indicando que estavam na fronteira de eficiência. Contudo, no período de 2016-2017, apenas Pacatuba manteve o escore 1, enquanto os demais municípios experimentaram reduções consideráveis. Acarapé, por exemplo, teve seu escore reduzido de 1 para 0,81, e Forquilha apresentou um declínio acentuado, caindo de 1 para 0,26. Essas quedas expressivas sugerem uma deterioração na eficiência técnica dos serviços de

saneamento ao longo do tempo, possivelmente devido a desafios na gestão e execução de políticas públicas no setor.

Além disso, municípios como Maranguape, que também registrava um escore de 1 no período inicial, viu sua eficiência cair para 0,45 no segundo período. Outros municípios, como Iguatu e Horizonte, sofreram quedas substanciais, passando de 0,77 para 0,39 e de 0,43 para 0,25, respectivamente. Por outro lado, Guaiúba apresentou um desempenho relativamente estável, com uma leve queda de 0,73 para 0,58, destacando-se entre os municípios que conseguiram manter níveis mais elevados de eficiência.

Pacatuba, que manteve o escore 1 em ambos os períodos, sobressai-se pela consistência em eficiência, enquanto outras localidades, como Tauá, apresentaram quedas substanciais, caindo de 1 para 0,35. Esse comportamento desigual entre os municípios revela a necessidade de intervenções mais eficazes para melhorar a eficiência dos serviços de saneamento no estado do Ceará, com foco na superação dos obstáculos técnicos e de gestão que contribuíram para as reduções observadas.

Tabela 12 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Ceará (*Continua*)

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2005-2006*	2016-2017**
Acarapé	1	0,81	Maranguape	1	0,45
Acaraú	0,51	0,29	Mulungu	0,50	0,18
Aquiraz	0,32	0,22	Pacatuba	1	1
Aracati	0,49	0,21	Palmácia	0,44	0,16
Barbalha	0,47	0,32	Paracuru	0,72	0,35
Beberibe	0,33	0,19	Paraipaba	0,45	0,30
Cascavel	0,55	0,28	Quixadá	0,29	0,17
Crateús	0,49	0,43	Redenção	0,27	0,31
Forquilha	1	0,26	Russas	0,26	0,22
			São Benedito	0,69	0,24

Tabela 12 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Ceará (*Conclusão*)

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2005-2006*	2016-2017**
Guaiúba	0,73	0,58	São Gonçalo do Amarante	0,27	0,35
Guaramiranga	0,48	0,23	Tabuleiro do Norte	0,81	0,26
Horizonte	0,43	0,25	Tauá	1	0,35
Iguatu	0,77	0,39	Tianguá	0,40	0,20
Independência	0,71	0,22	Trairi	0,54	0,32
Itapipoca	0,30	0,27			
Jijoca de Jericoacoara	0,27	0,36			
Juazeiro do Norte	0,41	0,30	MÉDIA	0,56	0,33

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 13 demonstra os coeficientes de eficiência técnica das DMUs (Unidades de Decisão) nos municípios amostrais do Maranhão durante os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Observa-se uma evolução positiva na média dos escores de eficiência, que aumentou de 0,49, no primeiro período, para 0,60, no segundo, resultando em um crescimento de aproximadamente 22,4%. Esse incremento, embora discreto, sugere que os serviços de saneamento nos municípios maranhenses experimentaram uma melhoria moderada na eficiência operacional ao longo do tempo. Tal progresso pode ser atribuído a fatores como a melhor gestão dos recursos, investimentos em infraestrutura ou a implementação de novas práticas administrativas. Contudo, a magnitude dessa melhoria ainda indica que há um potencial significativo para avanços mais expressivos na eficiência técnica dos serviços prestados.

Barreirinhas, por exemplo, demonstrou um avanço significativo, com seu coeficiente de eficiência subindo de 0,30 no período de 2005-2006 para 0,42 no intervalo de

2016-2017, indicando uma evolução na capacidade de gestão dos serviços de saneamento. Em contrapartida, o município de Codó registrou uma queda, com seu escore de eficiência diminuindo de 0,89 para 0,73, ainda que, mesmo com essa redução, continue entre os municípios de maior eficiência relativa no segundo período analisado.

Um destaque importante é Santa Luzia do Paruá, que apresentou uma melhoria expressiva, passando de um escore de 0,19 para 1,0. Esse resultado aponta para uma maximização da eficiência técnica, sugerindo que o município alcançou um nível ótimo de desempenho. Tal evolução pode estar associada à implementação de políticas públicas ou investimentos significativos em infraestrutura e gestão dos serviços de saneamento.

Por outro lado, Caxias e Imperatriz apresentaram declínios em seus escores de eficiência, com Caxias caindo de 0,53 para 0,42 e Imperatriz de 0,56 para 0,44. Esses resultados podem estar associados a fatores como dificuldades operacionais, aumento na demanda ou deficiências na implementação de inovações tecnológicas nos sistemas de saneamento.

Em síntese, embora tenha havido melhorias em alguns municípios, como o caso notável de Santa Luzia do Paruá, a análise dos dados revela que a média de eficiência, embora superior no segundo período (0,60), ainda indica a existência de margens consideráveis para o aprimoramento da eficiência técnica dos serviços de saneamento nos municípios maranhenses. Isso sugere a necessidade de políticas mais robustas e intervenções direcionadas para alcançar patamares mais elevados de eficiência operacional.

Tabela 13 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Maranhão

Municípios	Escore de Eficiência	
	2005-2006*	2016-2017**
Barreirinhas	0,30	0,42
Caxias	0,53	0,42
Codó	0,89	0,73
Santa Luzia do Paruá	0,19	1
Imperatriz	0,56	0,44
MÉDIA	0,49	0,60

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 14 apresenta os coeficientes de eficiência dos municípios amostrais da Paraíba nos períodos de 2005-2006 e 2016-2017, com a exclusão do município de João Pessoa. A média geral de eficiência dos municípios paraibanos registrou uma melhora, passando de 0,31, no primeiro período, para 0,36, no segundo, indicando um aumento na eficiência dos serviços de saneamento ao longo do tempo. Esse avanço, embora modesto, sugere que os municípios da Paraíba têm feito progressos na gestão dos serviços de saneamento, embora ainda existam desafios a serem enfrentados.

Municípios, como Campina Grande, mantiveram uma classificação de eficiência máxima (1) em ambos os períodos, destacando-se por operar consistentemente na fronteira de eficiência, maximizando o uso de recursos no setor de saneamento. Outro destaque é o município de Prata, o qual apresentou um aumento expressivo na eficiência técnica, passando de uma pontuação de 0,13 em 2005-2006 para 1 no período de 2016-2017, o que indica melhorias substanciais na gestão dos serviços de saneamento.

Entretanto, vários municípios tiveram quedas nas suas pontuações de eficiência. Alagoa Grande, por exemplo, passou de 0,32 para 0,23, e Lagoa Seca de 0,35 para 0,12, evidenciando desafios operacionais e a possível falta de inovações tecnológicas nesses locais. Esses resultados apontam a necessidade de esforços contínuos para melhorar a eficiência técnica, principalmente em municípios que estão enfrentando dificuldades.

Por outro lado, alguns municípios, como Monteiro e Itaporanga, apresentaram progresso moderado, com Monteiro subindo de 0,46 para 0,54 e Itaporanga de 0,43 para 0,71, indicando que, embora ainda não tenham atingido a fronteira de eficiência, estão caminhando em direção a um uso mais eficaz dos recursos de saneamento.

Em resumo, esses resultados refletem a necessidade de intervenções contínuas e investimentos em infraestrutura e gestão para elevar a eficiência dos serviços de saneamento na Paraíba, especialmente em municípios que enfrentam declínio ou estagnação em suas pontuações de eficiência. A média geral de 0,36 no segundo período, embora superior à do período anterior, revela que ainda há espaço significativo para melhorias nos serviços de saneamento no estado.

Tabela 14 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais da Paraíba

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2005-2006*	2016-2017**
Alagoa Grande	0,32	0,23			
Araruna	0,18	0,13	Lagoa Seca	0,35	0,12
Cabedelo	1	0,73	Mamanguape	0,20	0,26
Cacimba de Dentro	0,09	0,08	Monteiro	0,46	0,54
Cajazeiras	0,54	0,32	Patos	0,20	0,28
Cajazeirinhas	0,07	0,24			
Campina Grande	1	1	Prata	0,13	1
Caraúbas	0,07	0,25	Queimadas	0,31	0,23
Catolé do Rocha	0,12	0,27	São João do Cariri	0,25	0,33
Coxixola	0,08	0,13	São José dos Cordeiros	0,30	1
Guarabira	0,61	0,35	Sapé	0,21	0,25
Itaporanga	0,43	0,71	Várzea	0,56	0,11
			MÉDIA	0,31	0,36

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A análise dos coeficientes de eficiência dos municípios amostrais de Pernambuco, conforme apresentada na Tabela 15, revela variações significativas nos níveis de eficiência técnica entre os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. Observa-se um incremento moderado na média de eficiência, que passou de 0,55 para 0,61, sinalizando uma melhoria no desempenho dos municípios em termos de otimização de recursos para a prestação dos serviços de saneamento ao longo do período analisado.

Municípios como Araripina, Arcoverde, Cabrobó, Igarassu, Petrolina, Caruaru e Tamandaré atingiram o escore de eficiência máxima (1,00) no período de 2016-2017, evidenciando um desempenho técnico ideal na alocação e utilização dos insumos disponíveis.

Esses resultados podem ser atribuídos a avanços na gestão pública, implementação de tecnologias de ponta e investimentos estratégicos direcionados ao setor, promovendo uma operação mais eficiente e efetiva dos serviços de saneamento.

Em contrapartida, municípios como Ipojuca e Rio Formoso registraram uma deterioração expressiva em seus escores de eficiência. Ipojuca apresentou uma queda de 0,39 para 0,13, enquanto Rio Formoso reduziu seu escore de 1,00 para 0,14. Esses dados sugerem a existência de deficiências na gestão de recursos, ausência de modernização tecnológica ou barreiras operacionais que impactaram negativamente a capacidade desses municípios de manter níveis adequados de eficiência.

Adicionalmente, alguns municípios, como Nazaré da Mata, Garanhuns e Gravatá, apresentaram aumentos consideráveis em seus índices de eficiência. Nazaré da Mata registrou uma evolução de 0,27 para 0,50, Garanhuns de 0,38 para 0,70, e Gravatá de 0,26 para 0,51, sugerindo melhorias nas práticas de gestão e na eficiência do uso dos recursos disponíveis. Esses avanços indicam um impacto positivo das intervenções implementadas nessas cidades.

Em contrapartida, municípios como Paulista e Salgueiro, apesar de apresentarem quedas em seus escores de eficiência – Paulista reduziu de 1,00 para 0,77, e Salgueiro de 0,71 para 0,60 –, ainda mantêm níveis relativamente elevados de eficiência técnica. No entanto, essa redução destaca a necessidade de ajustes na gestão e operação para evitar o agravamento da queda e promover a otimização contínua dos serviços.

De maneira geral, os resultados apresentados na Tabela 15 evidenciam uma heterogeneidade no desempenho dos municípios de Pernambuco em relação à eficiência técnica dos serviços de saneamento. Enquanto alguns municípios demonstraram progressos substanciais, outros enfrentaram dificuldades para manter ou melhorar seus níveis de eficiência ao longo do tempo. Esses achados ressaltam a importância de uma abordagem contínua e estratégica em políticas públicas, modernização da infraestrutura e aprimoramento da gestão para assegurar um aumento sustentável na eficiência dos serviços.

Tabela 15 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Pernambuco

Municípios	Escore de Eficiência		Municípios	Escore de Eficiência*	
	2005-2006*	2016-2017**		2005-2006*	2016-2017**
Afogados da Ingazeira	0,56	0,42	Nazaré da Mata	0,27	0,50
Araripina	0,27	1	Olinda	0,68	0,60
Arcórdope	0,28	1	Paulista	1	0,77
Barreiros	1	0,59	Petrolina	1	0,99
Cabo de Santo Agostinho	0,77	0,67	Rio Formoso	1	0,14
Cabrobó	0,06	1	Salgueiro	0,71	0,60
Caruaru	1	1	São Lourenço da Mata	0,58	0,26
Fernando de Noronha	0,13	0,20	Serra Talhada	0,57	1
Garanhuns	0,38	0,70	Sirinhaém	0,23	0,22
Gravatá	0,26	0,51	Tamandaré	1	1
Igarassu	0,28	1	Vitória de Santo Antão	1	0,47
Ipojuca	0,39	0,13			
Jaboatão dos Guararapes	0,41	0,43			
			MÉDIA	0,55	0,61

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\* a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 16, que apresenta os coeficientes de eficiência dos municípios amostrais do Piauí para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017, mostra uma leve redução na média de eficiência, passando de 0,53, no período inicial, para 0,39 no período mais recente. Esse declínio de aproximadamente 26,4% indica uma deterioração geral na eficiência operacional dos serviços de saneamento dos municípios piauienses ao longo do tempo.

O município de Oeiras, que apresentou um escore de eficiência máxima (1,00) no período de 2005-2006, sofreu uma queda significativa em seu desempenho, atingindo um valor de 0,33 no período de 2016-2017. Essa perda substancial de eficiência pode estar relacionada a desafios operacionais ou à falta de investimentos em infraestrutura e gestão, refletindo a

necessidade de intervenções mais direcionadas para a recuperação do desempenho.

Picos e Ribeiro Gonçalves, por outro lado, mostraram uma tendência de melhora em seus escores de eficiência. Picos passou de 0,35, no primeiro período, para 0,51, no segundo, enquanto Ribeiro Gonçalves, embora tenha tido uma leve redução em seu escore, manteve um desempenho relativamente elevado, com uma queda de 0,70 para 0,59. Esses resultados indicam que esses municípios conseguiram, em alguma medida, otimizar seus processos de saneamento, melhorando a utilização de seus recursos. Contrariamente, Corrente e Altos mostraram um desempenho negativo ao longo do tempo, com os escores de eficiência decrescendo de 0,39 para 0,28 em Corrente, e de 0,38 para 0,31 em Altos. Esses municípios necessitam de uma análise mais detalhada para identificar os fatores que contribuíram para essa perda de eficiência e desenvolver soluções adequadas para revertê-la.

De maneira geral, a análise dos resultados aponta para uma performance heterogênea entre os municípios piauienses, com alguns conseguindo melhorar sua eficiência, enquanto outros enfrentaram uma queda no desempenho. O declínio na média geral de eficiência sugere a necessidade de uma abordagem mais estratégica e focada na melhoria dos processos operacionais e no aumento dos investimentos em infraestrutura e tecnologia para o setor de saneamento no Piauí.

Tabela 16 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Piauí

Municípios	Escore de Eficiência	
	2005-2006*	2016-2017**
Altos	0,38	0,31
Corrente	0,39	0,28
Oeiras	1	0,33
Parnaíba	0,37	0,37
Picos	0,35	0,51
Ribeiro Gonçalves	0,70	0,59
MÉDIA	0,53	0,39

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 17 apresenta os coeficientes de eficiência dos municípios amostrais do Rio Grande do Norte nos períodos de 2005-2006 e 2016-2017, refletindo uma variação nos

escores de eficiência ao longo do tempo. A análise revela uma leve redução na média de eficiência, que passou de 0,49 no período inicial para 0,31 no período mais recente. Essa diminuição de 36,7% indica uma queda expressiva na eficiência operacional dos serviços de saneamento nos municípios do estado.

Alguns municípios demonstraram variações significativas em seus escores de eficiência. Caiçara do Rio do Vento e Currais Novos, que obtiveram escores de eficiência máxima (1,00) no período de 2005-2006, apresentaram uma queda substancial para 0,23 e 0,34, respectivamente, no período de 2016-2017. Essas quedas expressivas podem ser atribuídas a dificuldades na continuidade dos avanços obtidos no primeiro período, além de possíveis desafios operacionais e de gestão no setor de saneamento.

Em contrapartida, o município de Pedro Velho apresentou uma melhora significativa no período analisado, com o escore de eficiência subindo de 0,21 para 0,40, o que reflete uma otimização dos processos de saneamento e uma melhora na gestão dos recursos disponíveis. Por outro lado, Macaíba e Lajes mostraram uma performance mais estável, com pequenas variações nos escores (0,18 para 0,20 em Macaíba; e 0,30 para 0,18 em Lajes), sugerindo que esses municípios mantiveram um nível de eficiência relativamente constante, mas sem grandes progressos ao longo do tempo.

Outro destaque é o município de Parnamirim, que apresentou um aumento de eficiência, com seu escore subindo de 0,35 para 0,45, indicando que houve melhorias no desempenho operacional do setor de saneamento nesse município. No entanto, outros municípios, como Afonso Bezerra e Pedro Avelino, experimentaram uma redução em seus escores de eficiência, com Afonso Bezerra caindo de 0,48 para 0,34 e Pedro Avelino de 0,49 para 0,33, sugerindo a necessidade de atenção especial para mitigar essa perda de eficiência.

De modo geral, a análise dos escores médios de eficiência reflete uma heterogeneidade no desempenho dos municípios amostrais do Rio Grande do Norte. Enquanto alguns conseguiram otimizar seus processos e melhorar a eficiência de seus serviços de saneamento, outros enfrentaram dificuldades para manter os níveis de eficiência observados no período anterior. Essas variações ressaltam a necessidade de intervenções específicas e planejadas para abordar as questões operacionais e de gestão que afetam negativamente a eficiência no setor de saneamento.

Tabela 17 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais do Rio Grande do Norte

Municípios	Escore de Eficiência	
	2005-2006*	2016-2017**
Afonso Bezerra	0,48	0,34
Caiçara do Rio do Vento	1	0,23
Caicó	0,65	0,40
Currais Novos	1	0,34
Lajes	0,30	0,18
Macaíba	0,18	0,20
Mossoró	0,25	0,28
Parnamirim	0,35	0,45
Pedro Avelino	0,49	0,33
Pedro Velho	0,21	0,40
<b>MÉDIA</b>	<b>0,49</b>	<b>0,31</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A Tabela 18 apresenta os coeficientes de eficiência dos municípios amostrais de Sergipe para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. A análise dos dados revela uma estabilidade na eficiência média ao longo do período, com a média permanecendo constante em 0,35. Isso sugere que, em termos gerais, não houve uma variação significativa na eficiência do setor de saneamento em Sergipe durante o intervalo analisado.

Moita Bonita e Rosário do Catete são destacados por sua melhoria notável. Ambos os municípios apresentaram escore de eficiência igual a 1 em 2016-2017, indicando que atingiram a fronteira de eficiência nesse período. Para Moita Bonita, que já tinha escore de 1 em 2005-2006, isso confirma a manutenção de uma eficiência ideal. Rosário do Catete também conseguiu um aumento significativo, subindo de 0,40 para 1, o que reflete um progresso substancial na eficiência do saneamento. Por outro lado, Nossa Senhora do Socorro e Simão Dias mostraram um declínio nos escores de eficiência, com as pontuações caindo de 0,24 para 0,20 e de 0,33 para 0,20 respectivamente. Esse declínio pode ser indicativo de desafios enfrentados por esses municípios em melhorar ou manter a eficiência no gerenciamento de recursos e serviços de saneamento.

Municípios como Aracajú e Barra dos Coqueiros apresentaram uma leve melhora nos seus escores, mas os valores permaneceram abaixo do ideal, refletindo uma eficiência relativamente baixa. Estância e São Cristóvão também mostraram algum progresso, com Estância aumentando de 0,57 para 0,63 e São Cristóvão subindo de 0,22 para 0,37, embora ambos não tenham alcançado a fronteira de eficiência.

No geral, a tabela destaca variações na eficiência entre os municípios, com algumas melhorias e algumas quedas, enquanto a média estadual permanece constante. Essa estabilidade sugere que, enquanto alguns municípios conseguiram otimizar suas operações, outros enfrentaram desafios que impactaram negativamente seus desempenhos em termos de eficiência no setor de saneamento.

Tabela 18 – Coeficientes de eficiência das DMUs para os períodos de 2005-2006 e 2016-2017 em municípios amostrais de Sergipe

Municípios	Escore de Eficiência	
	2005-2006*	2016-2017**
Barra dos Coqueiros	0,37	0,32
Estância	0,57	0,63
Moita Bonita	1	1
Nossa Senhora do Socorro	0,24	0,20
Rosário do Catete	0,40	1
São Cristóvão	0,22	0,37
Simão Dias	0,33	0,20
MÉDIA	0,45	0,53

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Nota: \*a média de um município, no período 2005-2006, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2005 e 2006;

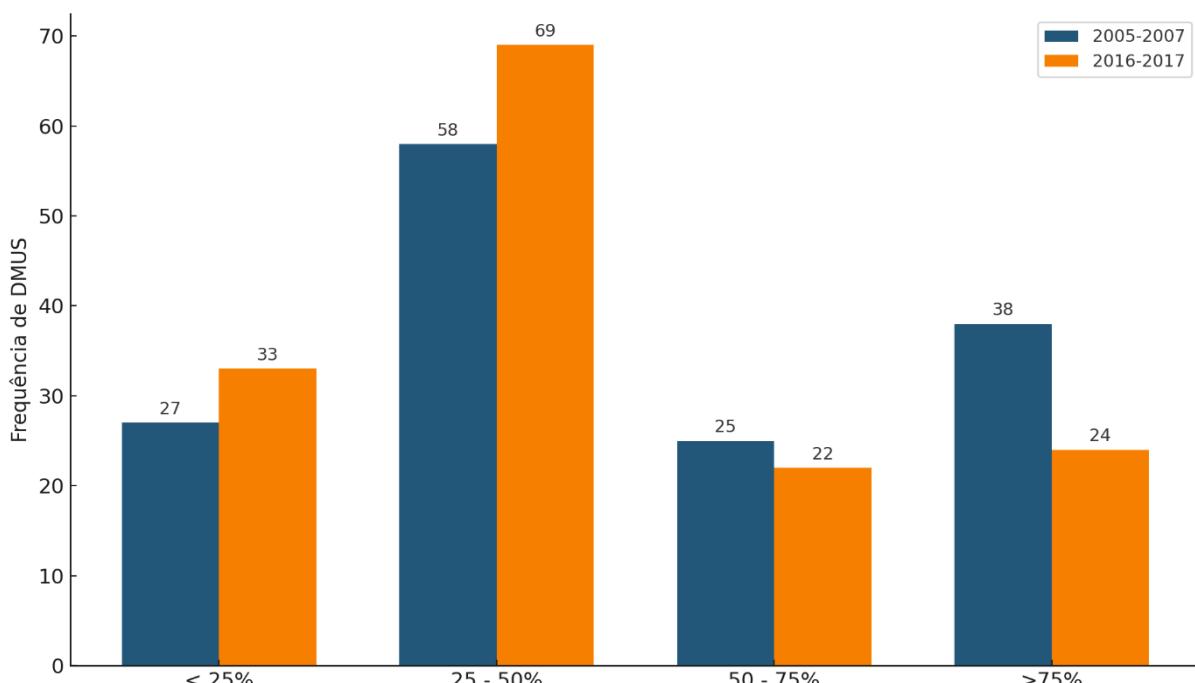
\*\*a média dos escores de um município, no período 2016-2017, é obtida pela média aritmética do escore calculado para os anos 2016 e 2017.

A partir do Gráfico 1, observam-se as distribuições de frequências. Antes da implementação da PNSB, havia a presença de 27 DMUs com eficiência entre 0% e 25% (18,24% do total de municípios estudados), considerados os municípios de menores eficiências; 58 DMUs com eficiência entre 25% e 50% (39,19% do total de municípios estudados); 25 DMUs com eficiência entre 50% e 75% (16,89% do total de municípios estudados); e 28 DMUs com eficiência acima de 75% (25,67% do total de municípios estudados), sendo 27 DMUs com

eficiência máxima (19,57% do total de municípios estudados), a saber: Cajueiro (AL), São Miguel dos Campos (AL), Teotônio Vilela (AL), Candeias (BA), Eunápolis (BA), Itabuna (BA), Jequié (BA), Juazeiro (BA), Vera Cruz (BA), Acarapé (CE), Forquilha (CE), Maranguape (CE), Pacatuba (CE), Tauá (CE), Cabedelo (PB), Campina Grande (PB), Barreiros (PE), Caruaru (PE), Paulista (PE), Petrolina (PE), Rio Formoso (PE), Tamandaré (PE), Vitória de Santo Antão (PE), Oeiras (PI), Caiçara do Rio do Vento (RN), Currais Novos (RN), Moita Bonita (SE).

Para o período de 2016-2017, período que compreende as eficiências após a implementação da PNSB, pode-se verificar, no Gráfico 1, 33 DMUs com eficiência < 25%, (22,29% do total de municípios estudados), sendo esses os municípios de menores eficiências; 59 DMUs com eficiência entre 25% e 50% (42,75% do total de municípios estudados); 22 DMUs com eficiência entre 50% e 75% (14,86% do total de municípios estudados); e 24 DMUs com eficiência acima de 75% (16,22% do total de municípios estudados), destes, 17 DMUs (12,32% do total de municípios estudados) apresentaram eficiência máxima, sendo: Teotônio Vilela (AL), Itabuna (BA), Juazeiro (BA), Pacatuba (CE), Santa Luzia do Paruá (MA), Campina Grande (PB), Prata (PB), São José dos Cordeiros (PB), Araripina (PE), Arcoverde (PE), Cabrobó (PE), Caruaru (PE), Igarassu (PE), Serra Talhada (PE), Tamandaré (PE), Moita Bonita (SE), Rosário do Catete (SE).

Gráfico 1 – Histograma da distribuição dos escores dos períodos analisados



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 19 apresenta as estatísticas descritivas dos períodos analisados, considerando a média, desvio padrão e a frequência da quantidade de DMUs. No período de 2005-2006, a média de eficiência foi de 34,50%, com desvio padrão de 15,72%. Já no período de 2016-2017, a média manteve-se em 34,50%, mas o desvio padrão aumentou para 17,02%, indicando uma maior variação na eficiência dos municípios após a implementação da PNSB em 2007.

Observou-se uma evolução nas DMUs de menor desempenho, com a faixa de 0 a 25% passando de 27 municípios (19,57% do total de municípios estudados) em 2005-2006 para 33 municípios (23,91%) em 2016-2017. Nas DMUs com eficiência entre 25 e 50%, o número de municípios também aumentou de 58 (42,03%) para 59 (42,75%) após a implementação da PNSB, sugerindo uma melhoria na abrangência dos serviços de água e esgoto em algumas localidades.

Por outro lado, as DMUs com desempenho entre 50% e 75% e 75% a 100% apresentaram uma queda. A faixa de 50 a 75% passou de 25 municípios (18,12%) para 22 (15,94%), e a faixa de 75% a 100% caiu de 28 municípios (20,29%) para 24 (17,39%). Além disso, houve uma diminuição no número de municípios 100% eficientes (escore igual a 1), passando de 27 para 17, o que representa um decréscimo significativo de 10 municípios no período após a implementação da PNSB.

Esses dados indicam que, enquanto algumas cidades melhoraram sua eficiência, especialmente na faixa de menor desempenho, outras enfrentaram desafios para manter ou aumentar sua eficiência nos serviços de saneamento.

Tabela 19 – Estatísticas descritivas dos períodos analisados, no que se refere à média, desvio padrão e frequência da quantidade de DMUs

	2005-2006	2016-2017
Média	34,50%	34,50%
Desvio Padrão	15,72%	17,02%
0-25%	27	33
25-50%	58	59
50-75%	25	22
75-100%	28	24
Total	138	138
Eficientes	27	17

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise dos coeficientes de eficiência dos municípios do Nordeste, nos períodos de 2005-2006 e 2016-2017, revela um cenário complexo em relação à eficiência dos serviços de saneamento. Inicialmente, observou-se uma estabilização na média de eficiência em 34,50% em ambos os períodos. Esse dado aponta para uma estagnação no desempenho médio, mesmo após a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) em 2007. O mais preocupante, entretanto, foi o aumento do desvio padrão, de 15,72% para 17,02%, o que indica uma maior dispersão nos níveis de eficiência entre os municípios ao longo do tempo.

O crescimento do desvio padrão sugere que os avanços na eficiência não ocorreram de maneira uniforme. De fato, a quantidade de municípios com eficiência na faixa de 0% a 25% aumentou de 27 para 33, o que representa 23,91% do total de municípios no período mais recente, em contraste com 19,57% no período anterior. Esse aumento sugere que um número considerável de municípios não conseguiu avançar em direção à fronteira de eficiência, o que pode ser reflexo de disparidades regionais ou dificuldades de adaptação às novas políticas implementadas pela PNSB.

Por outro lado, os municípios que estavam nas faixas de eficiência mais elevadas enfrentaram declínios notáveis. Na faixa de eficiência entre 50% e 75%, a quantidade de municípios diminuiu de 25 para 22, enquanto na faixa de 75% a 100%, o número caiu de 28 para 24. Esses resultados indicam que, embora alguns municípios tenham melhorado sua eficiência, houve uma redução significativa naqueles que conseguiram manter um nível elevado de eficiência. Esse comportamento pode estar associado a dificuldades de gestão ou limitações na expansão de serviços de saneamento básico, que exigem maior capacidade técnica e financeira.

Adicionalmente, a queda no número de municípios considerados plenamente eficientes (escore igual a 1) é ainda mais expressiva, passando de 27 para 17 entre os períodos analisados. Isso representa uma redução de 10 municípios capazes de otimizar completamente o uso de seus recursos. Tal declínio sugere uma possível falta de continuidade em políticas de capacitação e investimentos necessários para garantir a sustentabilidade da eficiência no longo prazo. Assim, enquanto a PNSB trouxe avanços em certos aspectos, o aumento da desigualdade entre os municípios na eficiência operacional é um desafio que precisa ser endereçado para garantir que o saneamento básico seja entregue de forma equitativa e eficaz em toda a região Nordeste.

Esses resultados corroboram as conclusões de outros trabalhos que analisaram a eficiência do saneamento no Brasil. Leite *et al.* (2022) também verificaram que a implementação da PNSB não garantiu melhorias consistentes de eficiência em municípios

cearenses, algo que parece se repetir em outras regiões do Nordeste. Além disso, Sato (2011), ao aplicar a metodologia DEA no setor de saneamento, já apontava para a dificuldade de se obter uma melhoria contínua e homogênea na eficiência dos municípios brasileiros.

Estudos regionais, como o de Borja (2014), indicam que os municípios do Nordeste enfrentam desafios estruturais, como a baixa capacidade técnica e financeira, que podem limitar os ganhos de eficiência, mesmo com políticas federais em vigor. Esses resultados também encontram eco na análise de Silva e Souza (2018), os quais apontam que o aumento da cobertura dos serviços de saneamento nem sempre vem acompanhado de uma melhoria correspondente na eficiência operacional, especialmente em regiões com maior vulnerabilidade econômica e social.

Portanto, embora a PNSB tenha promovido avanços na cobertura dos serviços de água e esgoto, a eficiência na gestão desses serviços ainda apresenta grandes variações entre os municípios nordestinos, evidenciando que desafios estruturais e regionais precisam ser considerados para garantir a melhoria contínua dos serviços de saneamento.

#### ***2.4.2 Avaliação das variações na eficiência produtiva dos municípios***

A análise dos dados para o período de 2005-2006 e 2016-2017, como ilustrado na Tabela 20, indica uma tendência predominante de declínio na produtividade dos municípios nordestinos no setor de saneamento. Segundo o Índice de *Malmquist*, que mensura as variações na produtividade total ao longo do tempo, observa-se que uma proporção substancial dos municípios, especificamente 80,43% em 2005-2006 e 87,68% em 2016-2017, exibiu índices menores que 1, apontando para uma redução significativa na produtividade. Esses dados sugerem que a maior parte dos municípios enfrentou desafios para melhorar ou mesmo sustentar seus níveis de eficiência, apesar das possíveis reformas e iniciativas de gestão implementadas durante o período.

No que se refere ao Efeito Emparelhamento, que avalia as mudanças na eficiência técnica, os resultados são consistentes com os índices do *Malmquist*. Em ambos os períodos analisados, os mesmos percentuais do Índice de *Malmquist* aplicam-se, demonstrando que houve uma manutenção na proporção de municípios que reduziram ou mantiveram sua eficiência técnica, refletindo a persistente dificuldade em otimizar recursos e operações na gestão dos serviços de saneamento.

Em relação ao Efeito Deslocamento, o qual mede as mudanças tecnológicas, os resultados apontam um cenário desafiador. Entre 2005-2006, houve um decréscimo de 6,85%

nos municípios capazes de incorporar inovações tecnológicas, enquanto, em 2016-2017, observou-se um aumento de 6,85% na mesma medida. Esse padrão oscilante sugere dificuldades na incorporação consistente de avanços tecnológicos que poderiam promover ganhos de produtividade no setor.

Essas análises destacam que, durante o período analisado, a maioria dos municípios nordestinos encontrou obstáculos significativos tanto para melhorar a eficiência operacional quanto para adotar inovações tecnológicas. A limitada adoção de novas tecnologias e o declínio na eficiência técnica podem refletir as restrições na gestão pública, alocação de recursos, ademais, as condições estruturais e institucionais prevalecentes no setor de saneamento na região. Esses resultados corroboram estudos anteriores que indicam a necessidade de maiores investimentos em infraestrutura e em gestão para alcançar melhorias sustentáveis na eficiência dos serviços de saneamento.

Tabela 20 – Resultados do Índice de *Malmquist*, Efeito emparelhamento e Efeito Deslocamento para os períodos analisados

		Períodos	Índice de <i>Malmquist</i>		
			Efeito		
			Maior que 1	Igual a 1	Menor que 1
Índice de		2005-2006	%	0,0%	19,56%
			Unid	0	80,43%
Malmquist		2016-2017	%	0,0%	87,68%
			Unid	0	111
Efeito		2005-2006	%	0,0%	19,56%
			Unid	0	80,43%
Emparelhamento		2016-2017	%	0,0%	11,64%
			Unid	0	111
Efeito		2005-2006	%	0,0%	87,68%
			Unid	0	121
Deslocamento		2005-2006	%	-6,85%	-6,85%
			Unid	0	10
Deslocamento		2016-2017	%	0,0%	6,85%
			Unid	0	10

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Conforme os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), o saneamento deve seguir critérios de eficiência e sustentabilidade econômica. No entanto, os resultados obtidos nos estados do Nordeste revelam que muitos municípios ainda não alcançaram esses objetivos, exigindo um esforço maior para a melhoria da produtividade (Brasil, 2007).

De acordo com Leoneti (2011), a ineficiência observada pode ser explicada pela falta de planejamento estratégico, baixos investimentos e baixa qualidade técnica dos projetos de saneamento. Esses fatores, combinados com a limitada adoção de tecnologias inovadoras, contribuem para a dificuldade na modernização dos serviços nos estados nordestinos.

A seguir, são apresentadas as estatísticas descritivas dos resultados obtidos para os índices de produtividade e eficiência dos serviços de saneamento no período analisado. A Tabela 21 detalha os valores do Índice de *Malmquist*, Efeito Emparelhamento e Efeito Deslocamento, os quais refletem as variações na produtividade e no progresso tecnológico dos municípios do Nordeste. Esses indicadores são fundamentais para compreender a evolução da eficiência dos serviços ao longo do tempo e identificar possíveis padrões de desempenho.

Tabela 21 – Estatísticas descritivas dos valores do Índice de *Malmquist*, Efeito Emparelhamento e Efeito Deslocamento dos períodos analisados

	Períodos	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Índice de <i>Malmquist</i>	2005-2017	1,56	1,52	0,07	5,57
Efeito Emparelhamento	2005-2017	1,24	1,03	0,08	3,69
Efeito Deslocamento	2005-2017	0,87	0,18	0,49	1,32

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise dos dados apresentados na Tabela 21 fornece *insights* fundamentais sobre as variações de produtividade nos municípios estudados durante os períodos de 2005-2006 e 2016-2017. A estatística descritiva revela um panorama complexo de eficiência e produtividade no setor de saneamento básico, especialmente ao avaliar os índices fornecidos pelo Índice de *Malmquist* e seus efeitos associados de emparelhamento e deslocamento. O Índice de *Malmquist* apresentou uma média de 1,56, sugerindo uma tendência geral de produtividade positiva entre os municípios. Contudo, a ampla variabilidade, ilustrada por um desvio padrão de 1,52 e uma gama que se estende de 0,07 a 5,57, destaca uma distribuição heterogênea dos

resultados. Isso indica que, embora alguns municípios tenham alcançado ganhos substanciais de produtividade, um número significativo ainda luta para atingir níveis de eficiência comparáveis.

O Efeito Emparelhamento, com uma média de 1,24 e desvio padrão de 1,03, reflete uma certa estabilidade na eficiência técnica das unidades de decisão ao longo do tempo, variando entre 0,08 e 3,69. A variabilidade expressiva expressa nesse efeito sugere que, apesar de alguns municípios terem mantido ou melhorado sua eficiência técnica, outros experimentaram declínios severos. Esse fenômeno evidencia que os avanços técnicos no tratamento e gestão do saneamento não foram uniformemente experimentados entre os municípios, ressaltando disparidades significativas na implementação de políticas públicas de saneamento.

Por outro lado, o Efeito Deslocamento apresentou uma média mais baixa de 0,87 com um desvio padrão de 0,18, indicando uma menor variação e potencial estagnação em termos de desenvolvimento tecnológico no setor. Com valores que variam de 0,49 a 1,32, observa-se que a maioria dos municípios não conseguiu realizar avanços tecnológicos substanciais durante o período estudado. Essa limitada variabilidade sugere uma consolidação em torno das tecnologias existentes, sem a introdução de inovações disruptivas que poderiam elevar significativamente a eficiência do setor.

A análise comprensiva dos resultados indica uma tendência preocupante de declínio na eficiência e produtividade dos serviços de saneamento ao longo do tempo, como evidenciado pela redução nos valores do Índice de *Malmquist* e pelo impacto limitado do Efeito Emparelhamento.

Esses achados sinalizam que, apesar de esporádicos avanços individuais, os municípios como um todo não realizaram progressos significativos na eficiência, e a incorporação de inovações tecnológicas foi inadequada para promover melhorias consistentes. Essa realidade ressoa com a literatura acadêmica que aponta a falta crítica de investimentos e a necessidade urgente de planejamento mais estratégico e eficaz para aprimorar a gestão do saneamento básico no Brasil, com especial atenção para as regiões mais carentes, como o Nordeste.

## 2.5 Conclusão

Este estudo teve como foco a avaliação das mudanças na eficiência técnica dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste brasileiro entre 2005-2006 e 2016-2017, com

ênfase nos impactos da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), implementada em 2007. Os resultados indicam que, de maneira geral, não houve melhorias significativas na produtividade dos fatores de produção após a implementação da PNSB. A análise utilizando o Índice de *Malmquist* revelou que o desempenho dos serviços de saneamento nos municípios nordestinos se manteve estável ou em declínio em muitos casos, sugerindo que o avanço tecnológico e a eficiência na alocação de recursos foram limitados.

Esses resultados indicam que a PNSB, embora relevante, não proporcionou ganhos consistentes na produtividade e eficiência operacional na maioria dos municípios avaliados. A relação entre os recursos aplicados e os serviços prestados não demonstrou grande evolução, evidenciando uma estagnação no progresso tecnológico e na melhoria da gestão dos recursos. O Efeito Emparelhamento e o Efeito Deslocamento também confirmam que tanto a eficiência técnica quanto a incorporação de inovações tecnológicas foram insuficientes para impulsionar um crescimento uniforme no setor de saneamento.

Tais constatações ressaltam a necessidade de um planejamento mais robusto e investimentos direcionados à ampliação da eficiência e da qualidade dos serviços de saneamento nos estados do Nordeste. A falta de inovação e o limitado progresso nas práticas de gestão sugerem que é essencial revisar e aprimorar as políticas públicas existentes. Recomenda-se que futuras pesquisas utilizem metodologias mais rigorosas, como a técnica de diferenças em diferenças, para avaliar, de maneira mais precisa, o impacto de políticas como a PNSB na eficiência e na cobertura dos serviços de saneamento.

Além disso, o estudo enfrentou desafios relacionados à disponibilidade de dados, pois a insuficiência de informações fornecidas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) restringiu a análise a uma amostra menor de municípios. Isso sublinha a importância de uma coleta de dados mais abrangente e precisa, a fim de melhorar as avaliações futuras.

Diante desse cenário, é crucial que os responsáveis pela formulação de políticas públicas reforcem ações voltadas à universalização dos serviços de saneamento, assegurando que esses sejam não apenas amplamente acessíveis, mas também operados com maior eficiência e sustentabilidade ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

- AHN, Y. H.; MIN, H. Evaluating the multi-period operating efficiency of international airports using data envelopment analysis and the Malmquist productivity index. **Journal of Air Transport Management**, [S. l.], v. 39, p. 12–22, 2014.
- ALEIXO, B.; REZENDE, S.; PENA, J. L.; ZAPATA, G.; HELLER, L. Direito humano em perspectiva: desigualdades no acesso à água em uma comunidade rural do Nordeste brasileiro. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 63-82, abr./jun. 2016.
- ALMEIDA, A. L. S. P. **Gestão dos recursos hídricos na bacia do rio das velhas:** como podem os modelos hidrológicos distribuídos subsidiar o planejamento. 2020. 135 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2020.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, [S. l.], v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BEZERRA, P. R. C.; VIEIRA, M. M.; DE ALMEIDA, M. R. Modelagem DEA: teoria e aplicações na indústria do petróleo. **Revista ADMPG**, [S. l.], v. 8, n. 2, 2015.
- BOGETOFT, P.; OTTO, L. **Benchmarking com DEA, SFA e R.** [S. l.]: Springer Science & Business Media, 2011.
- BORGES, M. CP *et al.* Sistema Nacional de Dados de Água e Saneamento (SNIS): Fornece informações em nível municipal sobre serviços de água e saneamento. **Revista de Gestão Urbana**, [S. l.], v. 4, p. 530-542, 2022.
- BORJA, P. C. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e Sociedade**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 432-447, 2014.
- BRASIL. Ministério Das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>. Acesso em: 20 out. 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília, DF: Funasa, 2019. 260 p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **24º Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2018**. Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019. 180 p.
- CARCARÁ, M do. S. M.; SILVA, E. A da.; MOITA NETO, J. M. Saneamento básico como dignidade humana: entre o mínimo existencial e a reserva do possível. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 3, v. 24, p. 493-500, maio/jun. 2019.

CARDOSO, P. H. G. **A eficiência dos serviços de água e esgoto do estado do Ceará.** 2023. 120f. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

CARMO, C. M. do. **Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA.** 2003. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

CAVALCANTE, A. S. **Atendimento e inclusão:** impactos socioambientais da política pública de energia elétrica na construção da sustentabilidade em contexto amazônico. 2015. 227f. Tese (Doutorado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

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

COELLI, T. J. *et al.* **An introduction to efficiency and productivity analysis.** [S. l.]: Springer science & Business media, 2005.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis:** a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software. [S. l.]: Springer, 2007

CORREIA, T de. S.; LUCENA, W. G. L.; CAVALCANTE, P. R. N. Desempenho, gestão das perdas técnicas e eficiência energética do setor de saneamento. *In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 27, 2020. Modalidade Virtual, **Anais...** Modalidade Virtual, 9 a 11 de novembro de 2020.

CRUZ, K. E. A.; RAMOS, F. S. Eficiência na gestão do saneamento básico e seus impactos sobre a promoção da saúde: uma aplicação da análise envoltória de dados - DEA. *In.: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA*, 18, 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2013.

DELPUPPO, M.V. **O princípio da universalização do acesso ao saneamento básico à luz dos direitos fundamentais.** 2014. 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2014. Disponível em: [https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/25082014\\_100403\\_michely.pdf](https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/25082014_100403_michely.pdf). Acesso em: 8 maio 2024.

ECONÔMICA, Exame Consultoria. Benefícios econômicos da expansão do saneamento. **Relatório de pesquisa produzido para o Instituto Trata Brasil e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável [Internet].** São Paulo: Instituto Trata Brasil, v. 72, 2014.

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados:** teoria, modelos e aplicações. Viçosa: Editora UFV, 2009.

FERREIRA, I.; DIAS, D. **Burocracia e entraves ao setor de saneamento.** 1. ed. Brasília, DF: Confederação Nacional da Indústria. 2015.

GONZÁLEZ-GÓMEZ, Francisco; GARCÍA-RUBIO, Miguel A. Efficiency in the management of urban water services. What have we learned after four decades of research. **Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública**, [S. l.], v. 185, n. 2, p. 39-67, 2008.

HAYNE, L. A. O progresso tecnológico e seus efeitos sobre a dinâmica do modelo de produção capitalista. **Rev. Cent. Ciênc. Admin.**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 30-41, ago. 2003.

HILORME, T.; KARPENKO, L. M.; OLESIA, F. V.; YU, S. I.; SVETLANA, D. Innovative methods of performance evaluation of energy efficiency projects. **Academy of Strategic Management Journal**, Londres, v. 17, n. 2, p. 58-82, abr. 2018.

HUTTON, Guy; VARUGHESE, Mili. The costs of meeting the 2030 sustainable development goal targets on drinking water, sanitation, and hygiene. Washington: **World Bank, Washington, DC**, 2016.

LEE, H.; KIM, C. Benchmarking of service quality with data envelopment analysis. **Expert Systems with Applications**, [S. l.], v. 41, n. 8, p. 3761–3768, 2014.

LEITE, C. H. P.; MOITA, J. M.; BEZERRA, A. K. L. Novo marco legal do saneamento básico: alterações e perspectivas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 27, n. 5, p. 1041-1047, 2022.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. do; OLIVEIRA, S. V. W. B. de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, [S. l.], v. 45, p. 331-348, 2011.

LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M.; LIN, B. J. Y. Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey. **Omega**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. 3-15, 2013.

MALMQUIST, S. Index numbers and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 209–242, 1953.

MACEDO, J de. J. **Avaliação do setor de saneamento no Brasil, período 2004 a 2015: usando a Análise da Fronteira Estocástica (SFA), Análise Envoltória de Dados (DEA), Índice de Malmquist**. 2018. 210 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MASSA, K. He. C.; CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S. l.], v. 23, p. e200050, 2020.

MOTTA, S da. R.; MOREIRA, A. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. **Utilities Policy**, [S. l.], v. 14, p. 185-195, jan./jun. 2006.

NOCKO, L. M.; MOTTA, R. S da.; CORREIA, R da. F. Valoração dos benefícios dos serviços de saneamento: abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos embasamento teórico, casos de aplicação e análise crítica. In. **CONGRESSO ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA**

DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, T. M. **Análise de métodos multicritérios de tomada de decisão em projetos de inovação incremental.** 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2021.

PAIVA BARBOSA, R.; 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. **Revista Economia & Gestão**, [S. l.], v. 14, n. 35, p. 151-181, 2014.

PEREIRA JÚNIOR, J.S. **Aplicabilidade da lei nº 11.445/2007 – diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2008. Disponível em: <http://www.daaerioclaro.sp.gov.br/arquivos/regulacao/04-A-aplicacao-da-Lei-de-Saneamento-2.pdf>. Acesso em: 8 maio 2024.

PEREIRA, G. S. **Análise comparativa do comprometimento de renda com serviços de água e esgoto no Distrito Federal do Brasil.** 2021. 145 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2021.

RAY, S. C. **Data envelopment analysis: theory and techniques for economics and operations research.** Cambridge: Cambridge university press, 2004.

RODRIGUES, E. A. M. **Avaliação de impacto e de sustentabilidade financeira para política pública de saneamento rural no estado de Pernambuco.** 2022. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2022.

ROSANO-PEÑA, C.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; DAHER, C. E. Dinâmica da produtividade e eficiência dos gastos na educação dos municípios goianos. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 6, p. 845-865, dez. 2012.

SALES, A.; BARBOSA, A. L.; TOMAZ, D. A. S.; DE AZEVEDO, A. A. Análise da eficiência dos serviços de saneamento prestados nos municípios da região metropolitana de belo horizonte com a utilização do método análise envoltória de dados. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 101-121, 2019.

SANTOS, S. M. da C. *et al.* Saneamento básico no Nordeste: metas, desafios e investimentos. **Revista Ciência Geográfica**, [S. l.], v. 26, n. 01, p. 155-180, 2022.

SATO, J. M. **Utilização da análise envoltória de dados (DEA) no estudo de eficiência do setor de saneamento.** 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

SCAZZIERI, R. *et al.* Production Frontiers. **The Economic Journal**, [S. l.], v. 105, n. 430, p. 738, 1995.

SILVA, I. E. M.; DINIZ, M. F. A. Governança da água: uma avaliação dos serviços brasileiros de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos anos de 2002, 2007 e 2012.

**Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, Natal, v. 6, n. 1, p. 59-90, jul./dez. 2017.

SILVEIRA JUNIOR, J. Uma relação espacial entre mortalidade e saneamento básico no Nordeste brasileiro. In. SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE POPULAÇÃO, ESPAÇO E AMBIENTE, 4, 2017, Limeira. **Anais...** Limeira, 2017.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. **Journal of applied statistics**, [S. l.], v. 27, n. 6, p. 779-802, 2000.

SIMIONATO, V. E. **Análise envoltória de dados (DEA) como ferramenta para melhoria de processos baseado na eficiência dos agentes: estudo de caso em uma instituição financeira**. 2019. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2019.

**SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS)**  
**Diagnósticos temáticos serviços de água e esgoto visão geral ano de referência 2020.**  
 Brasília: SNIS, 2021.

SOUZA, S de. M. C.; STOSIC, B. Explaining DEA Technical Efficiency Scores in an Outlier Corrected Environment: the case of public services in brazilian municipalities. **Brazilian Review of Econometrics**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 287-313, jul./dez. 2005.

THANASSOULIS, E. The Use of Data Envelopment Analysis in the Regulation of UK Water Utilities: Water Distribution. European. **Journal of Operational Research**. [S. l.], v. 126, p.436-453, 2000. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221799003033>. Acesso em: 27 jun. 2024.

WILHELM, V. E. **DEA**. Apostila dirigida ao Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, no Departamento de Matemática da Universidade Federal do Paraná, na disciplina de Data Envelopment Analysis. 2003.

ZUCATTO, L. C.; POLLO, I. G. Análise da estrutura de custos do fornecimento de água potável em um município da região Noroeste do RS. **Revista De Contabilidade Dom Alberto**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 24-45, 2013.

ZHU, J. **Modelos quantitativos para avaliação de desempenho e benchmarking: análise de envoltório de dados com planilhas**. Nova York: Springer, 2009.

### 3 DETERMINANTES DE DESEMPENHO E SEUS EFEITOS NO FORNECIMENTO DE SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

#### 3.1 Introdução

A universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil, particularmente na região Nordeste, é uma questão crítica que envolve não apenas a expansão da infraestrutura, mas também a implementação de políticas públicas direcionadas e a gestão eficiente dos recursos. A cobertura insuficiente dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário afeta diretamente a qualidade de vida da população e o desenvolvimento socioeconômico da região. Para superar esses desafios, é imperativo que o poder público adote uma postura proativa, elaborando e implementando projetos estruturantes e marcos regulatórios que favoreçam a evolução dos indicadores de saneamento. Simultaneamente, a participação da sociedade civil é crucial para que as demandas por acesso universal e de qualidade aos serviços de água e esgoto sejam atendidas de maneira sustentável. Nesse contexto, a integração entre governo, sociedade e setor privado se torna fundamental para promover o avanço necessário e garantir a equidade no acesso a esses serviços essenciais (Instituto Trata Brasil, 2022).

Ainda de acordo com os argumentos do Instituto, a universalização dos serviços de saneamento no Nordeste brasileiro demanda transformações estruturais no setor. A superação das deficiências históricas no abastecimento de água e na coleta e tratamento de esgoto depende de uma atuação mais efetiva do poder público, que deve não apenas propor e implementar políticas públicas e legislações específicas, mas também fomentar projetos que ampliem o acesso e melhorem a qualidade dos serviços. Ademais, é imprescindível considerar o papel ativo da sociedade civil nesse processo, uma vez que a mobilização popular e a reivindicação por direitos são componentes estratégicos para pressionar o Estado e garantir o cumprimento das metas de saneamento. Dessa forma, a combinação entre governança eficiente e engajamento cidadão se apresenta como caminho indispensável para a consolidação de um sistema de saneamento justo e abrangente.

Observações como essa capturam o desejo de organizar, reduzir ou eliminar as dificuldades pelas quais passam as pessoas que compõem a população da região Nordeste do Brasil. Estudos como os de Santos e Mendes (2023, p. 189) destacam fragilidades estruturantes do setor, além de demonstrar “necessidade de fortalecer a integração de políticas, programas e iniciativas de gestão por bacias hidrográficas, ao alcance de periferias e meio rural”. A Compesa, empresa de saneamento do estado de Pernambuco, por exemplo, esclarece que o setor de

saneamento enfrenta e enfrentará importantes desafios relacionados com as mudanças climáticas e com o alto custo dos investimentos necessários para universalizar os serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto, para atender ao Marco do Saneamento (Compesa, 2023).

Apesar do interesse por encontrar alternativas para mitigar todos os problemas da região, os esforços ao longo dos anos parecem não acompanhar a evolução dos problemas, haja vista a sucessão de problemas que ocorrem na periferia das grandes cidades nordestinas e no sertão, locais em que fica visível o distanciamento entre o que é necessário e o que a realidade expõe.

Este estudo utilizou metodologicamente os recursos proporcionados pela Análise Fatorial (AF) e pretendeu explorar os atributos associados ao desempenho dos prestadores de saneamento básico (Nunes *et al.*, 2018; Nirazawa; Oliveira, 2018). Em complemento, a Regressão *Quantílica* foi utilizada para estimar os diferentes *quantis* na população estudada. A análise fatorial é uma técnica estatística que auxilia na análise de fatores heterogêneos de uma população. O método da Análise Fatorial sintetizou o conjunto das variáveis que estão inter-relacionadas, levou a achados de fatores em comum, que permitiram a redução dos dados em um conjunto menor de variáveis hipotéticas, com a qualidade de expressar o que era comum entre as variáveis iniciais (Fávero *et al.*, 2009).

No estudo foi utilizada a análise fatorial para explorar os atributos associados ao desempenho dos prestadores de saneamento básico na região Nordeste do Brasil. A Regressão *Quantílica*, por sua vez, foi utilizada para identificar os efeitos heterogêneos das políticas sobre o público envolvido. Para dar suporte às análises, utilizou-se da literatura específica que auxiliou a fundamentação teórica.

Como objetivo geral da pesquisa, estabeleceu-se compreender e analisar o que determina o desempenho dos serviços de fornecimento de água e de esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil. Em complemento, especificamente se tem como objetivos: a) identificar os fatores que determinam o desempenho dos serviços de água e esgoto na região Nordeste do Brasil; b) calcular e analisar o índice de desempenho dos serviços de água e esgoto da mesma região; c) estimar os efeitos do fornecimento de serviços de água e esgoto na região Nordeste do Brasil.

O Nordeste brasileiro engloba nove estados (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia). A abrangência territorial dessa região corresponde a cerca de 18% do território brasileiro e a sua população, na média de 2002 a 2020, representou cerca de 28% do total de habitantes do Brasil. Segundo a pesquisa de Estimativa da População do IBGE, em torno de 57 milhões de pessoas residiam no Nordeste,

em 2020, distribuídas em 1.794 municípios, dos nove estados constituintes da região (FGV-IBGE, 2023).

Relativamente aos serviços de saneamento básico, a situação da região é preocupante, ao considerarmos que o Nordeste tem a menor quantidade de recursos hídricos do Brasil e uma alta densidade demográfica, o que dificulta o abastecimento de água. Em 2022, 76% da população nordestina tinha acesso à água potável. Além disso, mais de 4 milhões de pessoas usam carro-pipa como principal forma de abastecimento de água. Acrescente-se a isso o fato de o Nordeste brasileiro ser a segunda região com o pior índice de coleta de esgoto do País. O índice de esgotos tratados é de apenas 30,2%. Enquanto isso, o Marco Legal do Saneamento (Lei Federal 14.026/2020) estabelece metas para o Brasil fornecer água para 99% da população e coleta e tratamento de esgoto para 90% até 2033, o que representa um enorme desafio a ser superado, no que tange à região.

A partir do que foi exposto, este capítulo se estrutura em cinco seções: a Introdução, aqui realizada, seguida do Referencial Teórico. A terceira seção descreve os aspectos metodológicos da pesquisa, na quarta seção estão os achados deste estudo; por fim, na quinta seção são apresentadas as Considerações Finais.

### **3.2 Referencial teórico**

Nesta seção, são abordados aspectos relacionados ao fornecimento de serviços de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil, com foco na avaliação do desempenho do setor e na análise dos seus efeitos sobre a população local. São discutidos indicadores de cobertura, eficiência operacional e qualidade dos serviços, além de se examinar as implicações sociais e econômicas decorrentes das condições de saneamento na região.

#### ***3.2.1 Fornecimento de serviços de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil***

Concebido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento representa o controle de todos os fatores ambientais que podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar, físico mental e social dos indivíduos. Ainda em 2018, esse organismo lançou as *Diretrizes sobre Saneamento e Saúde (Guidelines on Sanitation and Health)*, um conjunto de medidas para estimular sistemas e práticas de saneamento seguros para promoção da saúde, considerando que água e saneamento são direitos essenciais para a população.

Tomé (2018) conceitua o saneamento básico como um conjunto de serviços

essenciais à promoção da saúde pública e da qualidade de vida, os quais envolvem múltiplas dimensões interdependentes. Entre esses componentes, destaca-se o fornecimento de água potável em quantidade e qualidade adequadas às necessidades humanas, além da coleta e do tratamento seguro das águas residuárias, tanto de origem doméstica quanto industrial ou agrícola. Complementarmente, incluem-se as práticas de manejo e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, bem como as ações voltadas à drenagem urbana, com foco na coleta de águas pluviais e na mitigação de alagamentos e inundações. Tal abordagem evidencia que o saneamento básico transcende a simples oferta de serviços, configurando-se como um sistema complexo, cujas falhas estruturais repercutem diretamente sobre a saúde ambiental e o desenvolvimento social.

Assim considerado o saneamento básico, tem-se a certeza do distanciamento entre a teoria proposta e a realidade da situação existente no Brasil como um todo. Por exemplo, recentemente, o noticiário tratou sobre o não cumprimento, por parte de inúmeras prefeituras, da legislação que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instrumento que trata de soluções para um dos mais graves problemas ambientais do Brasil, a saber: o destino dado aos resíduos sólidos, que indica a necessidade de substituir os lixões a céu aberto por aterros sanitários, de forma a assegurar a proteção ambiental (Brasil, 2010). Diante disso, o Congresso Brasileiro já estuda medidas para extensão dos prazos inicialmente determinados para que as prefeituras cumpram o que a lei determina.

Especificamente, em se tratando do acesso a alguma rede de fornecimento de água, estudos realizados com base na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Continuada (PNADC) de 2022, apontaram que 8,916 milhões de moradias brasileiras não dispunham deste tipo de fornecimento, com efeitos diretos sobre 27,270 milhões de pessoas. Desse total, a maior parte delas (35%) estava localizada nos estados da região Nordeste do Brasil, num total de 3,117 milhões de residências. Esta pesquisa apontou que, nessa região, os estados da Bahia, Pernambuco e Maranhão são os com maiores déficits de fornecimento, prejudicando e privando grande parte da população ao acesso às redes de fornecimento de água. No âmbito geral da região Nordeste do Brasil, em cada 100 moradias, 17 não estavam conectadas à rede geral de abastecimento de água tratada (IBGE, 2022; Trata Brasil, 2023).

No que se refere às moradias conectadas à rede de abastecimento de água, observa-se que, na mesma região, de cada 100 residências, aproximadamente 23 apresentavam problemas relacionados ao recebimento diário de água tratada. Esse dado evidencia a insuficiência crônica no fornecimento de água potável, atingindo um total de 7,73 milhões de moradias com alguma forma de desabastecimento. Tal cenário contraria diretamente as

recomendações da Organização Mundial da Saúde, bem como as diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que preconizam o acesso universal e contínuo à água de qualidade para toda a população. Vale ressaltar que a situação é ainda mais preocupante quando se verifica que 32% das moradias da região Nordeste não possuíam qualquer tipo de reservatório para armazenamento de água, tornando-as ainda mais vulneráveis às interrupções no fornecimento. Dentre os estados da região, a Bahia, o Maranhão e o Ceará se destacam negativamente, concentrando o maior número de domicílios sem reservatório (IBGE, 2022; Trata Brasil, 2023). Esses resultados evidenciam a necessidade de investimentos em infraestrutura e ações de gestão capazes de garantir tanto a regularidade no abastecimento quanto condições adequadas de armazenamento nas residências nordestinas.

Vários motivos são apontados para justificar os problemas levantados no que se refere ao fornecimento e abastecimento de água na região Nordeste, dentre os quais são mais tocantes os que trazem como causa a ineficiência dos planejamentos, a corrupção que afeta os custos para construção de infraestrutura hídrica, a desordenação das construções de habitações, em especial da população economicamente menos favorecida e até mesmo o descaso das autoridades para atender a esse público. Pelas mesmas razões apontadas, a construção de esgotamentos sanitários também representa uma defasagem entre o necessário e a realidade encontrada.

Estudo realizado pela Universidade Federal de Pernambuco apresenta que a cada 50 irregularidades praticadas pelas prefeituras o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) cai 4,5% e aumenta a concentração de renda em 6,5%, provocando maior desigualdade social. Essas irregularidades ocorrem no direcionamento de licitações, no superfaturamento das obras e no desvio direto de recursos, dentre outros atos ilícitos (EOS, 2024).

A citada Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) de 2022 ainda traz à luz que 1,332 milhões de residências brasileiras não possuíam banheiro exclusivo. Em relação a esse tema, o Nordeste é a mais precária das regiões brasileiras, com 841 mil habitações privadas de banheiros, representando 4 a cada 100 moradias, com destaque para os estados do Maranhão, Bahia e Piauí.

Relativamente aos serviços de coleta de esgoto, o estudo apontou que 42,7% das residências localizadas no Nordeste brasileiro eram privadas de acesso às redes de esgotamento sanitário, com destaque para os estados do Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte. A pesquisa assegura que metade das moradias da região não dispõem de coleta de esgoto, aumentando a incidência de várias doenças e problemas que essa situação provoca.

A partir da análise dos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) de 2022, o Instituto Trata Brasil (2023) evidencia a persistente precariedade dos serviços de saneamento no Nordeste, realidade que afeta milhões de habitantes e configura um grave problema de saúde pública. A carência dessa infraestrutura básica está diretamente associada ao aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica, impactando de forma mais intensa grupos vulneráveis, como crianças, adolescentes e idosos. Além dos prejuízos à saúde, essa deficiência compromete o desempenho das atividades cotidianas, restringe a participação da população no mercado de trabalho e deteriora os níveis de bem-estar social, afetando, sobretudo, as perspectivas de futuro das novas gerações. Esse cenário reafirma a urgência de políticas públicas efetivas e investimentos contínuos para reverter o quadro de exclusão sanitária que ainda marca amplas parcelas da população nordestina.

### ***3.2.2 Desempenho do setor de saneamento e fornecimento de água na região Nordeste do Brasil***

O abastecimento de água e a coleta de esgotos em diversos países considerados em desenvolvimento são insuficientes e bastante distantes de atingir a universalização do atendimento. A *World Health Organization* (WHO, 2010) destaca que à época mais de 2,6 bilhões de pessoas no mundo não possuíam acesso ao esgotamento sanitário adequado e por volta de 900 milhões de pessoas não tinham acesso à água potável. Para a Organização Mundial de Saúde (OMS), esses fatores constituem enormes riscos de mortalidade e ocorrem, em especial, em áreas com baixo poder aquisitivo. No caso do Brasil, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008, demonstrou que apenas 44% das residências tinham acesso à rede geral de esgoto e que 78,6% tinham acesso à rede geral de abastecimento de água (IBGE, 2008).

Segundo essa pesquisa, em relação à qualidade da água fornecida, parcela considerável de 18% dos municípios brasileiros distribuíam a água sem qualquer tratamento (flocação, decantação, filtração e desinfecção), com destaque negativo para as regiões Norte, cujo percentual chegava a 20,8%, seguida pelo Nordeste, com 7,9% de municípios fornecendo água em condições insatisfatórias. Além disso, o Nordeste apresentava um percentual de 23,4% dos municípios com racionamento de água.

Em se tratando da eficiência na distribuição, uma pesquisa no Sistema Nacional de Informações no Saneamento (SNIS), de 2008, demonstrou que, em média, 40% das águas que são disponibilizadas na rede não são faturadas pelas empresas de fornecimento, haja vista que

se perdem no trecho entre as centrais de abastecimento e as residências, por consequência de vazamentos. Esse indicador reflete a alta ineficiência no setor. Para Cruz e Ramos (2012), a ineficiência pode ser originada na estrutura institucional das empresas do setor, dos conflitos federativos, ou mesmo do subsídio cruzado. Sob o prisma institucional, a realidade brasileira mostra que a maioria das empresas é controlada por governos estaduais ou municipais, abrangendo mais de 70% da população brasileira (SNIS, 2008).

No contexto dos serviços de saneamento, observa-se que, além das questões institucionais, emergem conflitos nos estados que mantêm o monopólio do fornecimento de água e do sistema de esgoto, principalmente por intermédio de companhias estaduais que resistem à desvinculação dos municípios de seus sistemas. Segundo a análise de Cruz e Ramos (2012), parte significativa desses conflitos decorre da adoção do subsídio cruzado, mecanismo pelo qual determinados grupos populacionais acabam por arcar com tarifas superiores ao custo real dos serviços para viabilizar a oferta de tarifas mais acessíveis a outros segmentos. Tal prática, embora possa promover certa justiça social ao permitir o acesso a famílias de menor renda, também cria tensões entre os entes federativos e usuários, além de gerar debates sobre a eficiência, a sustentabilidade econômico-financeira e a autonomia municipal na gestão do saneamento. Esses fatores evidenciam a complexidade do cenário regulatório e a necessidade de soluções equilibradas que conciliem equidade, eficiência e autonomia local.

No entanto, Estache (2003 *apud* Cruz; Ramos, 2012) indica que, em relação aos subsídios cruzados, há casos em que consumidores do serviço, com renda suficiente para ficar acima da linha de pobreza, locupletam-se desse benefício, prejudicando as demais pessoas.

Outra questão a ser apontada é o volume da inadimplência, que implica a capacidade de investimento das empresas. Carvalho, Simões e Marques (2010) apontam que os custos de captação, tratamento e conservação da água, além dos investimentos necessários, refletem nos custos para os cidadãos, o que, em muitos casos, pode levá-los à inadimplência. Em se tratando do Brasil, especificamente nas regiões Norte e Nordeste, o volume da inadimplência atinge mais de 10% das residências (Brasil, 2009).

Todas essas questões e problemas se refletem não apenas na precariedade dos serviços prestados, impactando também na eficiência da gestão do saneamento básico. Relativamente à eficiência, vários trabalhos têm abordado esse aspecto utilizando a metodologia de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), para analisar resultados das companhias de abastecimento e saneamento (Cardoso, 2023; Carmo; Távora Junior, 2003; Brasil, 2008, Cruz; Ramos, 2012; Sato, 2011).

Conforme argumentam Sampaio e Sampaio (2007), a análise da eficiência das

empresas de saneamento constitui uma etapa crucial para compreender os determinantes do desempenho operacional no setor. Ao identificar os fatores que contribuem para uma atuação mais eficaz, as instituições responsáveis pela prestação desses serviços podem implementar estratégias mais assertivas, com vistas à melhoria contínua da gestão e da qualidade dos serviços ofertados. Essa busca por eficiência não apenas repercute positivamente na elevação da qualidade de vida da população – sobretudo na de baixa renda, historicamente mais vulnerável –, como também contribui significativamente para a redução dos níveis de poluição. Assim, a melhoria do desempenho das empresas de saneamento transcende a esfera operacional, assumindo papel central na preservação ambiental e na sustentabilidade de atividades urbanas e rurais interdependentes.

### ***3.2.3 Análise dos efeitos do fornecimento de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil***

Ao oferecer serviços de saneamento básico, cabe às empresas públicas ou privadas alinhar suas ações ao propósito maior de promoção do bem-estar coletivo, com especial atenção à redução de indicadores críticos de saúde, como a Taxa de Mortalidade de Menores de 5 anos. Essa meta se torna inviável em contextos marcados pela escassez, má qualidade ou ausência completa da infraestrutura sanitária. Nesse sentido, Cruz e Ramos (2012) enfatizam que a atuação estatal no setor deve priorizar a diminuição da mortalidade infantil, objetivo que só pode ser alcançado mediante a disponibilização adequada de recursos e sua gestão eficiente. A eficácia na administração dos serviços, portanto, é elemento central para assegurar não apenas a cobertura, mas também a qualidade na prestação dos serviços de saneamento, sendo essa uma condição indispensável para o avanço nos indicadores de saúde pública e desenvolvimento social.

A região Nordeste do Brasil, há muito tempo, é afetada por problemas relacionados ao abastecimento de água e ao saneamento. A falta de acesso à água potável e a instalações sanitárias adequadas traz graves consequências para a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população dessa área. Essa situação também leva a impactos significativos sobre o meio ambiente, como poluição e degradação dos recursos naturais. Os desafios relacionados à água e ao saneamento no Nordeste são complexos e multifacetados, influenciados por fatores, como clima, urbanização e disparidades socioeconômicas. Compreender os problemas específicos enfrentados nessa região é fundamental para o desenvolvimento de estratégias e intervenções eficazes para lidar com essas questões.

Este tópico procura esclarecer os impactos do abastecimento de água e do saneamento inadequados nas comunidades do Nordeste. Ao compreender a intrincada dinâmica entre o acesso à água, o saneamento e suas repercussões na saúde pública e no meio ambiente, procura-se contribuir para a criação de soluções sustentáveis para melhorar as condições de vida da população da região. Além disso, visa-se a aumentar a conscientização sobre a urgência de abordar essas questões e defender o aumento do investimento e do apoio à infraestrutura de água e saneamento na região Nordeste do Brasil.

O acesso à água potável e saneamento básico é fundamental para a promoção da saúde pública, uma vez que a falta desses serviços está diretamente associada a problemas como doenças diarreicas, infecções respiratórias e parasitárias. Além disso, a carência de água de qualidade e condições adequadas de esgotamento sanitário impacta diretamente na qualidade de vida e no bem-estar da população, especialmente nos setores mais vulneráveis (Sampaio; Sampaio, 2007; Sato, 2011).

Do ponto de vista socioeconômico, a falta de acesso à água potável e saneamento básico também gera custos significativos para o sistema de saúde, perda de produtividade no trabalho e limitação no desenvolvimento das comunidades, reforçando a importância de investimentos nessas áreas. Diretamente, afeta as atividades agrícolas e agropecuárias, prejudicando a produção de alimentos e gerando impactos econômicos em toda a cadeia produtiva. Outro aspecto relevante é o potencial turístico da região, que também é afetado pela falta de acesso à água e saneamento, impactando o desenvolvimento do setor e a geração de empregos (Argeton, 2020).

### *3.2.3.1 Desafios e obstáculos para a melhoria do acesso à água e saneamento*

Na região Nordeste do Brasil, os desafios e obstáculos para melhorar o acesso à água e saneamento são influenciados por fatores políticos e econômicos, como a falta de recursos financeiros e a instabilidade política, que podem impactar na implementação de projetos e programas de melhoria. Além disso, questões de infraestrutura e tecnologia também representam desafios, já que muitas áreas rurais e urbanas carentes ainda carecem de sistemas adequados de abastecimento de água e tratamento de esgoto. A falta de investimento em infraestrutura e a ausência de tecnologias eficientes dificultam a garantia do acesso universal à água potável e saneamento básico na região (Sampaio; Sampaio, 2007; Argeton, 2020).

Os fatores políticos e econômicos desempenham um papel crucial para a melhoria do acesso à água e saneamento. A instabilidade política (não prosseguimento de programas de

governos anteriores) em algumas áreas pode afetar a implementação de políticas públicas e a alocação de recursos para investimentos em infraestrutura. Além disso, a situação econômica da região pode impactar diretamente a capacidade de financiamento de projetos de água e esgoto, especialmente em comunidades mais carentes. É fundamental considerar as questões políticas e econômicas para desenvolver estratégias eficazes de intervenção e garantir a sustentabilidade das melhorias no fornecimento de água e esgotamento sanitário.

Outro aspecto que deve ser considerado remete às questões de infraestrutura e tecnologia, representando grandes desafios para melhorias na Região Nordeste. A falta de investimento em sistemas de distribuição de água potável e tratamento de esgoto, aliada à carência de tecnologias apropriadas para lidar com as condições climáticas da região, contribuem para a baixa cobertura de serviços básicos. Além disso, a ausência de sistemas adequados de monitoramento e manutenção das infraestruturas existentes resulta em problemas recorrentes de abastecimento e qualidade da água, dificultando ainda mais a efetivação do saneamento básico na região (Razzolini; Günther, 2008).

### *3.2.3.1 Iniciativas e políticas públicas para o setor*

Apesar dos diversos problemas relatados, emergem, no âmbito das iniciativas e políticas públicas para o setor de água e esgotamento sanitário no Nordeste, programas governamentais como o Programa Água Para Todos e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (Brasil, 2023), os quais visam a ampliar o acesso da população a esses serviços essenciais. Além disso, têm sido estabelecidas parcerias público-privadas, envolvendo o poder público, empresas privadas e organizações da sociedade civil, para promover investimentos e implementar melhorias na infraestrutura de saneamento básico. Essas iniciativas têm contribuído para avanços significativos na ampliação da cobertura de abastecimento de água e esgotamento sanitário na região, combatendo a precariedade desses serviços e seus impactos negativos.

O Programa Água Para Todos foi criado em 2011, com o objetivo de priorizar investimentos em sistemas simplificados de abastecimento de água para comunidades rurais, visando a reduzir as desigualdades no acesso a esse recurso. Já o PAC, lançado em 2007, inclui ações de saneamento básico, como a construção de sistemas de esgotamento sanitário e ampliação da cobertura de abastecimento de água, buscando melhorar as condições de vida da população nordestina. Já as parcerias público-privadas têm sido uma alternativa viável para impulsionar investimentos no setor de água e saneamento no Nordeste. Por meio dessas

parcerias, empresas privadas podem contribuir com recursos financeiros, expertise em gestão e tecnologia, enquanto o governo oferece incentivos e regulação. Isso tem possibilitado a expansão da cobertura de serviços e a melhoria da qualidade, atendendo às necessidades da população. Além disso, as parcerias público-privadas têm se mostrado eficazes na promoção da eficiência operacional e na redução de perdas, contribuindo para o avanço do acesso à água e saneamento na região.

### **3.3 Metodologia**

A metodologia adotada envolveu a coleta e análise de dados secundários referentes aos serviços de água e esgotamento sanitário nos municípios da região Nordeste do Brasil, considerando indicadores operacionais, geográficos e socioeconômicos para a delimitação da área de estudo.

#### ***3.3.1 Área de estudo***

A pesquisa foi realizada com dados de 90 municípios de Alagoas, 377 da Bahia, 170 do Ceará, 153 do Maranhão, 180 da Paraíba, 177 de Pernambuco, 156 do Piauí, 158 do Rio Grande do Norte e 75 de Sergipe. Esses estados fazem parte da Região Nordeste do Brasil, a qual é composta por nove unidades federativas, representando uma área geográfica significativa e de grande relevância socioeconômica. O Nordeste tem uma área total de 1.558.196 km<sup>2</sup>, equivalente a 18,26% do território nacional, sendo a terceira maior região do Brasil. Com uma população estimada em aproximadamente 55 milhões de habitantes (IBGE, 2023), essa região apresenta diversos desafios relacionados à gestão de recursos, incluindo o saneamento básico. Cada estado possui características geográficas, climáticas e populacionais que influenciam diretamente a prestação dos serviços públicos, especialmente no que diz respeito à oferta de água e esgoto. Esses fatores tornam a análise da eficiência dos serviços de saneamento nessa região particularmente relevante, dada a diversidade e complexidade dos contextos urbanos e rurais abrangidos.

#### ***3.3.2 Análise fatorial***

A análise fatorial é uma técnica estatística multivariada utilizada para explorar as relações de dependência entre um conjunto de variáveis, permitindo a redução destas em um

número menor de fatores subjacentes. De acordo com Artes (1998), essa metodologia se baseia nas correlações ou covariâncias observadas entre as variáveis originais, a partir das quais se derivam fatores latentes. Esses fatores representam as variáveis originais, com a vantagem de sintetizar as informações, minimizando a perda de dados e mantendo as características essenciais do conjunto inicial. Pavarina (2003) destaca que a principal contribuição da análise fatorial é a possibilidade de agrupar variáveis correlacionadas em fatores comuns, facilitando a interpretação das inter-relações entre elas. Essa simplificação ajuda a identificar quais variáveis têm maior impacto na explicação da variância dos dados originais, sem a necessidade de trabalhar com todas as variáveis de forma individual. Em outras palavras, a técnica possibilita a compreensão das variáveis que atuam em conjunto, permitindo uma visão mais clara das dinâmicas presentes nos dados analisados.

O objetivo da análise fatorial, conforme Hoffmann (1999), é resumir a variabilidade de um conjunto de variáveis em termos de múltiplos fatores que são ortogonais, ou seja, independentes entre si. Esse processo busca identificar padrões de comportamento comum entre as variáveis, associando aquelas que compartilham um fator causal subjacente. Fávero *et al.* (2009) argumentam que essa técnica ajuda a quantificar as relações entre as variáveis, destacando grupos de variáveis que apresentam padrões semelhantes de variação.

Vicini (2005) complementa ao afirmar que a análise fatorial parte do princípio de que a maior parte das correlações observadas entre as variáveis pode ser explicada por um número reduzido de fatores gerais. Isso ocorre porque muitas das relações identificadas entre as variáveis são, na verdade, derivadas de um mesmo fator causal comum. Assim, o método permite a simplificação de conjuntos complexos de dados sem perder a essência das informações, sendo amplamente utilizado em pesquisas que envolvem grandes volumes de variáveis inter-relacionadas.

A análise fatorial, conforme explicado por Fávero *et al.* (2009), divide-se em duas abordagens principais: confirmatória e exploratória. A análise fatorial confirmatória é aplicada quando o pesquisador já possui um conhecimento consolidado acerca das inter-relações entre as variáveis, e sua principal função é testar se os dados confirmam essa estrutura preexistente. Por outro lado, a análise fatorial exploratória é utilizada em situações em que há pouca ou nenhuma informação sobre o comportamento das variáveis, permitindo ao pesquisador identificar padrões e associações a partir dos dados disponíveis.

Simplicio (1985) explica que, na análise fatorial, cada fator é construído a partir de uma combinação linear das variáveis originais, e a força da associação entre essas variáveis e os fatores é representada pelas chamadas cargas fatoriais. Essas cargas, que podem ser positivas

ou negativas, nunca ultrapassam o valor absoluto de um, e funcionam de forma semelhante aos coeficientes de regressão em uma análise de regressão tradicional. O coeficiente de saturação elevado ao quadrado revela a proporção da variância de uma variável específica que é explicada por um fator, permitindo uma análise clara do impacto dos fatores nos dados originais.

Ainda segundo Simplicio (1985), o conceito de comunalidade surge como a soma dos quadrados dos coeficientes de saturação, revelando a proporção de variância total de uma variável que é explicada pelos fatores identificados. Além disso, o valor próprio (ou *eigenvalue*) de um fator é obtido ao somar os quadrados dos coeficientes de saturação de todas as variáveis associadas a esse fator, representando a variância total explicada por ele. Essa medida é fundamental para avaliar a contribuição de cada fator para a variância total do modelo, ajudando na interpretação dos resultados.

Fávero *et al.* (2009) apontam que os dois principais métodos para a obtenção de fatores são a Análise dos Componentes Principais (ACP) e a Análise dos Fatores Comuns (AFC). A ACP foca na variância total dos dados, buscando maximizar a quantidade de variância explicada, enquanto a AFC concentra-se na variância compartilhada entre as variáveis (comunalidade), desconsiderando a variância específica de cada uma. O critério de *Kaiser*, ou critério da raiz latente, é utilizado para determinar o número de fatores a serem retidos na análise, baseado no número de valores próprios superiores a 1, mostrando, assim, a variância explicada por cada fator e sua importância no contexto do estudo.

A seleção dos componentes na análise fatorial é baseada nos *eigenvalues*, sendo recomendada a retenção de fatores que apresentem *eigenvalues* superiores a 1, conforme preceito estabelecido pela metodologia de variáveis padronizadas. Isso ocorre porque tais fatores são considerados capazes de explicar uma parte significativa da variância observada no conjunto de dados. Assim, componentes com valores próprios maiores que 1 são considerados relevantes para a modelagem, já que refletem variância explicada superior à variância individual das variáveis (Corrar *et al.*, 2007).

No entanto, a identificação das variáveis mais bem explicadas por um determinado fator pode não ser evidente. Para mitigar essa dificuldade, a técnica de rotação de fatores é amplamente utilizada. Essa abordagem visa a reorganizar os coeficientes dos componentes principais de maneira que a interpretação dos fatores seja facilitada. O método de rotação transforma os coeficientes de maneira a criar uma estrutura mais simples e clara, permitindo uma melhor distinção entre as variáveis que possuem maior influência em cada fator (Reis, 2001). Os métodos de rotação podem ser divididos em ortogonais e oblíquos, de acordo com a classificação feita por diversos estudiosos, como Fávero *et al.* (2009) e Hair *et al.* (2014). Na

rotação ortogonal, os fatores permanecem independentes entre si, enquanto na rotação oblíqua os fatores apresentam correlações. Entre os métodos ortogonais, o Varimax, Quartimax e Equamax são os mais comuns, sendo o Varimax amplamente preferido devido à sua capacidade de simplificar a interpretação dos fatores. Esse método procura maximizar a variância entre as variáveis associadas a cada fator, resultando em uma estrutura mais fácil de interpretar, em que apenas algumas variáveis possuem cargas altas em cada fator, enquanto as demais mantêm cargas próximas de zero (Tabachnick; Fidell, 2007).

A adequação dos dados para análise fatorial também requer a verificação de alguns pressupostos estatísticos. Entre esses, destacam-se a análise de normalidade das variáveis, com base no Teorema do Limite Central; e a avaliação da correlação entre as variáveis, realizada por meio de testes específicos, como o Teste de Esfericidade de Bartlett (BTS) e o Índice *Kaiser-Mayer-Olkin* (KMO). Esses indicadores fornecem uma estimativa da adequação da matriz de correlação, sendo a matriz anti-imagem utilizada como ferramenta auxiliar para checar a qualidade das variáveis e garantir a viabilidade da análise (Gujarati, 2000).

O Índice KMO, que varia de 0 a 1, é utilizado para verificar a adequação dos dados à análise fatorial, indicando a proporção da variância das variáveis, a qual pode ser explicada pelos fatores latentes. Quanto mais próximo de 1, maior a adequação dos dados para esse tipo de análise, sugerindo que os fatores identificados são confiáveis e bem definidos (Matos; Rodrigues, 2019). Em contrapartida, valores menores do que 0,5 indicam uma baixa relação entre as variáveis e os fatores, tornando a análise fatorial inadequada. O KMO compara as magnitudes das correlações observadas com as correlações parciais, permitindo avaliar se os dados estão aptos para serem modelados.

De acordo com Fávero *et al.* (2009), o índice KMO é classificado em níveis, como mostrado no Quadro 2:

Quadro 2 – Classificação do Índice KMO para Análise Fatorial

KMO	Análise Fatorial
0,9 a 1,0	Muito boa
0,8 < 0,9	Boa
0,7 < 0,8	Média
0,6 < 0,7	Razoável
0,5 < 0,6	Má
< 0,5	Inaceitável

Fonte: Fávero *et al.* (2023).

Conforme apresentado, valores de KMO entre 0,9 e 1,0 indicam uma adequação "muito boa" dos dados à análise fatorial, o que sugere que os fatores extraídos explicam bem as variáveis originais. Já valores entre 0,8 e 0,9 classificam-se como "boa", enquanto valores entre 0,7 e 0,8 indicam adequação "média". Para valores menores, entre 0,6 e 0,7, a adequação é considerada "razoável". Contudo, quando o índice é inferior a 0,5, considera-se que os dados são "inaceitáveis" para a análise fatorial. Assim, valores de KMO abaixo de 0,5 exigem que os dados sejam revisados ou que outra técnica estatística seja adotada, uma vez que a técnica fatorial pode não capturar adequadamente a estrutura subjacente dos dados.

Antes da execução da análise fatorial, é crucial verificar a adequação dos dados por meio do Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Esse índice avalia a adequação da amostra, medindo a proporção da variância das variáveis, a qual é explicada pelos fatores comuns e a partir das correlações parciais observadas. Segundo Fávero *et al.* (2009), o valor do KMO indica a qualidade dos dados para análise fatorial, com valores próximos a 1, indicando uma adequação elevada. A Equação 9, a seguir, detalha o cálculo do Índice KMO, essencial para assegurar a validade da análise fatorial.

$$KMO = \frac{\sum \sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum \sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum \sum_{j \neq k} p_{jk}^2} \quad (9)$$

Em que:

$r_{jk}$  = é o coeficiente de correlação simples observado entre as variáveis  $X_j$  e  $X_k$  ;

$p_{jk}$  = é o coeficiente de correlação parcial entre  $X_j$  e  $X_k$  ;

A análise fatorial é amplamente utilizada para representar a interdependência entre variáveis coletadas, permitindo a redução do número de variáveis em fatores mais compactos e explicativos. Um dos primeiros passos dessa técnica envolve a avaliação da adequação dos dados, realizada por meio da análise da matriz de correlações e da aplicação do Teste de Esfericidade de Bartlett. Esse teste tem como hipótese nula a ausência de correlação entre as variáveis, o que implicaria a irrelevância de agrupar variáveis em fatores. Se o teste indicar significância estatística ( $p < 0,05$ ), conclui-se que existe algum grau de associação entre as variáveis, possibilitando o uso da análise fatorial (Matos; Rodrigues, 2019).

Outro indicador importante é a matriz anti-imagem, que examina a adequação dos dados por meio das correlações parciais. Nos elementos da diagonal principal, encontram-se os valores do *Measure of Sampling Adequacy* (MSA), os quais indicam a adequação de cada variável à análise. Valores mais altos de MSA sugerem que a variável contribui bem para a

formação dos fatores, enquanto valores baixos podem justificar sua exclusão (Hair Jr. *et al.*, 2005).

Neste estudo, utilizou-se a Análise dos Componentes Principais (ACP), uma técnica que maximiza a variância total explicada ao formar combinações lineares das variáveis observadas. A ACP é particularmente eficaz quando o objetivo é explicar o desempenho com o menor número de fatores possível. A determinação do número de fatores a serem retidos foi baseada no critério da raiz latente, também conhecido como critério de Kaiser, que seleciona fatores com valores próprios superiores a 1, indicando uma contribuição significativa para a variância total dos dados (Mingoti, 2005; Fávero *et al.*, 2009).

Para facilitar a interpretação dos fatores, adotou-se o método de rotação ortogonal Varimax, que mantém a independência entre os fatores enquanto minimiza o número de variáveis com altas cargas em múltiplos fatores. Isso possibilita que cada variável esteja mais claramente associada a um único fator, simplificando a análise (Reis, 2001). A adequação geral dos dados à análise fatorial foi verificada com o Índice *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), que mede a proporção de variância comum entre as variáveis. Quanto maior o KMO, melhor a adequação dos dados para essa metodologia (Hair Jr. *et al.*, 1998).

### ***3.3.3 Índice de desempenho operacional dos estados do Nordeste brasileiro***

De acordo com a metodologia apresentada por Santana (2007), o Índice de Desempenho é definido a partir de uma combinação linear ponderada dos escores fatoriais, os quais são obtidos por meio da análise fatorial. Cada fator contribui para o índice de acordo com a proporção da variância que explica em relação à variância total comum do modelo. Essa abordagem permite que os diferentes fatores sejam incorporados de maneira proporcional à sua relevância estatística, proporcionando uma mensuração robusta e objetiva do desempenho operacional dos serviços de água e esgoto.

Para calcular o Índice de Desempenho referente aos serviços de água e esgoto nos municípios nordestinos, são estimados escores fatoriais específicos para cada unidade da amostra. Esses escores são então utilizados para compor o índice final, que é representado matematicamente de acordo com uma equação que considera a ponderação dos fatores de acordo com sua variância explicada, conforme mostrado na Equação 10.

$$ID = \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_j}{\sum_j \lambda_j} FP_{ji} \quad (10)$$

Em que: ID representa o índice de desempenho dos estados do Nordeste brasileiro no fornecimento de serviços de água e esgoto;  $\lambda_j$ , percentual da variância explicada pelo fator  $j$ ;  $k$ , total de fatores escolhidos;  $FP_{ji}$ , escore fatorial, padronizado pelo elemento da amostra  $i$ , do fator  $j$ , que pode ser expresso pela Equação 11.

$$FP_{ji} = \frac{F_j - F_{min}}{F_{max} - F_{min}} \quad (11)$$

Em que:  $F_{min}$  diz respeito ao escore fatorial mínimo do fator  $j$ ; e  $F_{max}$  corresponde ao escore fatorial máximo do fator  $j$ . O índice fornece um escore que pode variar de zero a um. Para a análise dos resultados neste estudo, considera-se que, se o valor do índice for maior do que 0,70, tem-se um alto desempenho; se obtiver valor compreendido entre 0,50 e 0,70, desempenho intermediário; e se o valor do índice for menor do que 0,50, baixo desempenho.

A análise fatorial, conforme descrita por Souza *et al.* (2009), é uma técnica amplamente utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados ao agrupar variáveis correlacionadas em fatores comuns. No presente estudo, essa técnica foi aplicada para dois períodos específicos: o ano de 2007, quando foi implementada a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), e o ano de 2020, o último período com dados disponíveis. Essa abordagem permite uma avaliação comparativa do impacto da política ao longo do tempo, utilizando a agregação dos dados das variáveis selecionadas para os dois anos considerados.

Esse tipo de análise fatorial também foi utilizado por outros autores em estudos semelhantes de avaliação de políticas públicas. Por exemplo, Oliveira e Lima (2012) aplicaram a técnica para avaliar o desempenho dos serviços de saneamento básico em diferentes regiões do Brasil, antes e depois de reformas institucionais. Da mesma forma, Silva e Andrade (2015) utilizaram a análise fatorial para mensurar o impacto das políticas de infraestrutura sobre o desenvolvimento urbano, permitindo a identificação de padrões regionais no acesso aos serviços de água e esgoto.

Além disso, a escolha de 2007 como ponto de referência inicial para a análise reflete a importância do marco regulatório da PNSB, que estabeleceu diretrizes para a universalização do saneamento no Brasil. A comparação entre os dados de 2007 e 2020 proporciona uma visão abrangente dos avanços e desafios persistentes no setor, utilizando a análise fatorial como uma

ferramenta eficaz para sintetizar informações complexas e multifatoriais.

### 3.3.4 Regressão Quantílica

A regressão é uma técnica estatística amplamente utilizada para investigar a relação entre variáveis, sendo aplicada em diversas áreas do conhecimento. De acordo com Gujarati (2000), uma análise de regressão permite a avaliação de como uma ou mais variáveis independentes afetam uma variável dependente, sendo uma das abordagens mais comuns em pesquisas, como reforçam Peck e Vining (2012). O modelo de regressão foi desenvolvido para analisar situações em que se espera que uma variável dependente esteja associada a outras medidas, sendo geralmente obtida a partir de um mesmo objeto de estudo (Searle, 1971).

A Regressão *Quantílica* surge como uma extensão do modelo de regressão linear tradicional, permitindo uma análise detalhada dos quantis da distribuição condicional da variável resposta. Segundo Koenker e Bassett (1978), essa abordagem é particularmente útil quando o interesse da pesquisa vai além da média, focando no comportamento das variáveis nos extremos dos dados. Esse método tem sido amplamente aplicado em cenários em que a distribuição é assimétrica, oferecendo uma solução robusta para esse tipo de problema (Maciel *et al.*, 2001; Silva, 2003; Diniz, 2009; Alves Filho, 2014; Puiatti, 2018).

Uma das principais vantagens da Regressão *Quantílica* é a possibilidade de estimar múltiplas retas para diferentes quantis, ao invés de focar apenas na média, como ocorre no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Dessa forma, ela oferece uma caracterização mais completa da distribuição condicional de uma variável resposta com base em um conjunto de regressores, conforme destacado por Silva (2003). A robustez da Regressão *Quantílica* a *outliers* e a sua aplicabilidade em distribuições não gaussianas são aspectos que tornam esse método ideal para dados que apresentam aparentes suposições de normalidade. Além disso, é possível estimar intervalos de confiança diretamente a partir dos quantis condicionais de interesse, o que amplia sua aplicação em contextos em que os valores atípicos podem distorcer a análise realizada por métodos tradicionais (HAO *et al.*, 2007).

Portanto, o uso da Regressão *Quantílica* é particularmente vantajoso em estudos que envolvem população heterogênea ou dados com distribuição assimétrica. Sua robustez e flexibilidade em relação à regressão linear simples tornam-na uma ferramenta útil em contextos em que a média pode não ser uma medida adequada do comportamento das variáveis, especialmente em cenários com *outliers* ou distribuição não normal dos dados.

A avaliação dos parâmetros na Regressão *Quantílica* baseia-se no processo de minimizar uma função específica, como descrito na Equação 12, em que o valor de  $q$  representa o quantil de interesse, variando entre 0 e 1. Esse procedimento permite ajustar o modelo de forma a refletir o comportamento da variável resposta em diferentes quantis de sua distribuição condicional.

$$Qn(\beta q) = \sum_{i:y_i \geq x_i \beta q}^n q | y_i - x_i' \beta q | \quad (12)$$

A metodologia de avaliação da Regressão *Quantílica* envolve a minimização da soma ponderada dos desvios absolutos da regressão, ao invés de utilizar a soma dos quadrados dos resíduos como na técnica dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Quando o quantil é igual a 0,5, o modelo é conhecido como regressão mediana, sendo sua principal característica a robustez em relação à presença de *outliers*. Essa robustez deve-se ao fato de que, nesse caso, a intenção é minimizar a soma dos resíduos absolutos (LAD), tornando-a menos suscetível a valores extremos que podem interferir nos resultados da regressão tradicional por MQO (Koenker; Bassett, 1978).

Ainda de acordo com os autores, uma das principais vantagens da Regressão *Quantílica* em relação ao MQO está na capacidade de controlar a heterocedasticidade dos resíduos ao dar pesos diferentes a partes separadas da distribuição condicional da variável resposta. Em cenários em que os modelos não são lineares ou apresentam visões, com resíduos não normalmente distribuídos, as estimativas fornecidas pela Regressão *Quantílica* tendem a ser mais eficientes, oferecendo uma alternativa mais robusta para lidar com a violação dessas previsões, que são comuns em dados empíricos.

Neste estudo, a aplicação da Regressão *Quantílica* permitiu uma análise abrangente da distribuição condicional da variável de resposta, ao considerar os diferentes quantis. Ao contrário dos métodos tradicionais que focam na média, a Regressão *Quantílica* utiliza todos os dados disponíveis para estimar os coeficientes associados aos quantis selecionados, evitando a interferência de *outliers* e proporcionando uma visão mais completa sobre o impacto de cada regressor na distribuição. Isso é particularmente relevante quando o objetivo é investigar como diferentes partes da distribuição se comportam, ao invés de se concentrar apenas no efeito médio.

A escolha pela Regressão *Quantílica* também se justifica pela sua eficiência superior em comparação ao MQO, especialmente em situações em que os erros não seguem uma

distribuição normal. Neste estudo, os modelos estimados foram para diferentes quantis – 0,10, 0,25, 0,50, 0,75 e 0,90 – permitindo uma análise detalhada das variações observadas. Essa abordagem possibilitou uma avaliação mais precisa das relações entre os regressores e a resposta variável, considerando tanto os efeitos médios quanto os efeitos nos extremos da distribuição, fornecendo uma análise mais robusta e detalhada das características dos dados coletados.

### ***3.3.5 Estrutura dos dados e variáveis utilizadas***

Os dados utilizados nesta pesquisa são de natureza secundária, extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a principal plataforma que centraliza dados e informações sobre o setor de saneamento no Brasil. O SNIS abrange todo o território nacional e disponibiliza informações detalhadas sobre a prestação de serviços relacionados ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem urbana. Essa base de dados fornece indicadores que abrangem aspectos institucionais, operacionais, econômicos e de qualidade na prestação dos serviços de saneamento básico, sendo uma fonte essencial para a análise de desempenho das prestadoras de serviço na região Nordeste (Brasil, 2019; SNIS, 2020).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram extraídos do SNIS dados desagregados e organizados de acordo com variáveis específicas, como o ano de referência, o tipo de serviço prestado, a abrangência territorial, a natureza jurídica das prestadoras e a região Nordeste, que foi o foco deste estudo. A filtragem dos dados permitiu isolar as informações pertinentes para os municípios da região, garantindo a coerência com os objetivos da pesquisa e assegurando que os indicadores extraídos refletem a realidade operacional dos serviços de saneamento básico no Nordeste.

As variáveis selecionadas incluem informações sobre o volume de água produzido e consumido, índices de perdas na distribuição, índices de atendimento e de faturamento, entre outros indicadores essenciais para a avaliação do desempenho das prestadoras de serviço. Essas variáveis foram escolhidas com base em sua relevância para medir a eficiência operacional e a qualidade dos serviços de saneamento prestados, permitindo uma análise aprofundada das condições de saneamento nos estados do Nordeste e viabilizando comparações entre os municípios da região.

Para esta pesquisa, os dados analisados cobrem o período de 2007, ano da implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), e 2020, ano mais recente com dados disponíveis.

A escolha desse período permite uma comparação detalhada entre o cenário anterior e posterior à implementação da PNSB, com o intuito de avaliar o impacto das políticas públicas no setor de saneamento.

As variáveis operacionais selecionadas para a análise estão relacionadas aos serviços de água e esgoto, com base nos estudos desenvolvidos por Scriptore e Toneto Júnior (2012), Pereira *et al.* (2015) e Nunes *et al.* (2018). O Quadro 3 apresenta a definição e unidade de medida das variáveis selecionadas.

Quadro 3 – Indicadores operacionais selecionados dos serviços de água e esgoto (*Continua*)

Variáveis	Definição	Unidade
1. Volume de água faturado (AG0111)	Volume anual de água debitado ao total de economias para fins de faturamento.	1.000 m <sup>3</sup> /ano
2. Volume de esgotos faturado (ES007)	Volume anual de esgoto debitado ao total de economias, para fins de faturamento.	1.000m <sup>3</sup> /ano
3. Despesas totais com os serviços (FN017)	Valor anual total do conjunto das despesas realizadas para a prestação dos serviços, compreendendo despesas de exploração, despesas com juros e encargos das dívidas (incluindo as despesas decorrentes de variações monetárias e cambiais), despesas com depreciação, amortização do ativo diferido e provisão para devedores duvidosos, despesas fiscais ou tributárias não computadas nas despesas de exploração, mas que compõem as despesas totais com serviços, além de outras despesas com os serviços.	R\$/ano
4. Receita operacional direta de água (FN002)	Valor faturado anual decorrente da prestação do serviço de abastecimento de água, resultante exclusivamente da aplicação de tarifas e/ou taxas, excluídos os valores decorrentes da venda de água exportada no atacado (bruta ou tratada).	R\$/ano
5. Receita operacional direta de esgoto (FN003)	Valor faturado anual decorrente da prestação do serviço de esgotamento sanitário, resultante exclusivamente da aplicação de tarifas e/ou taxas, excluídos os valores decorrentes da importação de esgotos.	R\$/ano
6. Despesas de Exploração (FN015)	Valor anual das despesas realizadas para a exploração dos serviços, compreendendo despesas com pessoal, produtos químicos, energia elétrica, serviços de terceiros, água importada, esgoto exportado, despesas fiscais ou tributárias computadas nas despesas de exploração, além de outras despesas de exploração.	R\$/ano

Quadro 3 – Indicadores operacionais selecionados dos serviços de água e esgoto (*Conclusão*)

Variáveis	Definição	Unidade
7. População urbana atendida com abastecimento de água (AG026)	População urbana atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços.	Habitantes
8. População urbana atendida com esgoto sanitário (ES026)	População urbana, total de residentes nos municípios em que o prestador de serviços atua com serviços de abastecimento de água (aplica-se aos dados agregados da amostra de prestadores de serviços). Inclui tanto a população beneficiada quanto a que não é beneficiada com os serviços.	Habitantes
9. População urbana do município do ano de referência de acordo com o IBGE (POP_URB)	População urbana do município. Inclui tanto a população atendida quanto a que não é atendida com os serviços. No SNIS é adotada uma estimativa usando a respectiva taxa de urbanização do último Censo ou Contagem de População do IBGE, multiplicada pela população total estimada anualmente pelo IBGE.	Habitantes
10. Volume de água produzido (AG006)	Volume anual de água disponível para consumo, compreendendo a água captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada, ambas tratadas na(s) unidade(s) de tratamento do prestador de serviços, medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s) ou UTS(s). Inclui também os volumes de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada, que sejam disponibilizados para consumo sem tratamento, medidos na(s) respectiva(s) entrada(s) do sistema de distribuição.	1.000m <sup>3</sup> /ano
11. Volume de serviço (AG024)	Volume anual de água total usados para atividades operacionais e especiais, acrescido do volume de água recuperado.	1.000m <sup>3</sup> /ano
12. Volume de água consumido (AG010)	Volume anual de água consumido pelos usuários, compreendendo o volume micromedido, o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado para outro prestador de serviços.	1.000m <sup>3</sup> /ano

Fonte: SNIS (2023)

As variáveis selecionadas foram utilizadas para a construção de indicadores de desempenho, cujas definições estão apresentadas no Quadro 3. Esses indicadores foram elaborados conforme os critérios metodológicos estabelecidos pelo Sistema Nacional de

Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), que oferece uma base padronizada e amplamente reconhecida para a avaliação de serviços de saneamento básico no Brasil. O Quadro 4 detalha a formulação de cada indicador, descrevendo suas características, unidades de medida e a forma como foram formatados para fins de análise. Esses indicadores permitem uma avaliação abrangente e técnica da eficiência operacional e financeira das prestadoras de serviços de água e esgoto.

Quadro 4 – Variáveis Operacionais de Água e Esgoto

Índices	Definição	Unidade
1. Índice de atendimento urbano de água (IN023)	Razão entre a população urbana atendida com abastecimento de água e a população urbana residente nos municípios que possuem abastecimento de água.	%
2. Índice de perdas de distribuição (IN049)	Razão da diferença entre o volume de água produzido e consumido e o volume produzido.	%
3. Índice de faturamento de água (IN028)	Razão entre o volume de água faturado e o volume total de água produzido, tratada importada e tratada exportada.	%
4. Índice de consumo de água (IN052)	Razão do volume de água consumido e o volume total de água produzido, de água tratada importada e volume de serviço.	%
5. Tarifa média praticada (IN004)	Razão entre as receitas operacionais diretas de água e esgoto e o volume total de água faturado	R\$/m <sup>3</sup>
6. Despesa total de serviços (IN003)	Razão entre as despesas totais de serviços e o volume total de água faturado	R\$/m <sup>3</sup>
7. Empregados próprios por 1000 ligações de água e de esgoto (FN026)	Razão entre o total de empregados próprios e o total de ligações ativas de água e de esgoto.	Empregados
8. Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto (IN047)	Razão entre a população urbana atendida com esgotamento sanitário e a população urbana residente nos municípios que possuem esgotamento sanitário.	%
9. Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água (IN056)	Razão entre a população urbana atendida com esgotamento sanitário e a população urbana residente nos municípios que possuem abastecimento de água.	%

Fonte: SNIS (2023)

### ***3.3.6 Estatística descritiva dos índices e variáveis utilizadas na análise fatorial***

A análise dos dados apresentados na Tabela 22 revelam variações importantes nos indicadores de desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste entre os anos de 2007 e 2020. O comportamento dessas variáveis proporciona uma visão abrangente dos desafios enfrentados pelos estados na gestão de recursos hídricos e seu abastecimento de saneamento básico, refletindo mudanças tanto positivas quanto negativas ao longo do período.

Primeiramente, observa-se um aumento significativo nas despesas totais com os serviços por metro cúbico faturado, que passou de uma média de 1,55 em 2007 para 4,49 em 2020, com valores máximos saltando de 2,685 para 5,24 no mesmo período. Esse aumento expressivo nas despesas reflete a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura e modernização de sistemas de abastecimento e tratamento de água e esgoto. Contudo, o crescimento desses custos também evidencia os desafios econômicos enfrentados pelos estados na busca pela universalização do saneamento, sendo necessário equilibrar o aumento das despesas com a sustentabilidade dos serviços.

Paralelamente, a tarifa média praticada também apresentou um aumento específico. A média subiu de 1,59 em 2007 para 4,28 em 2020, o que representa um aumento de cerca de 150%. Esse aumento nas tarifas pode ter gerado impacto direto no comportamento dos consumidores, influenciando a redução no consumo de água em alguns estados. Embora as tarifas elevadas possam ser úteis para cobrir os custos operacionais e garantir a manutenção da qualidade dos serviços, elas também podem sobrecarregar a população, especialmente em regiões com maior vulnerabilidade econômica. Esse ponto levanta a discussão sobre a necessidade de se implementar políticas tarifárias justas, que consideram tanto a necessidade de financiamento dos serviços quanto a capacidade de pagamento da população.

Outro indicador que merece destaque é o índice de atendimento urbano de água, que apresentou uma leve queda no período, passando de uma média de 92,43% em 2007 para 89,75% em 2020. Embora o valor máximo se mantenha próximo de 100% em ambos os anos, a redução na média sugere dificuldades na expansão da infraestrutura de abastecimento de água, especialmente em áreas urbanas em crescimento ou com limitações econômicas. Isso aponta para a necessidade de maiores esforços por parte dos estados para ampliar a cobertura dos serviços de água, garantindo que mais pessoas tenham acesso regular e de qualidade a esse recurso vital.

O índice de faturamento de água também apresentou uma redução significativa, caindo de 64,21% em 2007 para 59,24% em 2020. Essa queda sugere uma redução na eficiência

das empresas fornecedoras de arrecadação pelos serviços prestados, o que pode estar relacionado a problemas na cobrança, aumento da inadimplência ou fraudes. O declínio no índice de faturamento é um alerta importante, uma vez que a sustentabilidade financeira dos serviços de água depende da capacidade que as empresas têm de conversão suficiente de água em receitas adequadas para a manutenção e expansão da infraestrutura.

Outro ponto crítico evidenciado na análise é o aumento no índice de perdas na distribuição, que passou de uma média de 46,29% em 2007 para 45,55% em 2020. Apesar de representar um nível de aumento, as perdas na distribuição de água continuam a ser um dos maiores desafios enfrentados pelos estados do Nordeste. O aumento no coeficiente de variação das perdas reflete que, embora alguns estados tenham conseguido conter esse problema, outros continuam a enfrentar grandes dificuldades para reduzir as perdas no sistema. A persistência desse problema indica falhas nas redes de distribuição, como vazamentos, roubo de água e falta de modernização da infraestrutura, comprometendo tanto a eficiência do sistema quanto a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Por outro lado, os índices de atendimento urbano e total de esgoto mostraram uma ligeira melhora entre 2007 e 2020. O índice de atendimento urbano de esgoto caiu de 84,92% para 76,38%, enquanto o índice total de esgoto apresentou uma leve elevação de 54,31% para 53,30%. Apesar dessas variações pontuais, os índices ainda indicam grandes desafios na universalização dos serviços de esgoto. A melhoria nos índices de atendimento urbano é um ponto positivo, mas o atendimento total de esgoto ainda está muito aquém do ideal, refletindo a necessidade urgente de mais investimentos em saneamento, tanto na coleta quanto no tratamento de esgoto.

Em suma, uma análise revela que, apesar de algumas melhorias importantes, como o aumento no número de trabalhadores e do atendimento ao esgoto, os estados do Nordeste ainda enfrentam grandes desafios. O aumento das despesas, os altos índices de perdas e a queda no consumo de água sugerem que, além de mais investimentos, é necessária uma gestão mais eficiente dos recursos e da infraestrutura. A pressão exercida pelo aumento das tarifas também é um ponto de atenção, uma vez que pode influenciar o comportamento dos consumidores e a capacidade de pagamento. Para garantir a sustentabilidade dos serviços de saneamento na região, será essencial promover uma gestão equilibrada, a qual considere tanto os desafios financeiros quanto a necessidade de expandir o acesso aos serviços de qualidade.

Tabela 22 – Análise descritiva dos indicadores e variáveis fatoriais

Variáveis	Mínimo		Máximo		Média		Coeficiente de Variação (%)	
	2007	2020	2007	2020	2007	2020	2007	2020
Despesa total com os serviços por m <sup>3</sup> faturado	0,855	3,56	2,685	5,24	1,55	4,49	4,11	15,09
Tarifa média praticada	1,035	3,73	2,040	4,96	1,59	4,28	2,07	12,28
Índice de atendimento urbano de água	68,720	75,07	100,000	98,39	92,43	89,75	1,10	9,23
Índice de consumo de água	31,610	40,91	81,480	66,02	53,71	54,45	3,10	13,65
Índice de faturamento de água	31,450	36,19	91,275	76,91	64,21	59,24	3,07	19,33
Índice de perdas na distribuição	18,520	33,98	68,390	59,09	46,29	45,55	3,60	16,31
Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	6,990	13,83	31,210	41,94	17,02	27,26	4,82	33,13
Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	9,030	36,92	43,190	66,37	23,31	47,10	4,90	22,98

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

### 3.3.7 Avaliação estatística das variáveis na Regressão Quantílica

A Tabela 23, a seguir, apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas na análise dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos estados da região Nordeste do Brasil, com base nos dados Ano base 2020. A análise se baseia em indicadores que refletem tanto o desempenho operacional quanto a saúde financeira dos sistemas de saneamento, permitindo uma visão ampla das condições dos municípios nordestinos.

Tabela 23 – Análise descritiva das variáveis utilizadas na Regressão Quantílica (Continua)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Coeficiente de Variação (%)
População urbana atendida com abastecimento de água	1.057,00	950.724,00	53.243,18	232,20

Tabela 23 – Análise descritiva das variáveis utilizadas na Regressão Quantílica (Conclusão)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Coeficiente de Variação (%)
População urbana Atendida com esgotamento sanitário	0,0	983.370,00	224.632,93	98,12
População urbana do município do ano de referência	1.425,00	2.686,612	41.004,73	5,18
Volume de água produzido	0,0	989.300,00	445.908,61	65,87
Volume de água consumido	55.870,00	995.760,00	437.150,95	58,38
Volume de água faturado	73.63 0,00	994.050,00	488.120,11	53,59
Volume de serviço	0,0	12.834,73	134,25	7,59
Volume de esgotos faturado	0,0	983.370,00	224.632,93	98,12
Receita operacional direta de água	200.000,00	544.876.243,11	7.538.698,71	5,71
Receita operacional direta de esgoto	22.640,00	324.943.154,14	3.084.165,15	8,30
Despesas de Exploração	325.185,79	533.888.216,53	7.987.503,15	5,29
Despesas totais com os serviços	325.185,79	700.968.802,65	9.823.506,63	5,63

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A análise dos dados apresentados na tabela evidencia as disparidades significativas nos serviços de água e esgoto dos municípios da região Nordeste. A população urbana atendida com abastecimento de água possui uma média de 53.243,18 habitantes, com um coeficiente de variação de 232,2%, o que indica uma grande variação na cobertura desse serviço entre os municípios. O valor mínimo registrado foi de 1.057 habitantes, enquanto o máximo alcançou 950.724,00, refletindo a existência de localidades com sistemas de abastecimento muito limitados e grandes centros com maior cobertura.

Para a população urbana atendida com esgotamento sanitário, os dados indicam uma média de 224.632,93 habitantes, com um coeficiente de variação de 98,12%. Esse valor destaca uma desigualdade significativa entre os municípios, muitos dos quais ainda carecem de sistemas de esgotamento sanitário adequados. O valor agregado máximo foi de 983.370,00

habitantes, enquanto o mínimo foi de 0, o que sugere que alguns municípios não possuem quaisquer infraestruturas para tratamento de esgoto.

No que diz respeito ao volume de água produzido, a média registrada foi de 445.908,51 m<sup>3</sup>/ano, com um coeficiente de variação de 65,87%, proporcionando uma variação especial na capacidade de produção de água entre os municípios. O valor foi máximo de 989.300 m<sup>3</sup>/ano, enquanto o mínimo foi de 0, o que pode representar municípios que dependem de fontes externas para o abastecimento ou que não produziram água em um determinado período.

O volume de água consumido apresenta uma média de 437.151 m<sup>3</sup>/ano, com um coeficiente de variação de 58,38%. A diferença entre a produção e o consumo de água reflete possíveis perdas no sistema de distribuição, comum em redes de saneamento. O volume máximo consumido foi de 995.760 m<sup>3</sup>/ano, enquanto o mínimo foi de 55.870 m<sup>3</sup>/ano.

O volume de água faturado apresenta uma média de 488.120 m<sup>3</sup>/ano, com um coeficiente de variação de 53,59%. Esse dado é essencial para avaliar a eficiência dos operadores na conversão do consumo em receita. O valor mínimo foi de 73.630 m<sup>3</sup>/ano, e o máximo foi de 994.050 m<sup>3</sup>/ano, ressaltando que, em alguns casos, há perdas consideráveis no sistema, que podem ser atribuídas à ineficiência na medição ou cobrança.

Em relação ao volume de esgoto faturado, a média foi de 224.633 m<sup>3</sup>/ano, com um coeficiente de variação de 98,12%, mostrando novamente a desigualdade na oferta e distribuição dos serviços de esgoto. O valor máximo registrado foi de 983.370 m<sup>3</sup>/ano, enquanto o mínimo foi de 0, indicando que muitos municípios ainda não faturam pelo serviço de esgotamento sanitário.

As receitas operacionais diretas de água tiveram uma média de R\$ 7.538.698,71 com um coeficiente de variação de 5,71%. O valor máximo foi de R\$544.876.243,11 refletindo a importância econômica do serviço em municípios maiores. Por outro lado, as receitas operacionais diretas de esgoto coletaram uma média de R\$3.084.165,15 com uma taxa de variação de 8,30%, diminuindo uma menor geração de receitas para os serviços de esgotamento sanitário, o que é esperado devido à menor cobertura desse serviço.

As despesas de exploração médias foram de R\$7.987.503,15 com um coeficiente de variação de 5,29%, e as despesas totais com os serviços atingiram uma média de R\$ 9.823.506,63, com um coeficiente de variação de 5,63%. Esses dados refletem o elevado custo operacional dos serviços de saneamento, particularmente em municípios com maior demanda e infraestrutura mais desenvolvida, nos quais as despesas máximas chegam a R\$700.968.802,65.

Em resumo, a análise das variáveis demonstra uma ampla variação nos indicadores de água e esgoto entre os municípios do Nordeste, refletindo desafios importantes na universalização e eficiência desses serviços. A alta variabilidade na cobertura e receitas sugere que muitos municípios ainda carecem de infraestrutura adequada, o que reforça a necessidade de investimentos públicos e políticas externas para a expansão e melhoria da qualidade dos serviços de saneamento básico.

### 3.4 Resultados e discussão

Neste tópico, são apresentados os resultados da pesquisa, iniciando com a análise descritiva das variáveis utilizadas, seguida pela avaliação do desempenho dos indicadores operacionais relacionados aos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste. Em seguida, discutem-se os resultados da Regressão *Quantílica* aplicada, que permite uma compreensão mais detalhada dos fatores determinantes da eficiência dos serviços de saneamento nos municípios estudados. Essa abordagem proporciona uma visão abrangente do comportamento das variáveis, considerando não apenas a média, mas também os extremos da distribuição dos dados.

#### 3.4.1 Análise fatorial

A análise estatística foi conduzida com rigor, utilizando o teste de esfericidade de *Bartlett*, que apresentou um valor de 149,79, com significância a 0% de probabilidade, assegurando a validade da aplicação do modelo fatorial aos dados. Esse resultado indica que as variáveis analisadas possuem correlações significativas, justificando a adequação para a aplicação da análise fatorial. O valor de *Bartlett's K-squared* (149,79) e os 9 graus de liberdade (df) reforçam que as variâncias das variáveis não são homogêneas, confirmando a presença de correlações entre elas. O *p-valor* < 2.2e-16 evidencia que a hipótese nula de homogeneidade das variâncias pode ser rejeitada com alto nível de confiança, validando a análise.

Além disso, o teste de *Kaiser-Meyer-Olkin* (*KMO*) resultou em um valor de 0,5, o que indica uma correlação moderada entre as variáveis. Embora o valor seja considerado apenas marginalmente aceitável, ele sugere que os dados são suficientes para a análise fatorial, ainda que a interpretação dos fatores deva ser realizada com cautela. Em conjunto, esses resultados conferem solidez ao procedimento metodológico adotado, garantindo a confiabilidade da

estrutura dos dados e a robustez do modelo utilizado para avaliar os indicadores operacionais dos serviços de água e esgoto nos municípios analisados. A aplicação desses testes estatísticos confirma que o conjunto de dados utilizado no estudo apresenta as condições necessárias para uma avaliação factorial consistente, permitindo a extração de fatores significativos que explicam a variabilidade observada nos indicadores analisados.

A Tabela 24 apresenta as raízes características da matriz de correlações, as quais explicam a maior parte da variância total dos dados. O fator 1 possui uma raiz característica de 3,54 explicando 38% da variância total, enquanto o fator 2 explica 31%, com uma raiz de 2,85 totalizando uma variância acumulada de 64%. O fator 3 contribui com 10%, atingindo uma variância acumulada de 85%. Os fatores 4 e 5 adicionam 8% e 13%, respectivamente, resultando em uma variância acumulada de 93%.

Esses resultados indicam que os cinco principais fatores explicam 93% da variância total dos dados, com destaque para o fator 1, que sozinho é responsável por 38% da variância. A capacidade explicativa desses fatores evidencia que os indicadores operacionais selecionados são representativos das variáveis de desempenho dos serviços de água e esgoto, refletindo as condições dos municípios analisados nos estados do Nordeste.

Tabela 24 – Variância explicada

<b>Fatores</b>	<b>Raiz Característica</b>	<b>Variância explicada pelo fator (%)</b>	<b>Variância Acumulada (%)</b>
MR1	3,54	38	35
MR2	2,85	31	64
MR3	0,90	10	85
MR4	0,75	8	93
MR5	1,25	13	76

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A Tabela 25 apresenta as cargas fatoriais rotacionadas e as comunidades referentes aos indicadores de desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste, baseadas na análise factorial com rotação ortogonal. A matriz de cargas fatoriais (representadas pelos fatores MR1, MR2, MR5, MR4, MR3), bem como as estatísticas que apresentam a qualidade de ajuste, como  $h^2$ ,  $u^2$ , e comunidades para diferentes variáveis relacionadas a indicadores de saneamento, assim no que significam as colunas  $h^2$  - “Comunidade” ( $h^2$ ) é variância total proporcional a uma variável que é explicada pelo

conjunto de componentes principais ou fatores, ou pode ser compreendida como a proporção da variância explicada pelos fatores, com valores próximos de 1 indicando que os fatores explicam bem a variância da variável, bem como  $u^2$  - é a parte da variância de uma variável que não é explicada pelos componentes principais ou fatores, e comunalidades,  $u^2$  é vista como o complemento de  $h^2$  (ou seja,  $1 - h^2$ ), exceto pelos possíveis erros nos valores de  $u^2$ , que normalmente devem ser pequenos quando  $h^2$  é alto; já a Complexidade indica a complexidade das variáveis, com valores maiores sugerindo que uma variável está associada a mais de um fator.

Nessa análise, foram destacados os coeficientes fatoriais com valores absolutos superiores a 0,7, os quais indicam uma relação mais forte entre as variáveis e os respectivos fatores. As comunalidades ( $h^2$ ) indicam o percentual de variabilidade captado por todos os fatores para cada variável, enquanto o termo ( $u^2$ ) refere-se à variabilidade não explicada pelo modelo. A complexidade, por sua vez, indica a quantidade de fatores envolvidos na explicação de cada variável.

Entre os principais achados, destaca-se a variável Despesa total com os serviços por  $m^3$  faturado, que apresentou uma forte carga fatorial de 0,96 no fator MR1, com uma comunalidade de 0,94, sugerindo que essa variável é amplamente explicada por esse fator. Tal resultado reflete a robustez do modelo em captar a relação entre despesas e faturamento nos serviços de água e esgoto. Outro destaque é a variável Tarifa média, praticada com uma carga fatorial de 0,98 também em MR1 e uma comunalidade próxima de 1,00, o que evidencia que esse fator é o principal responsável por explicar a variação dessa variável.

No fator MR2, observa-se uma forte relação com o Índice de consumo de água, que possui uma carga fatorial de 0,97 e uma comunalidade de 1,00, demonstrando que essa variável é quase totalmente explicada por esse fator. Além disso, o Índice de faturamento de água apresentou uma carga fatorial elevada de 0,91 no mesmo fator, com uma comunalidade de 0,98, reforçando a forte correlação entre consumo, faturamento e perdas.

O Índice de perdas na distribuição apresentou uma carga negativa de -0,97 em MR2, destacando a relação inversa entre esse fator e as perdas no sistema. Esse achado é significativo, pois indica que o aumento das perdas está fortemente associado à diminuição da eficiência no consumo e faturamento de água, o que reflete uma importante variável operacional no desempenho dos estados do Nordeste.

Outro ponto relevante é o Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água, o qual apresentou uma carga fatorial de 0,84 no fator MR5, com uma comunalidade de 1,00, revelando que esse fator captura de maneira eficaz a

variabilidade relacionada ao atendimento de esgoto. De maneira semelhante, o Índice de atendimento urbano de esgoto também se destaca, com uma carga fatorial de 0,71 no fator MR1 e uma comunalidade de 0,95, o que indica que essa variável é parcialmente explicada por mais de um fator, conforme refletido pela sua complexidade de 2.2.

Os valores das comunalidades indicam que a maioria das variáveis possuem uma alta proporção de sua variabilidade explicada pelos fatores. As variáveis Índice de atendimento urbano de esgoto e Índice de atendimento total de esgoto se destacam, demonstrando uma elevada explicação pelos fatores associados. Em contraste, variáveis como Índice de atendimento urbano de água, com uma comunalidade de 0,67, apresentam menor percentual de explicação pelos fatores analisados, o que pode indicar a necessidade de incluir outros indicadores ou fatores explicativos no modelo.

Esses resultados evidenciam a complexidade e a multidimensionalidade envolvidas no desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste. As variáveis com cargas fatoriais elevadas reforçam a importância de certos indicadores, como as tarifas, consumo e faturamento, na avaliação da eficiência operacional. A análise fatorial rotacionada permite, assim, uma melhor compreensão das variáveis críticas para o desempenho desses serviços, servindo como base para a formulação de políticas públicas e otimização dos recursos operacionais.

Já a matriz de cargas fatoriais (representadas pelos fatores MR1, MR2, MR5, MR4, MR3), bem como as estatísticas que apresentam a qualidade de ajuste como  $h^2$ ,  $u^2$ , e comunalidades para diferentes variáveis relacionadas a indicadores de saneamento, assim no que significam as colunas  $h^2$  - “Comunalidade” ( $h^2$ ) é variância total proporcional a uma variável que é explicada pelo conjunto de componentes principais ou fatores, ou pode ser compreendida como a proporção da variância explicada pelos fatores, com valores próximos de 1, indicando que os fatores explicam bem a variância da variável, bem como  $u^2$  - é a parte da variância de uma variável que não é explicada pelos componentes principais ou fatores, e comunalidades,  $u^2$  é vista como o complemento de  $h^2$  (ou seja,  $1 - h^2$ ), exceto pelos possíveis erros nos valores de  $u^2$ , os quais, normalmente, devem ser pequenos quando  $h^2$  é alto, por fim a Complexidade ou (com): indica a complexidade das variáveis, com valores maiores sugerindo que uma variável está associada a mais de um fator.

Assim, a Despesa total com os serviços por m<sup>3</sup> faturado possui dentre as Cargas fatoriais MR1, MR2, MR5, MR4, MR3. O maior valor é 0.96 em MR1, o que indica que esse fator tem o maior impacto sobre essa variável, em que  $h^2$  (0.94) representa que 94% da variância dessa variável é explicada pelos fatores no modelo, onde  $u^2$  (0.1623): O valor de

u2 reflete corretamente que 16% da variância desta variável não é explicada pelos fatores, Complexidade de (1.1): Esse valor indica uma complexidade intermediária, sugerindo que a variável é moderadamente explicada por múltiplos fatores, mas MR1 é dominante.

Quando tratamos da Tarifa média praticada, destacam-se as Cargas fatoriais: O maior valor é 0.98 em MR1, onde h2 (0.99) é por sua forma capaz de explicar 100% da variância dessa variável por meio dos fatores, onde u2 (0.0634) ou aproximadamente 6% da variância não é explicada pelos fatores, de tal forma que a Comunalidade (1.1): Indica que a variável é bem explicada por MR1, mas há uma pequena influência de outros fatores.

Já para analisar o Índice de atendimento urbano de água, compreendemos as Cargas fatoriais: o maior valor é 0.79 em MR5 e é representado por h2 (0.67), no qual aproximadamente 67% da variância é explicada pelos fatores, em que u2 (0.0581): Cerca de 33% da variância não é explicada pelos fatores e que a complexidade de (1.2): A variável tem uma maior complexidade, com múltiplos fatores contribuindo para a explicação. Assim, temos também a variável Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água, o qual apresenta as Cargas fatoriais, sendo o maior valor de 0.84 em MR5, conforme h2 (1.00): Toda a variância é explicada pelos fatores, pois, u2 de (0.0229) indica que uma pequena fração da variância não é explicada pelos fatores, dado que essa variável possui complexidade determinada de (1.8). Tal variável é mais complexa, sugerindo a influência de vários fatores, com destaque para MR5. Associada a estas duas variáveis temos: Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto, que possui Cargas fatoriais de valor 0.71 em MR1, seguido por 0.63 em MR5, visto que h2, ou seja, a comunalidade é de (0.95). Assim cerca de 95% da variância é explicada pelos fatores, pois observa-se em u2 (0.0024): Uma quantidade muito pequena de variância que não é explicada pelo fator, que possui complexidade de (2.2): A complexidade maior indica que a variável é explicada por múltiplos fatores, especialmente MR1 e MR5.

Ao analisar a variável Índice de Consumo de Água, verificamos que, quanto às cargas fatoriais, o maior valor é 0.97 em MR2, bem como que h2 (1.00) indica que toda a variância é explicada pelos fatores, e u2 (0.0089): Esse pequeno valor indica que quase toda a variância é capturada pelos fatores, com menos de 1% da variância não explicada, assim a Comunalidade (1.1): Apesar da alta explicação por MR2, a variável ainda tem uma pequena complexidade. Outra variável relacionada à água: o Índice de faturamento de água, apresenta como cargas fatoriais: O maior valor é 0.91 em MR2, em que, h2 (0.98): Quase 98% da variância dessa variável é explicada pelos fatores, logo u2 (0.3272): Aproximadamente 2% da variância não é explicada, representando-se a complexidade de (1.4): A maior comunalidade

sugere que essa variável é influenciada por mais de um fator, especialmente por MR2., este fator aborda ainda a variável Índice de perdas na distribuição, que apresenta como Cargas fatoriais: O maior valor é -0.97 em MR2, onde h2 (1.00): Toda a variância dessa variável é explicada pelos fatores., pois, como u2 é de (0.0024), este valor é muito pequeno, mostrando que praticamente toda a variância é explicada pelos fatores, logo a complexidade de (1.1), indica que a variável é relativamente simples e bem explicada por MR2.

Tabela 25 – Cargas fatoriais e communalidades para os indicadores de desempenho dos estados do Nordeste

Variáveis	MR 1	MR 2	MR 5	MR 4	MR 3	h2	u2	complexidade
Despesa total com os serviços por m3 faturado	0.96	-0.12	0.12	0.02	-0.01	0.94	0,1623	1.1
Tarifa média praticada	0.98	0.01	0.19	-0.02	0.00	0.99	0,0634	1.1
Índice de atendimento urbano de água	-0.07	-0.04	0.11	0.17	0.79	0.67	0,0581	1.2
Índice de consumo de água	0.06	0.97	0.04	-0.21	0.03	1.00	0,0089	1.1
Índice de faturamento de água	-0.21	0.91	0.25	0.14	-0.15	0.98	0,3272	1.4
Índice de perdas na distribuição	-0.06	-0.97	-0.04	0.21	-0.03	1.00	0,0024	1.1
Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	0.46	0.21	0.84	-0.10	0.17	1.00	0,0229	1.8
Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	0.71	0.17	0.63	-0.03	0.12	0.95	0,0024	2.2

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise dos dados da Tabela 25 revela padrões importantes relacionados ao desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste, com base nas cargas fatoriais e communalidades. Com o processo da rotação, a matriz de fatores resulta numa matriz mais simples, sendo que a rotação não afeta as communalidades e a porcentagem da variância explicada. No entanto, segundo Malhotra (2001), a percentagem da variância explicada por cada fator varia, sendo redistribuída por rotação.

O fator MR1 mostra uma forte correlação com as variáveis Despesa total com os

serviços por m<sup>3</sup> faturado (0,96) e Tarifa média praticada (0,98). Isso sugere que essas variáveis estão intimamente ligadas a esse fator, refletindo aspectos econômicos e financeiros da operação dos serviços de água e esgoto. A comunalidade dessas variáveis é elevada, com valores de 0,94 e 0,99, respectivamente, indicando que quase toda a variabilidade dessas variáveis é explicada pelo modelo. A complexidade de 1,1 para ambas as variáveis sugere que elas são bem representadas por um único fator, sem grande influência de outros fatores.

O fator MR2 está fortemente associado às variáveis Índice de consumo de água (0,97) e Índice de faturamento de água (0,91), com comunalidades de 1,00 e 0,98, respectivamente. Isso indica que esses indicadores operacionais de consumo e faturamento estão fortemente explicados pelo modelo. Além disso, o Índice de perdas na distribuição apresenta uma correlação negativa de -0,97 com o fator MR2, sugerindo que, à medida que as perdas na distribuição aumentam, o consumo e o faturamento de água tendem a diminuir, refletindo ineficiências no sistema de distribuição. A baixa variabilidade não explicada por esses indicadores ( $u^2$  próximo de 0) evidencia a capacidade do fator MR2 em capturar a maior parte da variação nessas variáveis.

No caso do fator MR5, a variável Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água apresenta uma carga fatorial significativa de 0,84, com uma comunalidade de 1,00. Isso indica que esse fator está fortemente relacionado à expansão da cobertura dos serviços de esgoto nos municípios nordestinos. A complexidade de 1,8 reflete que essa variável é explicada por mais de um fator, o que sugere uma relação multifatorial com outros aspectos operacionais.

O fator MR3 destaca uma correlação positiva de 0,79 com o Índice de atendimento urbano de água, sugerindo que a cobertura do atendimento urbano de água é capturada principalmente por esse fator. A comunalidade de 0,67 indica que uma parcela significativa da variabilidade dessa variável é explicada pelo modelo, embora ainda haja uma parte não capturada ( $u^2$  de 0,0581). A complexidade de 1,2 sugere que essa variável é influenciada por mais de um fator, mas ainda está majoritariamente associada a um único fator principal.

Por fim, o Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto apresenta uma carga fatorial de 0,71 no fator MR1 e 0,63 no fator MR5, com uma comunalidade de 0,95. Isso reflete que o atendimento de esgoto está relacionado a múltiplos fatores, tanto econômicos quanto operacionais, e a complexidade de 2,2 evidencia essa dependência de múltiplos fatores na explicação da variabilidade dessa variável.

Em resumo, a análise fatorial revela que as variáveis econômicas (como despesas e tarifas) são fortemente associadas a um único fator, enquanto os indicadores operacionais, como

consumo, faturamento e atendimento, têm relações mais complexas, com múltiplos fatores influenciando sua variação. Isso reflete a multidimensionalidade do desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste, exigindo uma abordagem integrada que considere tanto aspectos financeiros quanto operacionais para otimizar a gestão desses serviços.

### ***3.4.2 Índice de Desempenho Operacional dos serviços de água e esgoto da Região Nordeste-Brasil***

Uma análise técnica dos Índices de Desempenho Operacional (IDO) dos estados do Nordeste, baseada nos dados de 2007 e 2020, revela variações modestas nos níveis de eficiência dos serviços de água e esgoto ao longo do período, com alguns estados apresentando melhorias discretas, enquanto outros enfrentaram estagnação ou redução nos índices.

No ano de 2007, o estado de Alagoas registrou um IDO de 44,88%, classificado como baixo desempenho. Em 2020, apesar de um aumento de 4,42 pontos percentuais, alcançando 49,3%, Alagoas manteve-se na categoria de baixo desempenho. Esse resultado sugere que, apesar dos avanços na prestação dos serviços de saneamento, o estado ainda enfrenta desafios importantes para atingir um desempenho intermediário.

O estado da Bahia apresentou um IDO de 51,06% em 2007, classificado como desempenho intermediário. Em 2020, o índice subiu para 52,79%, permanecendo na mesma categoria. Essa variação de apenas 1,73% aponta para uma estabilidade no desempenho, mas também revela uma falta de progressos significativos no setor, o que pode estar relacionado à necessidade de maiores investimentos em infraestrutura e gestão operacional.

O Ceará mostrou uma leve redução em seu desempenho operacional, com uma queda de 48,43% em 2007 para 46,95% em 2020, mantendo-se na categoria de baixo desempenho. A redução do índice reflete contínuas na gestão dos serviços de saneamento, que podem incluir ineficiências operacionais ou desafios no controle de perdas e na ampliação da cobertura dos serviços.

O Maranhão registrou um IDO de 43,83% em 2007, classificado como de baixo desempenho. Em 2020, houve uma melhoria de 6,01%, elevando o índice para 49,84%. Embora o estado tenha apresentado uma recuperação específica, ele ainda não atingiu o nível intermediário de desempenho, o que indica que esforços adicionais são necessários para melhorar a qualidade dos serviços prestados.

Os estados da Paraíba, Pernambuco e Piauí demonstraram estabilidade em seus índices de desempenho. A Paraíba manteve um IDO em torno de 53% entre os dois anos

desenvolvidos, posicionando-se firmemente na categoria de desempenho intermediário. O estado de Pernambuco também apresentou uma pequena variação, indo de 51,76% em 2007 para 52,78% em 2020, enquanto o Piauí registrou um desempenho praticamente constante, com 50,22% em 2007 e 50,39% em 2020, ambos classificados como intermediários. Esses resultados sugerem uma consistência no fornecimento dos serviços, mas sem avanços significativos que os impulsionam para um nível de desempenho superior.

O estado do Rio Grande do Norte foi um dos que apresentou melhor desempenho ao longo do período desenvolvido, passando de 52,89% em 2007 para 53,86% em 2020, mantendo-se a categoria de desempenho intermediário. Essa ligeira melhoria reflete uma evolução positiva na gestão dos serviços de saneamento, embora ainda distante de um desempenho considerado alto.

Por fim, o estado de Sergipe apresentou uma queda de nível no índice, passando de 51,31% em 2007 para 51,26% em 2020, mantendo-se na categoria de desempenho intermediário. Essa estabilidade sugere uma manutenção nos níveis de eficiência, porém com algumas mudanças que possam impactar significativamente o desempenho do estado.

Em termos gerais, os resultados revelam que os estados do Nordeste mantiveram uma trajetória de estabilidade no que se refere ao desempenho operacional dos serviços de água e esgoto, com alguns avanços pontuais. No entanto, a persistência de estados na categoria de baixo desempenho, como Ceará, Maranhão e Alagoas, ressalta a necessidade de maiores esforços na gestão e operação dos serviços de saneamento, bem como a importância de investimentos em infraestrutura e controle de perdas. Por outro lado, estados como Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte apresentaram uma manutenção de seus níveis intermediários de desempenho, destacando consistência, mas sem avanços expressivos para atingir um patamar de excelência.

Tabela 26 – Índices de desempenho operacional dos estados do Nordeste e classificações nos períodos de 2007 e 2020 (*Continua*)

Estado	Índice Desempenho Operacional					
	Valor 2007	% 2007	ND 2007	Valor 2020	% 2020	ND 2020
Alagoas	4.488.250	44,88	B	4.929.500	49,3	B
Bahia	5.106.250	51,06	I	5.278.875	52,79	I
Ceará	4.843.000	48,43	B	4.695.125	46,95	B
Maranhão	4.382.500	43,83	B	4.983.875	49,84	B

Tabela 26 – Índices de desempenho operacional dos estados do Nordeste e classificações nos períodos de 2007 e 2020 (*Conclusão*)

Estado	Indice Desempenho Operacional					
	Valor 2007	% 2007	ND 2007	Valor 2020	% 2020	ND 2020
Paraíba	5.297.500	52,98	I	5.299.625	53	I
Pernambuco	5.175.750	51,76	I	5.277.625	52,78	I
Piauí	5.021.500	50,22	I	5.038.500	50,39	I
Rio Grande do Norte	5.288.750	52,89	I	5.385.500	53,86	I
Sergipe	5.130.750	51,31	I	5.126.250	51,26	I

ID: Índice de Desempenho. ND: Nível de Desempenho. A: Alto. I: Intermediário. B: Baixo.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Uma análise dos dados dos estados do Nordeste revela uma evolução positiva no desempenho operacional dos serviços de água e esgoto entre 2007 e 2020. Embora a maioria dos estados tenha se mantido no nível de desempenho intermediário, ocorreu um nível de melhoria nos índices de desempenho em alguns estados, com destaque para o Rio Grande do Norte, o qual apresentou o maior aumento, subindo de 52,89% para 53,86%. Estados como Alagoas e Maranhão, classificados como de baixo desempenho, apresentaram avanços consistentes, mas ainda não atingiram o nível intermediário, refletindo a necessidade de maiores esforços para melhorar a qualidade e a eficiência dos serviços de saneamento.

Por outro lado, estados como Bahia, Pernambuco, Paraíba, Piauí e Sergipe tiveram desempenhos relativamente prejudicados, permanecendo na classificação de desempenho intermediário com variações mínimas entre os períodos específicos. Essa estabilidade sugere que, embora as operações estejam dentro de um padrão aceitável, os avanços rumo a um nível de desempenho alto ainda são limitados.

Portanto, a evolução do desempenho operacional nos estados do Nordeste, embora positiva em alguns casos, mostra que desafios importantes ainda permanecem, especialmente nos estados com desempenho mais baixo. A continuidade de investimentos em infraestrutura, melhorias na gestão e controle de perdas, e a ampliação da cobertura de serviços de água e esgoto são fundamentais para que os estados da região possam alcançar um desempenho elevado e melhorar a qualidade de vida da população.

O gráfico 2 reflete a comparação entre o índice de desempenho operacional dos estados do Nordeste em 2007 e 2020, ilustrando a variação percentual de cada estado. De maneira geral, observa-se que a maioria dos estados manteve não um nível intermediário de desempenho, com variações pouco expressivas. Estados como Alagoas e Maranhão, embora

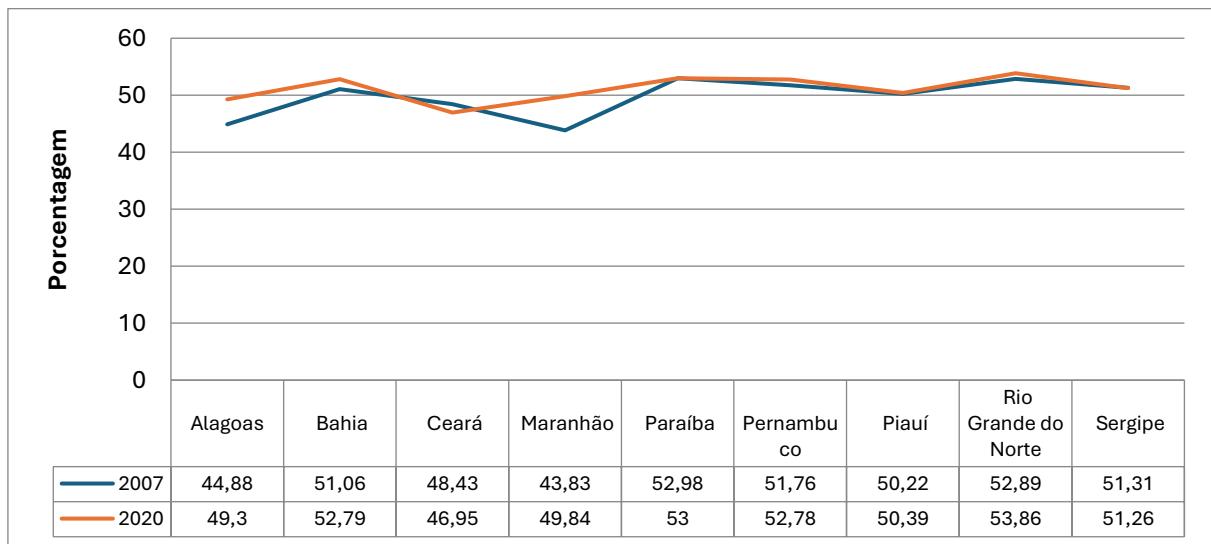
ainda classificados como de baixo desempenho, mostram uma tendência de crescimento, o que demonstra uma melhoria na gestão dos serviços de água e esgoto.

Entre os estados de desempenho intermediários, como Bahia, Pernambuco, Piauí e Paraíba, o gráfico mostra uma ligeira evolução no desempenho, indicando que as operações têm sido consistentes, mas sem grandes saltos para um nível mais elevado. O Rio Grande do Norte foi o estado que apresentou um maior percentual de melhoria, diminuindo um avanço mais significativo na gestão dos serviços de saneamento.

No entanto, os gráficos também refletem uma estagnação em alguns estados, como Sergipe, o qual praticamente não apresentou variação de desempenho entre os dois períodos. Isso sugere que, embora tenha mantido o nível intermediário, o estado ainda enfrenta desafios para melhorar significativamente a qualidade dos serviços prestados.

Em resumo, o gráfico destaca uma tendência de melhorias graduais em vários estados, mas reforça a necessidade de continuar focando na melhoria da gestão dos serviços de água e esgoto, especialmente em estados que ainda apresentam baixo desempenho, para que uma região como um todo possa atingir um padrão de excelência no fornecimento desses serviços essenciais.

Gráfico 2 – Evolução e classificação do índice de desempenho dos estados do Nordeste



Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

### 3.4.3 Fatores determinantes e distribuição dos resultados nos serviços de água e esgoto

Conforme apresentado na Tabela 27, as estimativas dos coeficientes para as variáveis no modelo de Regressão *Quantílica* destacam como os atributos influenciam a

variável de resposta de maneira distinta em diferentes quantis da distribuição condicional. Essa diferenciação nos efeitos é essencial para entender as variáveis determinantes no desempenho dos serviços de água e esgoto, conforme discutido por Araújo Júnior (2018), que ressalta a importância de considerar a heterogeneidade nas respostas ao longo dos diferentes segmentos da distribuição.

Especificamente, a despesa total com os serviços por m<sup>3</sup> faturado e a tarifa média praticada mostram aumentos significativos em seus coeficientes à medida que avançamos para quantis superiores (q50, q75 e q90), indicando que esses custos têm um impacto crescente em termos de desempenho operacional em municípios com piores condições iniciais. Os índices de atendimento urbano de água e esgoto, por outro lado, apresentam coeficientes que aumentam consistentemente em todos os quantis, evidenciando uma associação positiva robusta com o desempenho nos serviços.

Por outro lado, observa-se que o índice de consumo de água e o índice de faturamento de água também são estatisticamente significativos em todos os quantis analisados, com exceção do q75 para o índice de consumo de água e do q90 para o índice de faturamento de água. Isso sugere que, embora a produção e o consumo de água estejam geralmente associados a um melhor desempenho, há um ponto a partir de quais incrementos adicionais não se traduzem em melhorias significativas no desempenho.

É particularmente notável que, em municípios com um índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água, os coeficientes indicam um impacto crescente positivo até o quantil q75, mas esse efeito se estabiliza ou diminui no q90. Isso pode refletir um limiar após os aumentos adicionais no atendimento de esgoto não resultarem em ganhos proporcionais de desempenho, possivelmente devido a desafios operacionais ou de infraestrutura em municípios com altas taxas de cobertura.

Em resumo, esses resultados quantil-dependentes ilustram a complexidade e a necessidade de políticas diferenciadas que consideram, como condições específicas de cada município, não apenas em termos de infraestrutura existente, mas também em relação às características socioeconômicas e de consumo de recursos. Assim, políticas que visam à expansão e melhoria dos serviços de água e esgoto no Nordeste brasileiro devem ser projetadas com uma compreensão detalhada sobre como se dão os diversos fatores direcionados para o desempenho em diferentes segmentos da distribuição populacional.

Tabela 27 – Coeficientes das variáveis do modelo de Regressão *Quantílica*

Variáveis	q10	q25	q50	q75	q90
Despesa total com os serviços por m <sup>3</sup> faturado	0,9880	1,5300	3,1225	4,4325	5,1760
Tarifa média praticada	1,3165	1,6875	2,8850	4,0825	4,9160
Índice de atendimento urbano de água	75,92400	90,68375	92,91500	97,74000	100,00000
Índice de consumo de água	37,7080	48,9625	54,5150	60,1525	67,7900
Índice de faturamento de água	42,54600	53,91875	60,77500	70,39375	80,77400
Índice de perdas na distribuição	32,2100	39,8475	45,4850	51,0375	62,2920
Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	10,449	14,455	21,635	28,830	33,310
Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	16,778	19,895	39,410	43,085	52,786

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Em relação às receitas operacionais diretas derivadas dos serviços de água e esgoto, a análise foi especialmente equipada no quantil mediano (q50). Nesse ponto da distribuição, observamos que a receita operacional direta de água exerce um impacto positivo no desempenho dos municípios, indicando uma aplicação eficaz dos recursos nesse segmento. Ao contrário, a receita operacional direta de esgoto mostrou-se adversa ao desempenho, refletindo uma alocação menos eficiente dos recursos destinados a esse serviço. Essa dicotomia sugere que as estratégias de financiamento e aplicação de recursos em serviços de água são mais eficazes do que aquelas empregadas nos serviços de esgoto, conforme planejado em estudos anteriores (Brasil, 2014).

Aprofundando a análise nos quantis superiores, particularmente no q90, detectou-se um efeito negativo das receitas operacionais diretas tanto de água quanto de esgoto nos municípios com melhores desempenhos operacionais. Isso indica que, apesar dos altos níveis de desempenho sendo realizados, as receitas operacionais diretas podem estar sendo superadas pelas necessidades crescentes de investimento e manutenção nessas localidades, com reduções nos índices de desempenho de 1,53 e 1,76 pontos, respectivamente, para água e esgoto.

Curiosamente, as despesas totais com os serviços demonstraram um impacto positivo no desempenho nos quantis mais altos (q75 e q90), indicando que, embora os recursos

possam ser quantitativamente insuficientes, a sua alocação nos municípios com alto desempenho é eficaz e adequada às necessidades de operação e manutenção. Esse resultado ressalta a importância de uma gestão financeira e de comprometimento operacional, que maximiza o retorno sobre os investimentos em infraestrutura de saneamento. Conforme Mitchell (2019) enfatiza, a eficiência na gestão dos recursos destinados ao saneamento é crucial para sustentar melhorias a longo prazo na prestação de serviços e na satisfação das necessidades comunitárias.

### 3.5 Conclusão

Este estudo teve como foco a análise dos determinantes do desempenho dos serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste do Brasil, utilizando modelos de Regressão *Quantílica* para avaliar os resultados distributivos desses serviços. A partir dos dados obtidos, observou-se um avanço significativo no desempenho dos municípios nordestinos nesses serviços fornecidos entre os anos base de 2007 e 2020. Entretanto, apesar dos avanços observados, ainda existem municípios que apresentam desempenho operacional insatisfatório.

As variáveis que se mostraram mais explicativas para o avanço no desempenho foram a tarifa média praticada, o índice de perdas na distribuição e o índice de consumo de água. Esses fatores demonstraram uma demonstração positiva com melhorias no desempenho operacional dos serviços. Por outro lado, a quantidade total de trabalhadores próprios e o índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto melhoraram menos para explicar os avanços no desempenho.

Além disso, foi observado que variáveis, como a população urbana atendida com esgotamento sanitário, o volume de água produzida, o volume de água faturado e as despesas totais com os serviços, impactaram especificamente os municípios de maior desempenho operacional. Em contraste, fatores como a população urbana do município do ano de referência, o volume de água consumida, o volume de esgotos faturados e as receitas operacionais diretas de água e esgoto tiveram um impacto negativo nesses municípios de alto desempenho.

Este estudo destaca a importância de uma análise detalhada das causas subjacentes aos problemas enfrentados pelas questões de serviços de água e esgoto no Nordeste, possibilitando a implementação de medidas mais eficazes para melhorar o desempenho desses serviços e garantir o acesso à água potável e ao saneamento básico. Os resultados também evidenciaram como os efeitos distributivos desses serviços abrangem diferentes segmentos da população.

Para pesquisas futuras, é imperativo ampliar a investigação utilizando as variáveis que obtiveram uma influência que contribuiu positivamente para o desempenho operacional, conforme identificado neste estudo. A adição de covariáveis ainda não examinadas, aliada ao emprego da metodologia de diferenças em diferenças, fornecerá uma visão mais granular e complexa dos fatores que afetam os serviços de água e esgoto. Esse método permitirá uma análise causal mais precisa, diferenciando o impacto específico de cada variável nos diferentes estratos de desempenho operacional dos municípios – baixo, médio e alto. Tal abordagem não apenas refinaria a compreensão dos mecanismos subjacentes que influenciam os resultados operacionais, mas também facilitaria a formulação de políticas públicas mais eficazes e direcionadas, capazes de mitigar disparidades regionais e promover uma distribuição mais equitativa dos recursos hídricos e sanitários no Nordeste do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ARGETON, M.A. **A universalização do saneamento no Brasil:** uma análise sobre a influência do acesso aos serviços de esgotamento sanitário na saúde pública (2008 a 2017). 2020, 65f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas e Desenvolvimento, Brasília, DF, 2020.

BARBOSA, A. L. de S.; TOMAZ, D. A. S.; AZEVEDO, A. A. de. Análise da Eficiência dos serviços de saneamento prestados nos municípios da região metropolitana de Belo Horizonte com a utilização do método Análise Envoltória de Dados. **Brazilian Journal of Production Engineering**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 101-121, 2019.

BARBOSA, R. de P.; BASTOS, A.P.V. Utilização da Análise 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 Para (COSANPA). **E&G - Revista Economia e Gestão**. [S. l.], v. 14, n. 35, abr./jun. 2014.

BITTELBRUNN, F.; BRINCKMAN, R.; ANDRETT, M.C. da S.; e 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. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 23., 2016, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas, 2016

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Brasília DF: Casa Civil, 2010. Disponível em [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 12 ago. 2024.

BRASIL. Casa Civil, Presidência da República. **Novo PAC e Programa Água para Todos**. Brasília, Casa Civil, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/agua-para-todos/agua-para-todos>. Acesso em: 23 ago. 2024.

CARDOSO, P.H.G. **A Eficiência dos Serviços de Água e Esgoto do Estado do Ceará**. 2023. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2023.

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, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2003.

CARVALHO, P.; SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Acessibilidade e capacidade para pagar pelos serviços de água e de esgotamento sanitário em Portugal. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. [S. l.], v. 15, n. 4, 2010.

CASADO, F.L. Análise Envoltória de Dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na Educação Superior. **Revista Sociais & Humanas**, [S. l.], v. 20 n. 1. UFSM, 2007.

CRUZ, K. E. A.; RAMOS, F. de S. Eficiência na gestão do saneamento básico e seus impactos sobre a promoção da saúde: uma aplicação da análise envoltória de dados – DEA. In.: ENCONTRO REGIONAL DE ECONOMIA, 17., 2012, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: BNB, 2012. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/documents/160445/223813/sim2\\_mesa4\\_eficiencia\\_gestao\\_sane%20amento\\_basico.pdf/7ef3014b-acab-4184-873d-5b8e98704785](https://www.bnb.gov.br/documents/160445/223813/sim2_mesa4_eficiencia_gestao_sane%20amento_basico.pdf/7ef3014b-acab-4184-873d-5b8e98704785). Acesso em: 10 ago. 2024.

EOS CONSULTORIA. **Corrupção no setor de saneamento básico no Brasil.** [S. l.]: EOS Consultores, 2024. Eosconsultores. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/corrupcao-no-saneamento/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

FGV-IBRE. **Breve Retrato Econômico da Região Nordeste.** [S. l.]: FGV-IBRE, 2023. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/noticias/breve-retrato-economico-da-regiao-nordeste>. Acesso em: 15 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, 2022.** Brasília, DF: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Brasília, DF: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html>. Acesso em: 13 ago. 2024

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Nordeste é a região que mais sofre com ausência de saneamento básico.** [S. l.]: Trata Brasil, 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/nordeste-e-a-regiao-que-mais-sofre-com-ausencia-de-saneamento-basico/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RAZZOLINI, M.T.P.; GÜNTHER, W.M.R. Impactos na saúde das deficiências de acesso a Água. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v.17, n.1, p. 21-32, 2008.

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

SATO, J. M. **Utilização da Análise Envoltória de Dados – DEA no estudo da eficiência do setor de saneamento.** 2011. 42f. Dissertação (Mestrado em Economia Regional) – Universidade Católica de Brasília, programa de Pós-Graduação em Economia Regional. Brasília, DF, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto.** Brasília, DF: SNIS, 2008.

TOMÉ, L.M. Saneamento básico: situação atual e perspectivas. Banco do Nordeste. **Caderno Setorial – ETENE.** [S. l.], ano 3, n. 37, ago. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guideline on sanitation and health.** Genebra: WHO, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705>. Acesso em: 12 ago. 2024.

## 4 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL E OS IMPACTOS RELACIONADOS AOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO

### 1 Introdução

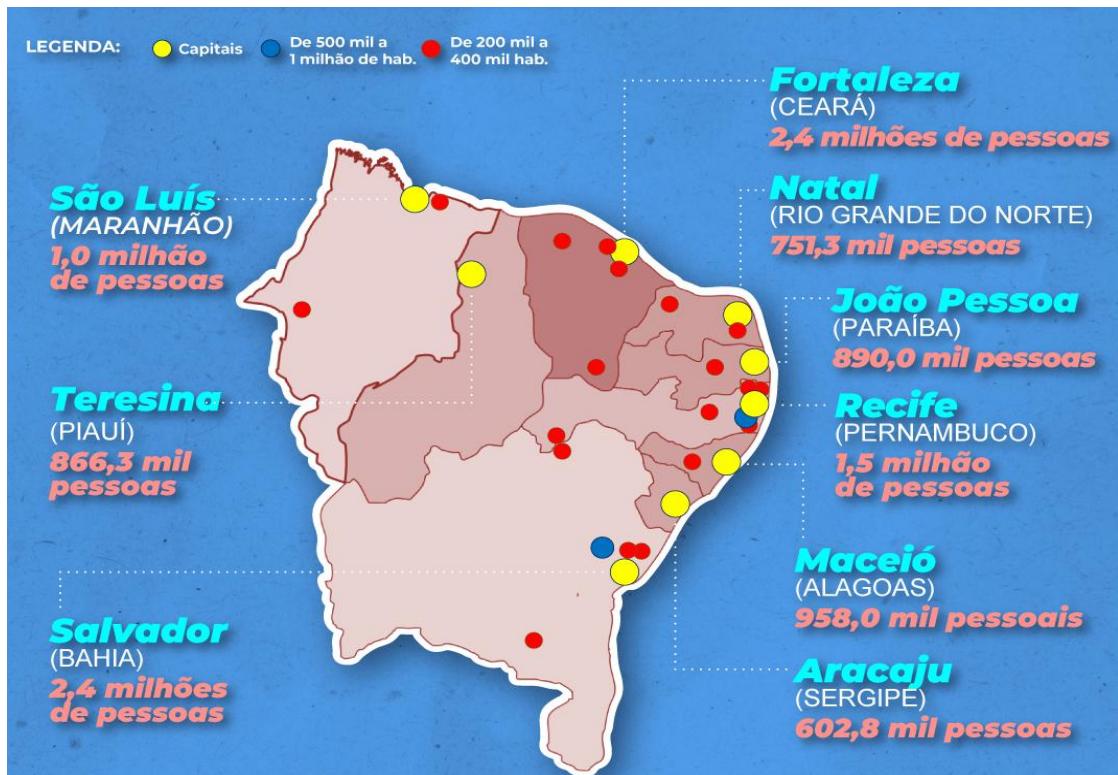
O Censo de 2022 do IBGE registrou 5.568 municípios brasileiros, além do Distrito Federal e do Distrito de Fernando de Noronha. Grandes ou pequenos, litorâneos e turísticos, rurais ou industriais, perdidos na Amazônia ou formando enormes estruturas espraiadas por dezenas de quilômetros (IBGE, 2022; PNUD-IPEA, 2015). Com suas características continentais, as diversas regiões do Brasil possuem notáveis diferenças, o que torna desafiador buscar soluções que atendam às expectativas traçadas nos planos governamentais.

A análise de Oliveira *et al.* destaca que a produção acadêmica sobre pobreza, desigualdade e vulnerabilidade social no Brasil é vasta e consolidada, conforme evidenciam autores como Barros e Mendonça (1995), Figueiredo e Ziegelmann (2009), Soares (2010), Neri (2010) e Figueiredo *et al.* (2012). Esses estudos convergem ao apontar que, a partir dos anos 2000, houve uma redução expressiva da desigualdade social, observada em múltiplos indicadores. O comportamento do índice de Gini, que após décadas de estabilidade em patamares elevados iniciou trajetória descendente em 2001 – caindo de 0,61 para 0,539 em 2009, segundo o IPEA (2012), ilustra de forma emblemática essa transformação. As evidências empíricas sugerem que tal avanço está diretamente relacionado a um ambiente macroeconômico favorável, o qual possibilitou a implementação e o fortalecimento de políticas sociais inclusivas, sobretudo aquelas voltadas à transferência de renda (Figueiredo; Silva, 2012; Indicadores de Desenvolvimento Brasileiro, 2013; Calixtre *et al.*, 2014). Dessa forma, pode-se afirmar que a combinação de crescimento econômico e políticas públicas direcionadas teve papel decisivo na diminuição das disparidades sociais brasileiras durante esse período.

Mesmo considerando esses avanços dos últimos anos, persistem desigualdades entre as regiões brasileiras, gerando preocupações e procura por soluções, a fim de mitigar os problemas que perduram, como é o caso do Nordeste brasileiro. O Nordeste é, dentre todas as regiões brasileiras, a que dispõe de menor quantidade de recursos hídricos do Brasil e uma alta densidade demográfica. Com exceção de Teresina, no estado do Piauí, todas as demais capitais são litorâneas, em torno das quais a maioria da população se concentra, conforme fica explicitado na Figura 2. A estrutura de saneamento básico apresenta deficiências e desigualdades profundas nessas áreas, devido à ocupação sem planificação e falhas na presença do Estado para mitigar os problemas.

As áreas litorâneas e a Zona da Mata, no geral, dispõem de serviços de melhor qualidade, se comparadas ao sertão, região da caatinga, onde a distribuição de água e os serviços de esgotamento sanitário ainda apresentam sérios problemas, ainda maiores se considerarmos o fornecimento de água tratada. É muito comum nas cidades interioranas a presença do esgoto a céu aberto, sem canalização ou tratamento adequado.

Figura 2 – Capitais e municípios de médio porte no Nordeste



Fonte: Censo Demográfico (2022). Elaboração COEST/DISTAT (2023)

Social e economicamente é uma região pouco favorecida, apresentando alta concentração de renda e níveis elevados de pobreza extrema. Essa situação provoca e gera dificuldades de entendimento da situação. E mesmo quando a população protesta, suas palavras tendem a cair no vazio. Segundo o *World Information Report*, da UNESCO (1995), “há uma grande diferença entre ter um direito e poder exercê-lo. Pessoas pouco informadas se veem frequentemente privadas dos seus direitos, porque lhes falta o poder para o seu exercício... O acesso à informação é um direito que temos, como o acesso à justiça, e deveria ser assegurado gratuitamente como outros serviços públicos”.

Para exemplificar o desfavorecimento da região, no triênio de 2015-2017, o número de municípios que tiverem racionamento de água foi bastante elevado, apresentando os seguintes indicativos: número de municípios pesquisados pelo IBGE: 1.756; municípios com

racionamento de água no triênio de referência: 845; municípios com racionamento sazonal de água no mesmo período: 578 (IPEA, 2023).

Diante desse quadro, a presente pesquisa se utilizou, metodologicamente, da estatística descritiva e da Análise *Clusters* (AC), conceituadas e explicitadas nas seções seguintes deste trabalho, que teve como objetivo geral explorar as características socioeconômicas da região Nordeste do Brasil e os impactos relacionados aos serviços de água e esgoto. Da mesma forma, estabeleceu-se como objetivos específicos: a) identificar as características socioeconômicas da região Nordeste do Brasil; b) identificar os impactos relacionados à prestação de serviços de fornecimento de água e dos serviços de esgotamento sanitário na região; e c) prospectar políticas públicas e tecnologias que influenciam no fornecimento de serviços de água e esgoto para a região Nordeste do Brasil.

A partir do que foi exposto, este capítulo se estrutura em cinco seções: a Introdução, aqui realizada, seguida do Referencial Teórico. A terceira seção descreve os aspectos metodológicos da pesquisa, na quarta seção estão os achados do estudo e, por fim, a quinta seção traz as Considerações Finais.

## 4.2 Referencial teórico

Nesta seção, discute-se a relação entre as condições de vida no Nordeste brasileiro e o acesso aos serviços de água e esgoto, destacando os desafios históricos da região. São abordados aspectos socioeconômicos, demográficos e ambientais, evidenciando os impactos da deficiência desses serviços na saúde pública e na qualidade de vida da população.

### 4.2.1 *O Nordeste brasileiro e as condições de vida, como resultantes dos serviços fornecidos relacionados com água e esgoto*

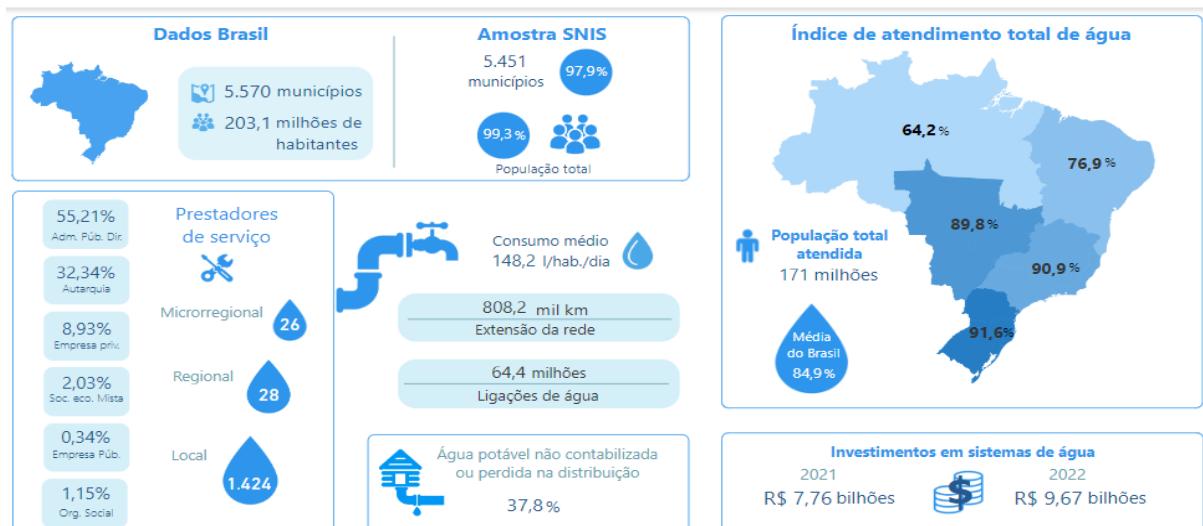
Historicamente, o Nordeste do Brasil é reconhecido por suas condições socioeconômicas, notadamente desafiadoras, incluindo o acesso limitado a serviços básicos como água e esgoto. A região se caracteriza por uma diversidade geográfica impressionante, com extensa área costeira – que, pelas condições climáticas, atrai praticantes de esportes náuticos e turistas em geral –, planícies férteis, semiáridos e uma vasta rede de rios. Em termos demográficos, a região abriga uma população significativa, com uma distribuição desigual ao longo de seus nove estados. A concentração urbana é uma característica marcante, com grandes cidades, como Fortaleza, Salvador e Recife, respectivamente capitais dos estados do Ceará,

Bahia e Pernambuco. Além disso, o Nordeste é fortemente afetado pela migração interna, com muitos indivíduos se deslocando em busca de melhores condições de vida e oportunidades de emprego.

No entanto, a infraestrutura de água e esgoto, tanto nas grandes cidades como no sertão, apresenta grandes desafios, com uma significativa parcela da população ainda sem acesso a esses serviços básicos. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), apenas cerca de 50% da população da região tem acesso à coleta de esgoto, e esse número é ainda menor em áreas rurais. Além disso, a disponibilidade de água potável também é uma preocupação, com grande parte da população dependente de fontes de água não tratadas. A falta de infraestrutura de saneamento básico impacta diretamente as condições de vida, contribuindo para a propagação de doenças e a degradação do meio ambiente. Portanto, investimentos e ações voltadas para a melhoria da infraestrutura de água e esgoto são essenciais para promover melhores condições de vida no Nordeste.

É fator evidente que o acesso inadequado à água potável e saneamento básico contribui para a propagação de doenças transmitidas pela água, como cólera e hepatite A, prejudicando a saúde da população. Além disso, a falta de infraestrutura de esgoto pode levar à poluição da água e do solo, afetando a qualidade de vida e a produtividade nas comunidades. Daí a urgência para melhorar o fornecimento dos serviços relacionados à água e esgoto, o que contribuirá para reduzir o impacto negativo nas condições de vida e promover um ambiente mais saudável e seguro para os moradores do Nordeste. A Figura 3, a seguir, apresenta a situação do fornecimento de água no Brasil.

Figura 3 – Dados sobre o fornecimento de água em 2022

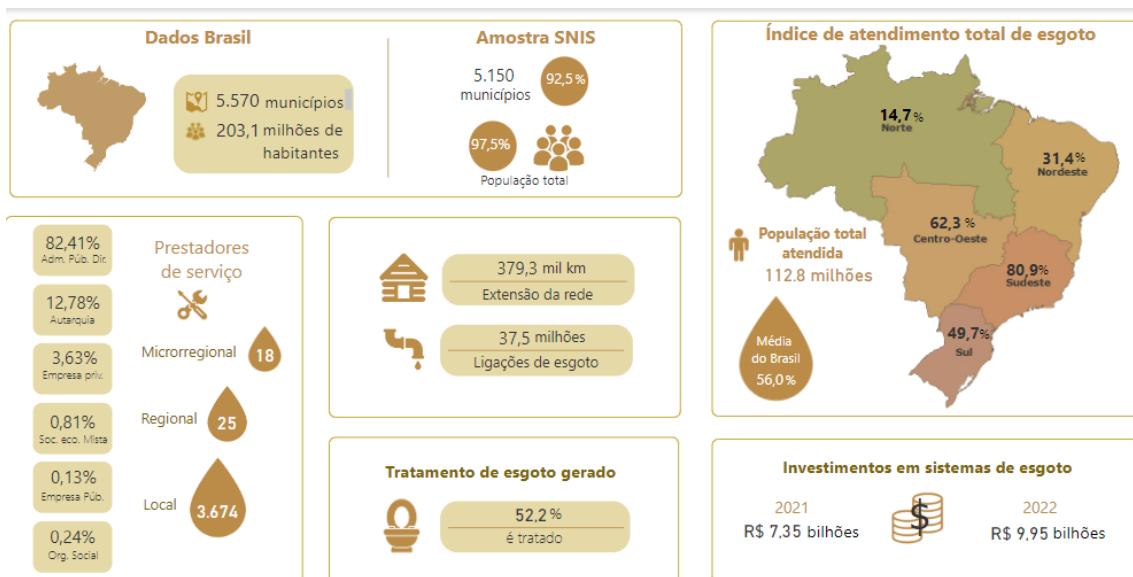


Fonte: Brasil (2022)

Os dados apresentados na Figura 2 demonstram o distanciamento em que se encontra o fornecimento de água da metade sul para a metade norte do País. O Nordeste brasileiro como um todo, apesar de acomodar aproximadamente 30% da população, tem sido historicamente preterido em relação às populações que habitam as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Situação não muito diferente se apresenta quando se trata do esgotamento sanitário, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Dados sobre esgotamento sanitário em 2022



Fonte: Brasil (2022)

Para adequar a realidade às necessidades da população, os componentes do saneamento básico – abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais – exigem a aplicação de substanciais recursos financeiros, tanto para sua instalação, ampliação como para a manutenção. Esses recursos, em geral, têm origem no financiamento público, prática comum na maioria dos países, decorrentes da natureza monopolista do setor de saneamento. Porém, com tantas prioridades, os países em desenvolvimento carecem de recursos suficientes, notadamente os municípios do Nordeste do Brasil.

Alternativa a essa problemática ocorre com a privatização de empresas que operam no setor de saneamento básico, pois é considerada como saída para a falta de recursos públicos, para investimentos e melhorias. Segundo o ponto de vista de Arcoverde (2020), o Brasil, por sua imensidão, não exibe condições para depender apenas de empresas e órgãos públicos para

atender a sua atual demanda. Para minorar os problemas existentes, empresas privadas ganham espaço para assumir tais demandas e promover a expansão da prestação desses serviços, pois, ao contrário das estatais, a iniciativa privada não depende de recursos públicos para investir em melhorias (Dias; Nunes, 2020).

Os desafios na prestação de serviços de água e esgoto no Nordeste brasileiro incluem a necessidade de ampliar a cobertura de saneamento para áreas rurais e comunidades de baixa renda, garantir a qualidade da água fornecida, reduzir as perdas de água durante o fornecimento e melhorar a gestão dos resíduos sólidos (Pineda, 2013; Costa *et al.*, 2022). Além disso, a escassez de recursos financeiros e a falta de capacidade técnica em muitas regiões representam obstáculos significativos. No entanto, também existem oportunidades para melhorar a prestação de serviços, como a aplicação de tecnologias inovadoras, a gestão participativa envolvendo as comunidades locais, parcerias público-privadas e a busca por fontes alternativas de financiamento para investimentos em infraestrutura de saneamento.

No que diz respeito às políticas públicas e investimentos no setor de saneamento básico no Nordeste brasileiro, é fundamental destacar a importância de ações governamentais coordenadas e de investimentos significativos para promover a melhoria das condições de vida da população. A implementação de políticas que visem à universalização dos serviços de água e esgoto, e a modernização da infraestrutura existente são cruciais para atender às demandas crescentes da região. Além disso, é fundamental criar mecanismos que garantam a sustentabilidade financeira do setor, atraindo investimentos tanto do setor público quanto privado. A articulação entre os diferentes níveis de governo e a participação da sociedade civil também são aspectos relevantes para o sucesso das políticas e dos investimentos em saneamento básico (Kistner *et al.*, 2022; Bilibio *et al.*, 2021).

Diversas iniciativas de sustentabilidade têm sido implementadas no Nordeste brasileiro, visando à eficiência no uso dos recursos hídricos. Programas de reutilização de água, como a captação da água da chuva para uso em atividades domésticas e agrícolas, têm ganhado destaque na região. Além disso, a implementação de tecnologias de tratamento de esgoto que visam à recuperação de água para reuso tem se mostrado eficaz na conservação dos recursos hídricos. Tais iniciativas são fundamentais para garantir a disponibilidade de água no semiárido nordestino, contribuindo para a melhoria das condições de vida da população.

#### *4.2.1.1 Educação e conscientização sobre saneamento básico*

A educação e a conscientização sobre saneamento desempenham um papel fundamental na promoção de práticas saudáveis e na melhoria das condições de vida. Por meio de campanhas educativas, programas escolares e iniciativas comunitárias, as pessoas são informadas sobre a importância do tratamento de água e esgoto, bem como sobre os impactos na saúde pública e no meio ambiente. Além disso, a conscientização sobre a correta eliminação de resíduos sólidos e práticas de higiene pessoal contribui para a redução da contaminação e proliferação de doenças relacionadas à água. Investir na educação e conscientização da população é crucial para promover mudanças de comportamento e garantir um futuro mais sustentável.

No Nordeste brasileiro, essas ações adquirem fundamental importância para promover a melhoria das condições de vida da população. Iniciativas de educação ambiental, programas nas escolas e campanhas governamentais são essenciais para informar as pessoas sobre a importância do tratamento de água e esgoto, bem como sobre os impactos na saúde e para o meio ambiente. Acrescente-se a isso a capacitação de gestores e profissionais das companhias de saneamento para garantir a prestação de serviços de qualidade. A disseminação de informações sobre práticas de higiene e uso sustentável dos recursos hídricos também contribui para a promoção de hábitos saudáveis e a preservação do meio ambiente.

Relativamente aos serviços de saneamento, as inovações tecnológicas desempenham papel crucial para a melhoria da prestação dos serviços, haja vista que, desde a implementação de sistemas avançados de tratamento de água e esgoto até o uso de sensores e monitoramento remoto para identificar e resolver rapidamente problemas nas redes de distribuição, são boas práticas que resultam em ganhos significativos de eficiência e qualidade dos serviços (Kistner *et al.*, 2022; Cruz; Ramos, 2012). Além disso, a adoção de tecnologias sustentáveis, como a reutilização de água tratada e a geração de energia a partir de resíduos sólidos, tem contribuído para a promoção da sustentabilidade ambiental no setor.

#### *4.2.1.2 Impacto das mudanças climáticas na disponibilidade de Água no Nordeste e perspectivas futuras*

As mudanças climáticas vêm causando profundas transformações ambientais ao redor do mundo. No Brasil, recentemente, a região Sul passou por sérios problemas com enchentes, que afetaram uma enorme área, causando enormes prejuízos em todas as áreas de

atividade do Rio Grande do Sul. No Nordeste brasileiro, essas mudanças, ao contrário do Sul, têm afetado a disponibilidade de água, como consequência de períodos prolongados de seca. A redução das chuvas e o aumento da temperatura contribuem para a escassez de água, prejudicando não apenas o abastecimento humano, mas também a agricultura e a vida selvagem. Para além dessa situação, o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, como tempestades e enchentes, tem impactado a infraestrutura de água e esgoto, tornando o acesso à água potável ainda mais desafiador para a população, o que eleva a adaptação a essas mudanças como necessária para garantir a disponibilidade sustentável de água na região.

Quando se pretende um desenvolvimento, com forte apelo para a sustentabilidade, a inovação emerge como a ferramenta adequada para superar os diversos desafios, seja por consequência de eventos climáticos ou outras circunstâncias, nos serviços de saneamento, ao ofertar alternativas alinhadas com o uso dos recursos naturais. A incorporação de práticas inovadoras, além de otimizar a eficiência operacional, tende a promover melhor qualidade de vida nas comunidades assistidas. Conforme o Parque de Inovações Tecnológicas de São José dos Campos – SP, a inovação aberta, por sua vez, amplia esse conceito ao promover a colaboração entre diferentes entidades, como empresas, *startups*, academia, sociedade civil e o setor público. Essa parceria permite compartilhar riscos e ganhos no desenvolvimento de novas tecnologias e soluções (Costa *et al.*, 2024).

Com base nas diretrizes apresentadas por Scott, Cotton e Sohail (2020), observa-se que a promoção da educação e conscientização em saneamento e higiene é elemento indispensável para a efetividade das políticas públicas voltadas ao setor. Os autores ressaltam que programas educativos bem-estruturados, quando aliados à participação comunitária e à integração de práticas de higiene nos currículos escolares, contribuem significativamente para a adoção de comportamentos saudáveis e para a redução das doenças de veiculação hídrica. Além disso, evidenciam que o engajamento dos diferentes atores sociais e a mobilização de recursos institucionais são fatores decisivos para o sucesso das estratégias de promoção sanitária, especialmente em contextos vulneráveis. Dessa forma, o fortalecimento das ações educativas se mostra fundamental para ampliar o alcance das políticas de saneamento e garantir avanços consistentes na saúde pública.

Em resumo, os serviços de água e esgoto desempenham um papel crucial na melhoria das condições de vida no Nordeste brasileiro. A falta de acesso à água potável e saneamento básico contribui para problemas de saúde pública e perpetua o ciclo de pobreza na região. Portanto, é essencial que haja investimentos contínuos em inovações, infraestrutura e aprimoramento das políticas públicas para garantir o acesso universal a estes serviços,

juntamente à conscientização e educação sobre a importância do saneamento básico, considerando que são fundamentais para garantir a sustentabilidade e eficiência no uso dos recursos hídricos.

#### ***4.2.2 Projeções para melhoria no fornecimento de água e esgotamento sanitário na região Nordeste do Brasil***

A escassez de recursos hídricos, o acesso limitado ao esgotamento sanitário e a degradação do meio ambiente, ao longo do tempo, têm agravado a situação da população no Nordeste do Brasil, com sérios impactos na saúde pública e com elevados riscos de doenças transmitidas pela água (Ideia Socioambiental, 2018). Ao analisar os desafios atuais no setor de saneamento, identificar tecnologias inovadoras, examinar políticas públicas e investimentos necessários e fazer projeções para a região, gera-se a possibilidade de clarear os caminhos para solucionar esse cenário crítico.

Nessa região, grande parte da população vive em condições precárias, pois a escassez de água potável e a falta de saneamento básico têm impactos diretos na qualidade de vida e na saúde pública, resultando em altas taxas de doenças relacionadas à água contaminada (Rebouças, 2005). No que tange à urbanização desordenada, Campos e Branco (2021) argumentam que essa situação dificulta a implementação de infraestrutura adequada, portanto, é fundamental analisar e compreender a extensão desses problemas para desenvolver estratégias eficazes a fim de melhorar as condições de vida para os habitantes do Nordeste.

Conforme aponta Rebouças (2005), o aprimoramento do fornecimento de água e esgotamento sanitário é capaz de trazer impactos positivos para a saúde pública, reduzindo custos governamentais. Com um sistema de saneamento básico deficiente, a população fica mais suscetível a doenças transmitidas pela água contaminada, como cólera, hepatite A e diarreia. Além disso, a falta de acesso à rede de esgoto contribui para a contaminação do solo e de corpos d'água, aumentando o risco de doenças relacionadas à falta de higiene. Portanto, investir na melhoria do fornecimento de água e esgotamento sanitário é fundamental para reduzir a incidência de doenças e promover a qualidade de vida da população.

É notório que a precariedade no fornecimento de água e esgotamento sanitário acarreta impactos significativos na saúde pública. A falta de acesso à água potável e a presença de esgoto a céu aberto resultam em um aumento na ocorrência de doenças transmitidas pela água, como diarreia, cólera e febre tifoide. Além disso, a contaminação da água pode causar doenças de pele e infecções gastrointestinais. A ausência de saneamento básico adequado

também contribui para a proliferação de vetores de doenças, como mosquitos transmissores de dengue, zika e chikungunya, impactando negativamente a saúde da população da região (Correia *et al.*, 2021; Heller, 1998).

A relação entre saneamento inadequado e os elevados índices de doenças de veiculação hídrica no Nordeste brasileiro é corroborada por evidências internacionais, como destacam Mara *et al.* (2010). Os autores ressaltam que a ausência de infraestrutura de saneamento e o acesso precário à água potável representam os principais fatores de risco para a propagação de enfermidades infecciosas, especialmente em regiões de baixa renda e alta vulnerabilidade socioambiental. Ademais, Mara *et al.* enfatizam que a implementação de políticas eficazes e o investimento em tecnologias apropriadas são indispensáveis para reverter esse quadro, proporcionando melhorias substanciais nos indicadores de saúde pública e promovendo o desenvolvimento sustentável. Essa perspectiva reforça a necessidade de integração entre avanços tecnológicos, estratégias educativas e governança eficiente para enfrentar os desafios sanitários do Nordeste brasileiro e minimizar os impactos adversos sobre a saúde da população.

Entre as tecnologias inovadoras para o fornecimento de água e esgotamento sanitário para a região Nordeste está o reuso de água (Moruzzi, 2008). Essa prática consiste no tratamento de água já utilizada, tornando-a própria para novos fins, como irrigação, descarga de banheiros, limpeza de ruas, entre outros. Com o aumento da escassez de água, o reuso se torna uma alternativa sustentável e viável para suprir a demanda crescente. A prática de reutilizar água tratada para usos não potáveis, como irrigação de culturas e descarga de sanitários, pode ajudar a reduzir a demanda por água potável, aliviando a pressão sobre os recursos hídricos, representando uma solução sustentável e econômica no sentido de que contribui para a eficiência no uso dos recursos naturais e para a redução da poluição.

No entanto, é importante que sejam implementadas políticas públicas e investimentos para promover o reuso de água de forma segura e regulamentada, garantindo a proteção da saúde pública e o cumprimento de padrões ambientais rigorosos. Além disso, o uso de tecnologias inovadoras, como a dessalinização da água do mar, também é uma solução promissora para regiões áridas, como o Nordeste, expandindo as fontes de abastecimento de água potável e contribuindo para a melhoria do fornecimento (Azevedo, 2015; Engenharia Compartilhada, 2024).

Este capítulo discute e analisa as características socioeconômicas da região Nordeste do Brasil e os impactos relacionados aos serviços de água e esgoto. Para realizar esta análise é preciso medir as semelhanças ou não dos sujeitos e variáveis, para então fazer os

agrupamentos. Quando obtidos, devem apresentar tanto homogeneidade interna quanto heterogeneidade externa entre os agrupamentos.

A Análise de *Cluster* permite, pois, agrupar sujeitos ou variáveis em grupos com uma ou mais características comuns, a partir de um conjunto de dados em que se tem de agrupá-los, por algum critério de similaridade para alcançar algum tipo de conhecimento que se deseja aplicar. Conforme Ghosh e Acharya (2011, *apud* Guedes *et. al.*, 2023), os *clusters* combinam vários agrupamentos de um conjunto, formando um agrupamento consolidado. Valli (2012, *apud* Guedes *et. al.*, 2023), em complemento, indica que o uso de *clusters* gera grupos com pequena variação dentro do próprio *cluster*, a partir do inter-relacionamento das variáveis.

### 4.3 Metodologia

A área de estudo abrange os nove estados da região Nordeste do Brasil, caracterizados por diversidade socioeconômica, educacional e de renda. Esses fatores influenciam diretamente a oferta, o desempenho e a sustentabilidade dos serviços de água e esgoto, refletindo os desafios enfrentados na expansão e melhoria da infraestrutura de saneamento básico.

#### 4.3.1 Área de estudo

A região Nordeste do Brasil, composta por nove estados, possui uma população estimada em mais de 57 milhões de habitantes em 2021, com características socioeconômicas diversas que influenciam diretamente o desempenho dos serviços de água e esgoto. No campo da educação, os estados nordestinos apresentam variações no Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), com alguns estados alcançando índices superiores a 6,0 nos anos iniciais do ensino fundamental, refletindo melhorias no acesso à educação e na qualidade do ensino público, enquanto outros enfrentam desafios para elevar os índices nas etapas finais do ensino fundamental. A qualidade da educação nas regiões tem impacto direto no desenvolvimento social e na capacidade de implementação de programas de saneamento básico.

Em termos de rendimento e trabalho, a renda per capita mensal domiciliar dos estados nordestinos também apresenta variações significativas, com alguns estados, como Pernambuco e Bahia, apresentando rendas per capita superiores a 900 reais, enquanto outros, como Maranhão e Alagoas, apresentam rendas médias abaixo dessa faixa. Esses fatores socioeconômicos influenciam a capacidade de pagamento dos serviços de água e esgoto,

impactando diretamente a sustentabilidade dos sistemas de saneamento nos estados. A renda da população também afeta a capacidade de os governos estaduais investirem em infraestrutura, especialmente em áreas mais vulneráveis, nas quais a expansão dos serviços de saneamento ainda é um desafio.

Em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), os estados nordestinos apresentam índices que variam entre 0,639 e 0,735, segundo dados do ano base de 2010, posicionando a região em um contexto de desenvolvimento médio, conforme os critérios definidos pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Esse indicador, que combina longevidade, educação e renda, está diretamente associado à qualidade dos serviços de saneamento. Regiões com IDH mais elevadas tendem a apresentar maior eficiência não fornecida de água e esgoto, enquanto as áreas com IDH mais baixas enfrentam maiores dificuldades na universalização desses serviços.

A área territorial da região Nordeste, que abrange cerca de 1.558.196,1 km<sup>2</sup>, também influencia na complexidade da implementação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Estados como a Bahia, com uma área de mais de 564.000 km<sup>2</sup>, enfrentam desafios logísticos maiores para a cobertura completa dos serviços, especialmente em áreas rurais e regiões de difícil acesso. Por outro lado, estados menores como Sergipe, com uma área de 21.918 km<sup>2</sup>, possuem desafios diferentes, concentrados principalmente em áreas urbanas (IBGE, 2023).

No setor de saneamento, a região Nordeste apresenta uma disparidade significativa entre os estados no que diz respeito ao número de economias abastecidas por água e economias esgotadas. Enquanto estados como Pernambuco e Bahia possuem mais de 3 milhões de unidades abastecidas por água, estados como Piauí e Maranhão apresentam uma cobertura de abastecimento muito menor. No que diz respeito ao esgotamento sanitário, a disparidade ainda é maior, com estados como Ceará e Rio Grande do Norte apresentando um número específico de economias esgotadas, enquanto outros, como Maranhão e Piauí, enfrentam grandes desafios para aumentar a cobertura dos serviços de esgoto, especialmente nas áreas rurais e de baixa densidade populacional.

Esses dados revelam que, embora alguns estados do Nordeste estejam avançando em termos de educação, rendimento e acesso a serviços básicos, a região como um todo ainda enfrenta grandes desafios para garantir o fornecimento universal e de qualidade dos serviços de água e esgoto. As condições socioeconômicas, aliadas às características geográficas e à infraestrutura deficiente em algumas áreas, desempenham um papel crucial na eficiência dos sistemas de saneamento e na capacidade dos governos estaduais de promoção do

desenvolvimento sustentável.

Figura 5 – Localização dos estados do Nordeste, Brasil



Fonte: dados da pesquisa (2023).

#### 4.3.2 Processo de construção do Índice de Desempenho Operacional (IDO)

O Índice de Desempenho Operacional (IDO) é uma ferramenta amplamente utilizada para medir a eficiência de uma empresa ou organização na execução de suas atividades operacionais. Sua construção baseia-se na combinação linear dos escores fatoriais, que são obtidos por meio da análise fatorial, e na proporção da variância explicada pelos fatores individuais em relação à variância comum. De acordo com Hoffmann (1999), uma análise fatorial é eficiente para explicar a variação de um conjunto de variáveis por meio de múltiplos fatores independentes, o que se torna ideal para a construção do IDO em avaliações de desempenho.

As pontuações do IDO podem variar de 0 a 1, com valores mais próximos de 1 diminuindo uma maior eficiência operacional. Para fins de interpretação, o IDO é classificado em três níveis distintos: Alto desempenho quando o valor é superior a 0,70; intermediário, para valores entre 0,50 e 0,70; e Baixo desempenho, quando a pontuação é inferior a 0,50. Essas partes fornecem uma estrutura clara para a análise do desempenho das organizações, permitindo uma comparação objetiva entre diferentes unidades operacionais, conforme apresentado por Fávero *et al.* (2009).

A construção do IDO segue um processo estruturado em quatro etapas principais.

Primeiramente, realiza-se uma análise da matriz de correlações por meio da Análise dos Componentes Principais (ACP), o que permite identificar as inter-relações entre as variáveis. Em seguida, a adequação do modelo é verificada por meio de índices, como o *Kaiser-Mayer-Olkin* (KMO) e o Teste de Esfericidade de Bartlett, além da avaliação da Matriz Anti-Imagem, que garante a consistência das correlações observadas. Na terceira etapa, procede-se à remoção dos fatores iniciais, determinando-se o número total de fatores com base na classificação da raiz latente. Finalmente, os fatores extraídos são interpretados e rotacionados, utilizando o método de rotação ortogonal Varimax, o qual facilita a identificação das dimensões subjacentes ao desempenho organizacional.

Essas etapas garantem a robustez do IDO, oferecendo uma análise detalhada e fundamentada na variabilidade das operações e dos processos das empresas ou organizações avaliadas. O uso de múltiplos fatores independentes na construção do índice garante que aspectos diversos das operações sejam considerados, oferecendo uma visão abrangente e precisa de eficiência operacional.

#### **4.3.3 Regressão Quantílica**

A Regressão *Quantílica* foi adotada como método de análise neste estudo, uma vez que, conforme apontado por Gujarati (2000), trata-se de uma técnica adequada para examinar as relações entre variações de interesse. De acordo com Araújo Júnior (2018), esse método permite identificar como os atributos podem impactar a variável de resposta de maneira diferenciada, dependendo do quantil específico da distribuição condicional em que se situam. Nesse sentido, a Regressão *Quantílica* possibilita uma análise mais detalhada e completa, ao estimar os efeitos potenciais das covariáveis (como indicadores socioeconômicos e características das mesorregiões) sobre diferentes pontos da distribuição da variável resposta, neste caso, o Índice de Desempenho Operacional (IDO). No presente estudo, foram considerados os quantis q25, q50 e q75, a fim de capturar o comportamento da distribuição do IDO em diferentes níveis.

A escolha desse método baseia-se na eficiência demonstrada pela Regressão *Quantílica* em diversas situações, especialmente quando comparado ao modelo tradicional de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Conforme afirmado por Koenker e Bassett (1978), os estimadores gerados pela Regressão *Quantílica* tendem a ser mais robustos e eficientes, principalmente em contextos em que os erros não seguem uma distribuição normal. Esse aspecto é crucial, pois na análise dos dados sobre o desempenho dos serviços de água e esgoto,

há uma probabilidade específica de que os erros não se ajustem a uma distribuição simétrica, tornando o método de MQO menos adequado para capturar as particularidades da relação entre os indicadores socioeconômicos e o desempenho operacional.

Estudos anteriores corroboram a escolha da Regressão *Quantílica* como uma alternativa robusta ao MQO em situações de heterogeneidade e assimetria nos dados. Maciel *et al.* (2001) e Silva (2003) destacam que essa abordagem é particularmente útil quando o pesquisador busca analisar o comportamento da resposta variável em diferentes partes da distribuição, ao invés de focar apenas na média condicional, como ocorre nos modelos de MQO. Além disso, a flexibilidade do método quantílico permite que se explorem os efeitos mais sutis das covariáveis sobre a variável de interesse, oferecendo uma visão mais completa sobre os impactos de fatores socioeconômicos no desempenho dos serviços de saneamento.

Portanto, a Regressão *Quantílica* se revela uma ferramenta eficaz para o objetivo deste estudo, ou seja, para permitir a análise de como variáveis, como indicadores de desenvolvimento humano, renda e características regionais relacionadas ao desempenho dos serviços de água e esgoto de maneira diferenciada ao longo da distribuição do IDO, geram estimativas mais robustas e menos sensíveis a *outliers* e outras revelações de suposições estatísticas comuns aos métodos tradicionais.

#### **4.3.4 Método de Agrupamento dos estados do Nordeste**

A partir da Análise do Índice de Desempenho Operacional (IDO), realizada para os estados do Nordeste foi possível identificar agrupamentos entre estados que possuíam características similares. Dessa forma, utilizou a Análise de *Cluster* (AC) como uma ferramenta para agrupar os estados com base em suas semelhanças em termos de desempenho operacional nos serviços de água e esgoto. De acordo com Corrar *et al.* (2012), a AC é uma técnica de análise multivariada que visa a organizar elementos amostrais em grupos homogêneos, buscando maximizar a similaridade dentro de cada grupo e minimizar as diferenças entre os grupos. Esse método é amplamente utilizado em estudos de planejamento regional, pois facilita a segmentação de áreas com características comuns, o que é essencial para a definição de estratégias de desenvolvimento mais eficazes.

No contexto dos estados do Nordeste, a aplicação da Análise de *Cluster* permite identificar padrões específicos de desempenho nos serviços de saneamento, agrupando os estados com base em suas semelhanças operacionais. Segundo Hair *et al.* (2009), os elementos dentro de um grupo são alocados de forma que a variabilidade intraclasse seja mínima, enquanto

a variabilidade entre classes seja máxima. Dessa forma, a AC se torna uma ferramenta poderosa para traçar estratégias diferenciadas para cada grupo, considerando as particularidades socioeconômicas e infraestruturais de cada estado.

Estudos como o de Sousa e Zanella (2021) destacam que essa técnica é especialmente útil para a formulação de políticas públicas regionais, pois permite a identificação de áreas prioritárias e o direcionamento de recursos de maneira mais eficiente. Para realizar o agrupamento dos estados, foi aplicada a distância quadrática euclidiana, uma métrica que calcula a dissimilaridade entre os estados com base nas diferenças nas variáveis observadas. Martins *et al.* (2014) explicam que essa medida é calculada somando os quadrados das diferenças entre as observações, em um espaço de várias dimensões. Quanto maior a distância, menor a semelhança entre os estados, o que facilita a identificação de grupos com comportamentos operacionais distintos. Essa aplicação técnica permite não apenas identificar semelhanças entre os estados, mas também destacar diferenças que podem orientar políticas regionais de saneamento. Estudos como o de Silva e Lima (2015) também utilizam essa abordagem para segmentar regiões com base em indicadores socioeconômicos e operacionais, ressaltando a eficácia da AC em contextos com alta variabilidade nos dados.

A aplicação da Análise de *Cluster* neste estudo segue uma linha de pesquisa consolidada na literatura. Outros autores, como Maciel *et al.* (2011), apontam que a segmentação por meio de AC é uma ferramenta fundamental para o planejamento estratégico em regiões com características heterogêneas, como o Nordeste brasileiro. Dessa forma, ao agrupar os estados com características semelhantes, torna-se possível desenvolver planos de ação mais direcionados, com base nas necessidades específicas de cada *cluster*. A implementação de políticas e investimentos adequados a cada grupo pode, assim, melhorar o desempenho dos serviços de água e esgoto em toda a região, promovendo um desenvolvimento equilibrado e sustentável. A distância quadrática euclidiana medida em um espaço n-dimensional pelo somatório dos quadrados das diferenças entre as observações  $i$  e  $k$  é expressa pela Equação 13.

$$D_{kl}^2 = \sum (X_{ik} - X_{il})^2 \quad (13)$$

Em que:

$D_{k,i}$  é a medida da distância euclidiana do objeto  $k$  ao  $l$ ;  $i$  é o indexador das variáveis.

A escolha do método de agrupamento não hierárquico, especificamente o k-médias,

é justificada por sua capacidade de minimizar a variação interna dentro dos grupos e maximizar a variação entre eles. Esse método permite uma distribuição mais eficiente dos elementos em comparação com outros tipos de agrupamento, já que, segundo Fávero *et al.* (2009), ele aloca cada elemento em um dos  $k$  grupos previamente definidos. O objetivo principal das  $k$ -médias é reduzir a soma dos quadrados residuais dentro de cada grupo, o que resulta em uma maior homogeneidade interna. Essa abordagem é amplamente utilizada em análises com grande volume de dados, pois facilita a segmentação das observações em categorias com maior similaridade interna, ao mesmo tempo em que evidencia as diferenças entre os grupos.

Dessa forma, ao aplicar o método  $k$ -médias, cada estado do Nordeste foi alocado em grupos que reúnem características semelhantes, baseando-se em indicadores operacionais dos serviços de água e esgoto. A eficiência desse método reside no fato de que ele permite, de forma iterativa, ajustar os centroides dos grupos para garantir que a distância entre os estados alocados seja a menor possível dentro de cada *cluster*, otimizando a distinção entre as categorias formadas. Essa técnica é particularmente útil para análises regionais com variações heterogêneas, permitindo que os resultados obtenham uma estrutura de agrupamento clara e focada, ou que facilite a definição de estratégias de planejamento específicas para cada grupo identificado, como demonstrado pelos estudos anteriores (Fávero *et al.*, 2009).

Os grupos de estados do Nordeste foram segmentados com base nos valores obtidos para o Índice de Desempenho Operacional (IDO), resultado da análise fatorial discutida anteriormente. Nesse contexto, os estados foram agrupados de acordo com suas classificações de desempenho operacional, com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados e a formulação de estratégias regionais. O primeiro cenário da análise agrupou os estados em três *clusters* distintos, refletindo as classificações de baixo, intermediário e alto desempenho, com base nos valores do IDO. Essa segmentação inicial permite uma visão clara de como os estados se posicionam em relação ao desempenho de seus sistemas de água e esgoto, considerando os fatores operacionais e socioeconômicos que influenciam esses resultados.

#### **4.3.5 Conjunto de dados e variáveis analisadas**

A presente pesquisa abrangeu um total de 90 municípios de Alagoas, 377 da Bahia, 170 do Ceará, 153 do Maranhão, 180 da Paraíba, 177 de Pernambuco, 156 do Piauí, 158 do Rio Grande do Norte, e 75 de Sergipe, constituindo uma amostra representativa dos estados que compõem a região Nordeste do Brasil. Uma seleção dos municípios foi realizada com base na relevância de seus indicadores socioeconômicos e de saneamento, que apresentam grande

variação dentro da região. Os estados foram analisados de maneira comparativa, passando a identificar padrões de desempenho nos serviços de água e esgoto. Nos casos em que os dados não estavam disponíveis de forma integral e consistente, determinados municípios foram excluídos da amostra, garantindo assim a qualidade e a precisão dos resultados obtidos ao longo do estudo.

Os dados utilizados para esta análise são de natureza secundária, provenientes de fontes conhecidas e amplamente aceitas no âmbito das informações sobre saneamento e desenvolvimento socioeconômico no Brasil. A principal base de dados utilizada foi o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o qual fornece informações planejadas sobre os serviços de água e esgoto para o ano de 2020. O SNIS, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional, é a principal referência nacional para avaliações do desempenho operacional de sistemas de saneamento, sendo fundamental para a compreensão das condições infraestruturais e operacionais de cada estado do Nordeste. Sua abrangência e padronização tornam-se uma ferramenta essencial para esse tipo de análise comparativa entre regiões e municípios.

Além disso, a pesquisa incorporou dados do Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal, oriundos da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), com referência ao ano de 2016. Esse índice é particularmente importante para a análise do desenvolvimento socioeconômico dos municípios, uma vez que abrange três dimensões críticas: emprego e renda, educação e saúde. Essas variáveis são essenciais para entender o contexto socioeconômico em que os serviços de saneamento estão inseridos, uma vez que a capacidade de implementação e manutenção de sistemas de água e esgoto depende diretamente das condições econômicas e sociais dos municípios. A inclusão do Índice FIRJAN possibilita uma análise mais profunda dos fatores que influenciam o desempenho dos serviços de saneamento, além das questões técnicas e operacionais.

Por fim, o estudo também se refere ao valor dos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao Índice de Gini e ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para o ano de 2010. O Índice de Gini é utilizado para medir a desigualdade de renda nos estados e municípios, o que é crucial para compreender como a distribuição de recursos impacta o acesso e a qualidade dos serviços de saneamento. O IDH, por sua vez, sintetizou dados sobre longevidade, educação e renda, fornecendo um retrato abrangente do desenvolvimento humano nos estados do Nordeste. A utilização desses indicadores permite uma análise mais robusta dos fatores socioeconômicos que afetam a eficiência dos sistemas de água e esgoto, garantindo que uma pesquisa considere tanto as

variáveis infraestruturais quanto as sociais na avaliação dos serviços. Essa abordagem integrada é essencial para fornecer uma visão mais completa e técnica sobre os desafios e as oportunidades na gestão do saneamento básico na região Nordeste.

#### *4.3.5.1 Definição das variáveis*

Na elaboração do índice operacional, a escolha das variáveis foi justificada por sua relação direta com a eficiência e a parte operacional dos serviços de água e esgoto. As variáveis analisadas refletem aspectos críticos do desempenho dos sistemas de saneamento, fornecendo uma base sólida para a análise da eficiência dos serviços prestados. Para este estudo, foram utilizadas variáveis que capturaram tanto a abrangência quanto a qualidade do atendimento, além dos aspectos financeiros e de recorrência.

As variáveis incluídas no índice são: índice de atendimento urbano de água (%), que mede a proporção da população urbana atendida pelos serviços de abastecimento de água e é um indicador fundamental para avaliar a cobertura dos serviços de saneamento. O índice de perdas de distribuição (%) reflete a eficiência na distribuição de água, comparativamente à quantidade de água que se perde entre a produção e a chegada ao consumidor final, sendo um dos principais desafios operacionais nos sistemas de saneamento. O índice de faturamento de água (%) avalia a eficiência financeira dos sistemas, diminuindo a capacidade de cobrar pelos serviços prestados. O índice de consumo de água (%) mede o volume de água consumido em relação ao total produzido.

Além desses indicadores, a tarifa média praticada (R\$/m<sup>3</sup>) foi incluída para representar a política de preços aplicados aos serviços de água, e as despesas totais com serviços (R\$/m<sup>3</sup>) refletem os custos operacionais aos fornecidos associados e tratamento de água e esgoto. Por fim, os indicadores de atendimento relacionados ao esgoto, como o índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto (%), o índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água (%) e o Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto (%) foram incluídos para avaliar a cobertura dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, um componente essencial para a análise da sustentabilidade ambiental e da saúde.

A inclusão dessas variáveis assegura uma análise abrangente e técnica do desempenho dos sistemas de saneamento nos estados do Nordeste, permitindo identificar não apenas a extensão do atendimento, mas também a eficiência dos serviços prestados em termos operacionais, financeiros e ambientais. Esse conjunto de indicadores oferece uma visão

detalhada sobre os principais fatores que afetam a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de saneamento, sendo crucial para a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão adequadas.

#### *4.3.5.2 Variáveis socioeconômicas*

Para analisar de forma robusta os efeitos distributivos que os indicadores socioeconômicos exercem sobre o desempenho operacional dos serviços de água e esgoto, foram selecionadas variáveis independentes que capturam de maneira abrangente aspectos críticos do desenvolvimento humano e das desigualdades regionais. As opções escolhidas refletem a complexidade da interação entre condições socioeconômicas e a eficiência dos sistemas de saneamento, permitindo uma análise mais detalhada dos fatores que influenciam o acesso, a qualidade e a sustentabilidade dos serviços.

Entre os indicadores selecionados, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é fundamental para medir o nível de desenvolvimento geral de cada estado, ao considerar dimensões como educação, saúde e renda. O IDH é amplamente utilizado em estudos de desempenho de políticas públicas, pois reflete a capacidade das populações de acesso a serviços essenciais, incluindo o saneamento básico. Altos índices de desenvolvimento humano geralmente estão associados a um melhor desempenho dos serviços de água e esgoto, enquanto áreas com IDH mais baixas podem enfrentar desafios na ampliação e melhoria desses serviços.

O Índice de Gini, por sua vez, mede a desigualdade de distribuição de renda, um fator chave para entender as disparidades no acesso aos serviços de saneamento. A escolha de Gini como uma variável independente é justificada pelo fato de que a desigualdade de renda afeta diretamente a capacidade das populações de pagar pelos serviços de água e esgoto, bem como influencia a alocação de investimentos públicos nessas áreas. Regiões com maior desigualdade tendem a apresentar maior variabilidade no desempenho dos serviços, exigindo políticas públicas diferenciadas para reduzir essas disparidades.

Além disso, foram indicadores incorporados relacionados a Emprego e Renda, Educação e Saúde, variáveis que desempenham um papel central no desenvolvimento socioeconômico dos estados. O nível de emprego e renda influencia diretamente a capacidade de consumo dos serviços de saneamento e a sustentabilidade financeira dos sistemas. A educação, por sua vez, tem uma relação direta com a conscientização e o uso adequado dos serviços, além de estar associada à formação de capital humano capaz de promover a melhoria dos serviços de saneamento. Por fim, o indicador de saúde está intimamente ligado às condições

de saneamento, pois a qualidade dos serviços de água e esgoto tem um impacto direto sobre os indicadores de saúde pública, especialmente em relação à redução de doenças de veiculação hídrica.

Dessa forma, a seleção dessas variáveis socioeconômicas é justificada por sua relevância direta e indireta sobre o desempenho operacional dos serviços de água e esgoto, sendo essencial para compreender como fatores externos influenciam a eficiência e a universalização dos serviços. A integração desses indicadores no modelo analítico permite visão mais ampla e técnica dos desafios enfrentados pelos estados do Nordeste, oferecendo subsídios importantes para a formulação de políticas públicas mais eficazes e equitativas.

#### *4.3.5.3 Análise descritiva das variáveis empregadas na Regressão Quantílica*

Uma análise com base nos dados dos estados do Nordeste revela variações importantes nos indicadores operacionais e socioeconômicos, diretamente relacionados ao desempenho dos serviços de água e esgoto. Conforme apresentado na tabela, o Índice de Desempenho Operacional (IDO) variou entre 0,47 e 0,54, com uma média de 0,51 e um coeficiente de variação de 4,3%. Esses valores indicam uma dispersão moderada entre os estados, indicando que, embora haja algumas diferenças no desempenho operacional dos serviços de saneamento, a maior parte dos estados apresenta um nível de eficiência relativamente semelhante. Entretanto, uma média de 0,51 ainda sugere a necessidade de melhorias significativas na qualidade e eficiência dos serviços oferecidos na região.

Ao comparar o IDO com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), observa-se uma visão espetacular entre os dois indicadores. O IDH variou entre 0,63 e 0,68, com uma média de 0,66 e um coeficiente de variação de 2,8%, o que indica uma menor dispersão no desenvolvimento humano entre os estados nordestinos. A homogeneidade dos valores do IDH, em comparação ao IDO, sugere que, embora os estados apresentem níveis relativamente equilibrados de desenvolvimento humano, o desempenho operacional dos serviços de água e esgoto ainda precisa ser aprimorado para acompanhar esse progresso. A proximidade entre as médias de IDH e IDO reforça a influência de fatores socioeconômicos no desempenho dos serviços de saneamento, especialmente nas áreas de saúde e educação.

O Índice de Gini, que mede a desigualdade de renda, apresentou valores que variaram entre 0,54 e 0,57, com uma média de 0,55 e um coeficiente de variação de 2,3%. Embora o coeficiente de variação seja relativamente baixo, diminui uma certa uniformidade na distribuição de renda entre os estados, os resultados evidenciam que a desigualdade de renda

continua a ser um fator determinante no acesso e na qualidade dos serviços de saneamento. Isso ressalta a necessidade de políticas públicas externas para mitigar essas disparidades, de modo a garantir uma distribuição mais equitativa dos serviços essenciais, como o acesso à água potável e ao esgotamento sanitário.

A variável Emprego e Renda apresentou maior amplitude entre os indicadores socioeconômicos analisados, variando entre 0,42 e 0,52, com uma média de 0,48 e um coeficiente de variação de 3,3%. Essa amplitude sugere que existem diferenças significativas nas condições de emprego e renda entre os estados do Nordeste, que podem impactar diretamente a capacidade de investimento em infraestrutura de saneamento e, consequentemente, o desempenho operacional desses serviços. Embora o coeficiente de variação seja relativamente baixo, indicando uma homogeneidade nos dados, a ampla variação nas condições econômicas reflete as disparidades regionais que afetam a capacidade de planejamento e execução de políticas públicas efetivas para o setor de saneamento.

Os indicadores de Educação e Saúde destacaram-se como positivos em relação aos demais. A Educação variou entre 0,59 e 0,73, com uma média de 0,65 e um coeficiente de variação de 6,7%, enquanto a Saúde variou entre 0,64 e 0,74, com uma média de 0,71 e um coeficiente de variação de 4,6%. Esses valores sugerem que, embora haja variações, os estados do Nordeste apresentam níveis relativamente elevados nesses dois indicadores. A alta média nos indicadores de educação e saúde pode ser um fator positivo para o desempenho dos serviços de saneamento, uma vez que uma população mais instruída tende a ser mais consciente sobre o uso racional da água e a preservação dos recursos hídricos, enquanto uma infraestrutura de saúde mais robusta pode minimizar os impactos adversos da falta de saneamento adequado.

Ao observar os coeficientes de variação, verifica-se que, com exceção do Índice de Gini e da variável Emprego e Renda, os dados apresentam uma variação relativamente moderada, com coeficientes de variação inferiores a 5%. De acordo com Fávero e Belfiore (2017), coeficientes de variação inferiores a 30% indicam homogeneidade, isso sugere que, apesar das disparidades observadas, os estados do Nordeste possuem certo equilíbrio em termos de condições socioeconômicas e operacionais relacionadas ao saneamento. Isso é especialmente evidente nas áreas de saúde e educação, onde os indicadores se mostram mais uniformes, favorecendo a melhoria contínua dos serviços de água e esgoto.

Em resumo, a análise dos dados dos estados nordestinos indica que, embora haja disparidades consideráveis em termos de desigualdade de renda e emprego, os indicadores relacionados à educação e à saúde tendem a ser mais homogêneos, o que pode trazer melhorias no saneamento. No entanto, é necessário que políticas públicas mais robustas sejam inovadoras

para reduzir as disparidades regionais e garantir um acesso mais equitativo e eficiente aos serviços de água e esgoto em toda a região.

Tabela 28 – Descrição estatística dos dados aplicados na Regressão *Quantílica*

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Coeficiente de Variação (%)
IDO	0,47	0,54	0,51	0,043
IDH	0,63	0,68	0,66	0,028
Índice de Gini	0,54	0,57	0,55	0,023
Emprego e Renda	0,42	0,52	0,48	0,033
Educação	0,59	0,73	0,65	0,067
Saúde	0,64	0,74	0,71	0,046

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A análise dos dados apresentados na Tabela 28, a qual detalha os principais indicadores socioeconômicos para os estados do Nordeste, reforça a relevância da pesquisa no contexto regional e permite uma compreensão mais aprofundada das disparidades e similaridades entre os estados. Os indicadores analisados, como o IDH (IBGE), Índice de Gini (IBGE), Emprego e Renda (FIRJAN), Educação (FIRJAN) e Saúde (FIRJAN), oferecem uma visão crítica do cenário socioeconômico que influencia diretamente o desempenho dos serviços de água e esgoto.

O IDH dos estados nordestinos varia entre 0,631 e 0,684, com uma média de 0,659. Esse intervalo relativamente estreito, com um coeficiente de variação (CV) de 2,8%, sugere que os estados do Nordeste possuem níveis de desenvolvimento humano semelhantes. Entretanto, há um destaque para o estado do Rio Grande do Norte, que apresentou o maior IDH (0,684), o que indica um nível mais elevado de desenvolvimento humano. Em contrapartida, Alagoas registrou o menor valor (0,631), o que aponta para uma necessidade de políticas públicas mais robustas para elevar o nível de desenvolvimento humano nesse estado.

O Índice de Gini, que mede a desigualdade de renda, varia de 0,537 a 0,574, com uma média de 0,551. O coeficiente de variação de 2,3% revela uma homogeneidade nos níveis de desigualdade de renda entre os estados nordestinos. Pernambuco apresentou o maior índice de desigualdade (0,574), enquanto o Rio Grande do Norte teve uma desigualdade menor (0,537), o que pode indicar que as políticas de redistribuição de renda no Rio Grande do Norte têm sido mais eficazes. No entanto, a uniformidade dos valores de Gini entre os estados reforça

que a desigualdade de renda continua sendo um desafio relevante para todos, impactando diretamente no acesso a serviços essenciais, como saneamento.

O indicador de Emprego e Renda apresentou maior variabilidade entre os estados, com valores que variam entre 0,42 (Maranhão) e 0,515 (Pernambuco), resultando em uma média de 0,479 e um coeficiente de variação de 7,0%. Isso indica uma disparidade significativa nas condições de emprego e renda, indicando que alguns estados enfrentam maiores dificuldades econômicas, ou que afetam diretamente a capacidade de manutenção e expansão dos serviços de saneamento. Pernambuco, com o maior valor para esse indicador (0,515), demonstra uma estrutura econômica mais robusta, enquanto o Maranhão, com o menor valor (0,42), enfrenta desafios substanciais que podem dificultar o desenvolvimento sustentável dos serviços de água e esgoto.

Já o indicador que avalia a Educação variou de 0,592 (Maranhão) a 0,726 (Ceará), com uma média de 0,655 e um coeficiente de variação de 6,6%. Esse índice direto reflete a qualidade da educação nos estados do Nordeste e sua divulgação com o desenvolvimento socioeconômico. O Ceará se destaca com o maior valor da educação, o que pode ser um fator-chave para os avanços observados no desenvolvimento humano e nos serviços de saneamento. Por outro lado, o Maranhão apresenta o menor valor, refletindo um desafio na área educacional que pode impactar a eficiência e a gestão dos serviços de saneamento.

Quanto ao indicador de Saúde, com uma variação entre 0,645 (Maranhão) e 0,745 (Pernambuco), obteve uma média de 0,707 e um coeficiente de variação de 4,5%. Pernambuco, com o maior índice de saúde, reflete uma infraestrutura de saúde mais robusta, o que pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e do saneamento. O Maranhão, por sua vez, registra o menor valor, diminuindo uma carência no sistema de saúde que pode agravar os problemas relacionados à falta de saneamento adequado, com consequências diretas para a saúde pública. Os resultados demonstram que, embora haja uma relativa homogeneidade em alguns indicadores, como o IDH e o Índice de Gini, variáveis como Emprego e Renda, Educação e Saúde revelam disparidades significativas entre os estados do Nordeste. Essas disparidades refletem diferentes níveis de desenvolvimento socioeconômico e capacidade institucional de fornecimento de serviços de saneamento de qualidade. A alta variabilidade observada em Emprego e Renda é um indicativo claro das dificuldades econômicas enfrentadas por alguns estados, como o Maranhão, que impactam diretamente a eficiência dos serviços operacionais de água e esgoto. Por outro lado, estados como o Ceará e Pernambuco destacam-se nos indicadores de Educação e Saúde, o que sugere que essas áreas podem ser alavancas importantes para a melhoria contínua dos serviços de saneamento.

Portanto, a pesquisa reforça a necessidade de abordagens regionais específicas para enfrentar as desigualdades e garantir um acesso mais equitativo e eficiente aos serviços de saneamento nos estados do Nordeste, considerando o impacto direto dos fatores socioeconômicos sobre o desempenho operacional.

#### 4.4 Resultados e discussão

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados referentes ao Índice de Desempenho Operacional (IDO) dos serviços de água e esgoto no Nordeste do Brasil. A análise destaca as variações entre os estados, evidenciando desigualdades regionais e possíveis fatores que influenciam a eficiência dos serviços.

##### *4.4.1 Índice de desempenho operacional dos serviços de água e esgoto*

Uma análise dos Índices de Desempenho Operacional (IDO) dos serviços de água e esgoto em 2020 evidencia um panorama de desigualdades regionais no Nordeste, tanto entre os estados quanto dentro de suas respectivas mesorregiões. A Tabela 28, a qual detalha a classificação dos estados em relação ao IDO, destaca que a maioria dos estados apresentou desempenho intermediário, com exceção de três estados (Maranhão, Alagoas e Ceará), que ficaram abaixo desse nível, classificados com desempenho baixo.

O desempenho intermediário foi predominante, abrangendo 90% dos estados, o que corresponde a 148 estados no total. No topo da classificação, o Rio Grande do Norte obteve um IDO de 53,86%, seguido da Paraíba e Bahia, ambos com índices superiores a 52%. Esses resultados indicam que, embora esses estados tenham desempenho intermediário, eles estão mais próximos de alcançar níveis de eficiência operacional mais elevados. A proximidade dos valores sugere uma homogeneidade relativa aos níveis de desempenho dentro desse grupo, refletindo políticas públicas e práticas de gestão que, embora ainda insuficientes para atingir níveis de excelência, para um desempenho estável e consistente na região.

Por outro lado, os estados do Maranhão (49,84%), Alagoas (49,3%) e Ceará (46,95%) foram classificados como de desempenho baixo, apresentando desafios importantes na prestação de serviços de água e esgoto. A situação mais crítica foi observada no estado do Ceará, com o menor índice entre os estados do Nordeste, o que indica sérias limitações na infraestrutura de saneamento, especialmente em áreas mais vulneráveis, como as mesorregiões Norte e Noroeste. Esse baixo desempenho pode estar associado a fatores como falta de

investimentos, dificuldades na gestão operacional e desigualdades socioeconômicas mais marcantes na região.

A dispersão dos resultados, com estados como Rio Grande do Norte e Paraíba alcançando índices relativamente mais elevados, enquanto Ceará e Alagoas registram os menores, demonstra a existência de disparidades intra e inter-regionais no fornecimento de serviços de saneamento. Essa variação destaca a importância de políticas públicas mais focadas nas especificidades regionais, buscando promover uma maior equidade na oferta e qualidade dos serviços. Além disso, a análise dos dados reforça que a homogeneidade dentro dos grupos com desempenho intermediário pode mascarar problemas específicos, especialmente em áreas com maior índice de vulnerabilidade social, em que a eficiência dos serviços de água e esgoto pode estar abaixo da média estadual. Por exemplo, enquanto o Índice de Gini e o IDH dos estados apresentam variações moderadas, as diferenças nos índices operacionais de saneamento básico refletem a necessidade de ações mais incisivas para reduzir essas disparidades.

Por fim, é essencial observar que o baixo desempenho do Maranhão, Alagoas e Ceará sugere a necessidade urgente de investimentos robustos em infraestrutura de saneamento e em políticas de incentivo à gestão eficiente. Sem essas intervenções, esses estados continuarão a enfrentar dificuldades para melhorar a qualidade e a cobertura dos serviços, agravando as desigualdades socioeconômicas e afetando diretamente a saúde e a qualidade de vida da população. Essa análise corrobora a relevância de se promover um planejamento estratégico que considere tanto as necessidades regionais quanto às especificidades locais, envolvendo a universalização dos serviços e a melhoria dos índices de desenvolvimento humano nos estados do Nordeste.

Tabela 29 – Classificação dos Índices de Desempenho Operacional dos serviços de água e esgoto em 2020

Rank	Estado	Valor	IDO (%)	ND
1	Rio Grande do Norte	5.385.500	53,86	I
2	Paraíba	5.299.625	53	I
3	Bahia	5.278.875	52,79	I
4	Pernambuco	5.277.625	52,78	I
5	Sergipe	5.126.250	51,26	I
6	Piauí	5.038.500	50,39	I
7	Maranhão	4.983.875	49,84	B
8	Alagoas	4.929.500	49,3	B
9	Ceará	4.695.125	46,95	B

IDO: Índice de Desempenho. ND: Nível de Desempenho. A: Alto. I: Intermediário. B: Baixo.

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

#### 4.4.2 Análise da Regressão Quantílica

A análise dos quantis das variáveis do modelo de Regressão *Quantílica* oferece uma compreensão detalhada da relação entre os indicadores operacionais dos serviços de água e esgoto e os fatores socioeconômicos, permitindo identificar como esses efeitos se manifestam em diferentes partes da distribuição do Índice de Desempenho Operacional (IDO). As estimativas fornecem *insights* sobre a variação das despesas, eficiência operacional e cobertura dos serviços em diferentes contextos.

No que diz respeito à despesa total com os serviços por metro cúbico faturado, observou-se uma progressão crescente ao longo dos quantis, com valores variando de 0,988 no quantil mais baixo (q10) até 5,176 no quantil mais alto (q90). Esse padrão sugere que, à medida que o desempenho operacional dos municípios melhore, também há um aumento nos custos associados à manutenção e operação dos serviços de água e esgoto. Tal esclarecimento indica que os municípios com melhores desempenhos tendem a investir mais em infraestrutura e operações, o que, por sua vez, pode refletir em um serviço de maior qualidade, porém a um custo maior.

A tarifa média praticada segue uma tendência semelhante, variando de 1,3165 no q10 para 4,916 no q90. Municípios com IDO mais elevados cobram tarifas mais altas, possivelmente em função de uma melhor capacidade de recuperação de custos operacionais e uma gestão financeira mais eficiente. Nos municípios com menor IDO, tarifas mais baixas podem estar associadas a uma menor eficiência ou a dificuldades na implementação de uma política tarifária que reflita os custos reais do serviço. Esse aumento nas tarifas em municípios com melhor desempenho também pode estar relacionado a uma infraestrutura mais avançada, que demanda maiores investimentos.

O índice de atendimento urbano de água reflete a capacidade de expansão do acesso ao serviço, variando de 75,92% no q10 até atingir 100% no q90. Esse aumento indica que, em municípios com maior IDO, a cobertura do abastecimento de água é praticamente universal. Nos quantis inferiores, em que o IDO é menor, a cobertura de água ainda enfrenta desafios significativos. A disparidade desses valores demonstra a importância de intervenções mais robustas nas regiões de menor IDO para garantir que as populações tenham acesso adequado ao abastecimento de água.

O índice de consumo de água também apresentou um aumento progressivo, de 37.708 no q10 até 67,79 no q90. O maior consumo de água nos municípios com maior IDO pode ser explicado por uma infraestrutura mais eficiente e uma maior confiabilidade nos

sistemas de distribuição. No entanto, esse aumento no consumo pode levantar questões sobre a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos, especialmente em regiões mais vulneráveis ao estresse hídrico. Isso sugere que, além da melhoria no desempenho operacional, também é necessário considerar políticas de uso racional da água.

O índice de faturamento de água variou de 42,54% no q10 para 80,77% no q90, o que demonstra um brilho positivo entre o desempenho operacional e a eficiência na arrecadação. Municípios com melhor IDO apresentam uma maior capacidade de faturamento, o que reflete uma gestão financeira mais estruturada e eficiente. Em contraste, nos municípios com menor IDO, a eficiência na cobrança ainda é uma barreira significativa, afetando a sustentabilidade financeira dos serviços.

Em contrapartida, o índice de perdas na distribuição apresentou um comportamento inverso, com as perdas sendo menores nos quantis superiores. No q10, as perdas foram de 32,21%, enquanto no q90 elas aumentaram para 62,29%. Esse resultado indica que os municípios com melhor desempenho operacional são mais eficientes na gestão de suas redes de distribuição, reduzindo o desperdício de água. Nos municípios com menor IDO, as perdas elevadas indicam a necessidade de melhorias nas infraestruturas e nos processos de monitoramento e reparo das redes de distribuição.

O índice de atendimento total de esgoto mostrou uma tendência de crescimento ao longo dos quantis, variando de 10,45% no q10 até 33,31% no q90. Essa evolução reflete uma maior cobertura dos serviços de esgoto em municípios com melhor desempenho, enquanto nos municípios com menor IDO a cobertura de esgoto ainda é bastante limitada. A falta de infraestrutura de esgoto em municípios de baixo IDO destaca a necessidade urgente de investimentos em saneamento, que são fundamentais para garantir a saúde pública e a proteção ambiental.

Contudo, o índice de atendimento urbano de esgoto variou de 16,77% no q10 até 52,78% no q90, demonstrando que os municípios com maior IDO estão mais avançados em termos de cobertura de esgoto. A disparidade nos níveis de atendimento reflete a concentração de serviços de esgotamento sanitário nas áreas mais planejadas, enquanto os municípios com menor IDO ainda enfrentam barreiras significativas para expandir sua infraestrutura de saneamento.

Tabela 30 – Estimativas dos Quantis para as Variáveis do Modelo de Regressão *Quantílica*

Variável	q10	q25	q50	q75	q90
Despesa total com os serviços por m <sup>3</sup> faturado	0,988	1,53	3,1225	4,4325	5,176
Tarifa média praticada	1,3165	1,6875	2,885	4,0825	4,916
Índice de atendimento urbano de água	75,92400	90,68375	92,915	97,74000	100
Índice de consumo de água	37,708	48,9625	54,515	60,1525	67,79
Índice de faturamento de água	42,54600	53,91875	60,775	70,39375	80,774
Índice de perdas na distribuição	32,21	39,8475	45,485	51,0375	62,292
Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	10,449	14,455	21,635	28,83	33,31
Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	16,778	19,895	39,41	43,085	52,786

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

#### 4.4.3 Análise de agrupamento da região Nordeste

A análise dos estados do Nordeste com base no Índice de Desempenho Operacional (IDO) revela uma variação significativa entre as unidades federativas da região. A Tabela 31 apresenta os estados classificados em ordem decrescente de IDO, comparando os estados que estão acima e abaixo da média regional, estabelecida em 0,51. Observa-se que cinco estados apresentam desempenho acima da média, enquanto quatro estados possuem desempenho abaixo da média.

No grupo de estados com IDO acima da média, destacam-se o Rio Grande do Norte (53,86%) e a Paraíba (53%), ambos classificados como tendo desempenho intermediário. Esses estados, assim como Bahia (52,79%), Pernambuco (52,78%) e Sergipe (51,26%), apresentam características operacionais semelhantes, com índices de desempenho que indicam um nível de eficiência operacional razoável nos serviços de saneamento. A proximidade entre os valores de IDO nesses estados sugere que eles têm adotado boas

práticas de gestão e investimento em infraestrutura, o que resulta em uma performance acima da média regional. A presença de estados do *Cluster* 1 em diferentes partes da região Nordeste reforça a ideia de que o bom desempenho não está concentrado em uma única área geográfica, mas está distribuído em diversas localizações.

No entanto, o desempenho abaixo da média é observado em quatro estados: Piauí (50,39%), Maranhão (49,84%), Alagoas (49,3%) e Ceará (46,95%). Esses estados enfrentam desafios operacionais mais significativos, com o Ceará apresentando o menor IDO, sugerindo uma baixa eficiência na prestação de serviços de água e esgoto. Esses estados requerem intervenções mais incisivas e políticas públicas direcionadas, além de investimentos em infraestrutura para elevar o desempenho e reduzir as disparidades entre as unidades da federação. A comparação entre estados como Ceará e Rio Grande do Norte, por exemplo, que apresentam diferenças de mais de 6 pontos percentuais no IDO, ilustra a amplitude das desigualdades operacionais na região.

Ao observar os *clusters* regionais, nota-se que os estados com IDO acima da média estão distribuídos de maneira geograficamente diversificada, sugerindo que o bom desempenho não se restringe a uma determinada sub-região do Nordeste. Por outro lado, os estados abaixo da média se concentram em áreas que historicamente enfrentam dificuldades socioeconômicas mais profundas, como o Ceará e Alagoas. Isso evidencia a necessidade de políticas mais focadas para essas áreas, as quais, além de melhorar os serviços de saneamento, também abordem questões relacionadas ao desenvolvimento humano e desigualdade.

Essa variação no IDO entre os estados do Nordeste, quando comparada à média regional, reflete a complexidade do cenário de saneamento na região e a necessidade de intervenções específicas em cada estado, levando em conta suas particularidades socioeconômicas e estruturais.

Tabela 31 – Hierarquização dos Estados do Nordeste por IDO (*Continua*)

Rank	Estado	IDO (%)	ND
1	Rio Grande do Norte	53,86	I
2	Paraíba	53	I
3	Bahia	52,79	I
4	Pernambuco	52,78	I

Tabela 31 – Hierarquização dos Estados do Nordeste por IDO (*Conclusão*)

Rank	Estado	IDO (%)	ND
5	Sergipe	51,26	I
6	Piauí	50,39	I
7	Maranhão	49,84	B
8	Alagoas	49,3	B
9	Ceará	46,95	B

Fonte: Dados da pesquisa (2023)

IDO: Índice de Desempenho. ND: Nível de Desempenho. A: Alto. I: Intermediário. B: Baixo.

A análise de *cluster* destaca a divisão das unidades em dois grupos distintos, refletindo a relação entre o Índice de Desempenho Operacional (IDO) e os fatores socioeconômicos das regiões, como IDH, Índice de Gini, emprego e renda, educação e saúde. O *Cluster 1*, composto por locais com IDO superior à média de 0,51, indica uma maior eficiência operacional, associada a melhores níveis de desenvolvimento socioeconômico. Por outro lado, o *Cluster 2*, que agrupa as áreas com IDO abaixo da média, revela desafios estruturais mais complexos e condições socioeconômicas menos favoráveis. Essas diferenças refletem uma correlação direta entre a performance operacional dos serviços e as variáveis socioeconômicas, sugerindo que os avanços no desempenho estão intimamente ligados ao nível de desenvolvimento humano e à distribuição de renda.

Os estados do *Cluster 1*: Rio Grande do Norte (IDO = 53,86%), Paraíba (IDO = 53%), Bahia (IDO = 52,79%), Pernambuco (IDO = 52,78%) e Sergipe (IDO = 51,26%), apresentam uma combinação de indicadores que justificam seu melhor desempenho. De acordo com os dados da FIRJAN, esses estados exibem IDHs superiores a 0,65, com destaque para Pernambuco e Rio Grande do Norte, que possuem índices próximos a 0,68 e 0,684, respectivamente.

A proximidade entre os valores de IDO e IDH sugere que o desenvolvimento humano mais elevado está associado a uma maior capacidade de gestão e eficiência nos serviços de água e esgoto. Além disso, esses estados demonstram resultados mais satisfatórios em termos de educação e saúde, como evidenciado pelos coeficientes de variação relativamente baixos para essas variáveis.

Apesar do desempenho superior, é importante ressaltar que mesmo no *Cluster 1*, os estados enfrentam desafios operacionais significativos. Sergipe, com um IDO de 51,26%, está mais próximo da média, refletindo a necessidade de melhorias contínuas em termos de expansão

da cobertura de esgoto e redução de perdas no sistema de água. Políticas voltadas à modernização da infraestrutura e à padronização de práticas administrativas são essenciais para que esses estados possam consolidar e expandir seus ganhos operacionais, garantindo a manutenção de um nível de desempenho superior.

O *Cluster 2* inclui os estados Piauí (IDO = 50,39%), Maranhão (IDO = 49,84%), Alagoas (IDO = 49,3%) e Ceará (IDO = 46,95%), que enfrentam condições socioeconômicas mais desafiadoras. Os dados da FIRJAN indicam que esses estados possuem IDHs inferiores a 0,65, com Maranhão e Alagoas apresentando os menores índices, 0,639 e 0,631, respectivamente. Além disso, o Índice de Gini nesses estados varia entre 0,537 e 0,574, indicando níveis elevados de desigualdade de renda, o que pode comprometer o acesso equitativo aos serviços de saneamento e contribuir para a ineficiência operacional. A variabilidade mais alta observada nas variáveis de emprego e renda e educação também reflete os desafios estruturais que afetam a capacidade desses estados de fornecer serviços de saneamento de maneira eficiente.

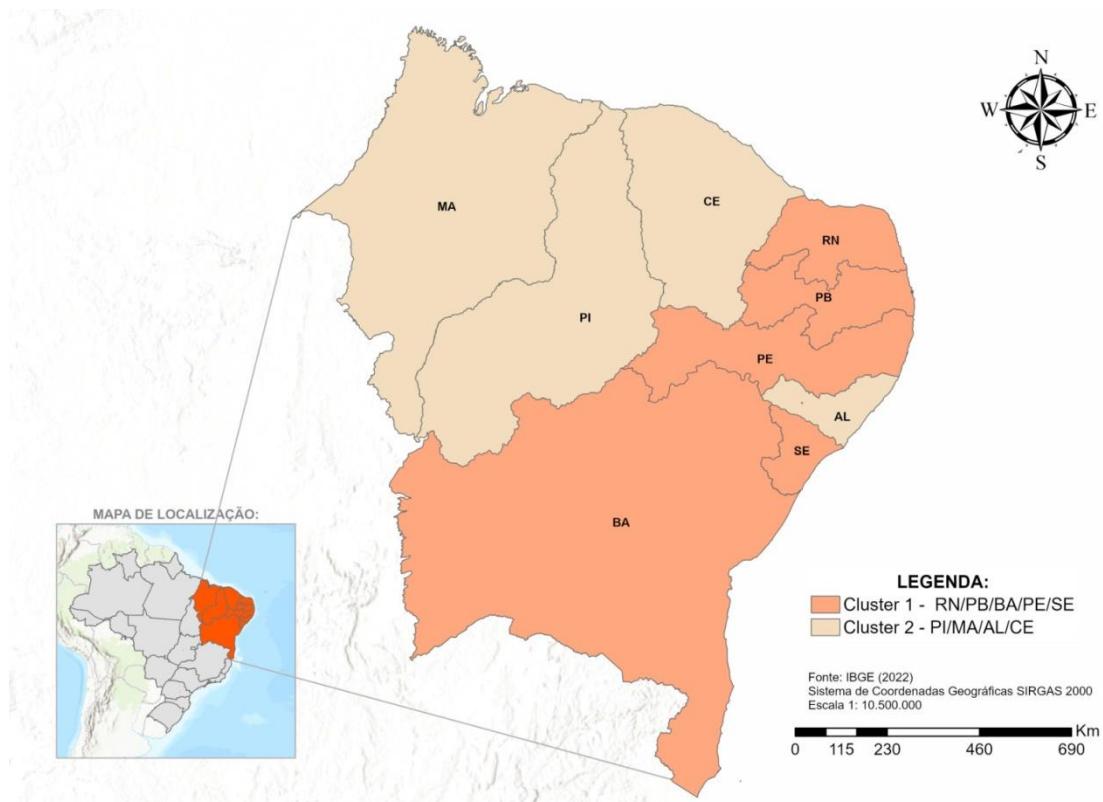
O caso do Ceará, que possui o menor IDO entre os estados analisados, é particularmente emblemático. Embora o estado tenha avançado em termos de educação, com um índice de 0,726, superior à média dos estados do Nordeste, o desempenho operacional no setor de saneamento ainda é insatisfatório, o que pode ser reflexo de problemas de governança e insuficiência de investimentos em infraestrutura. De maneira semelhante, Alagoas, com um IDO de 49,3%, enfrenta barreiras consideráveis, tanto em termos de desigualdade de renda quanto de investimentos inadequados, o que limita a sua capacidade de melhorar os serviços de água e esgoto.

A discussão dos *clusters* revela que, além do desempenho operacional, os fatores socioeconômicos desempenham um papel crucial na determinação da eficiência dos serviços de saneamento nos estados do Nordeste. Os estados do *Cluster 1* tendem a ter melhores indicadores socioeconômicos, como IDH mais elevados, menores índices de Gini e melhores desempenhos em educação e saúde, enquanto os estados do *Cluster 2* enfrentam desafios relacionados à desigualdade de renda, à precariedade de infraestrutura e à governança inadequada. Esses fatores indicam que as soluções para melhorar o desempenho operacional nos estados com IDO abaixo da média devem abordar questões socioeconômicas mais amplas, além de investimentos em tecnologia e infraestrutura.

Em suma, a análise de *cluster* com base no IDO e nos dados da FIRJAN reforça a existência de dois grupos distintos de estados no Nordeste, com implicações importantes para o planejamento e a implementação de políticas públicas. Enquanto os estados do *Cluster 1*

demonstram um nível de desempenho superior, o *Cluster 2* enfrenta desafios estruturais que exigem intervenções mais profundas e abrangentes para garantir o acesso equitativo e a qualidade dos serviços de saneamento. A redução das desigualdades regionais e a melhoria dos indicadores socioeconômicos são fundamentais para que todos os estados do Nordeste possam avançar em direção à universalização dos serviços de água e esgoto.

Figura 6 – Divisão dos estados do Nordeste por *clusters* em relação ao IDO



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A análise dos estados do Nordeste, organizados em dois *clusters* com base no Índice de Desempenho Operacional (IDO), revela uma relação significativa entre o desempenho dos serviços de saneamento e os indicadores socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o Índice de Gini, emprego e renda, educação e saúde. O *Cluster 1* agrupa os estados com desempenho operacional acima da média regional ( $IDO > 0,51$ ), enquanto o *Cluster 2* inclui os estados com desempenho abaixo da média ( $IDO < 0,51$ ).

No *Cluster 1*, que reúne os estados com desempenho operacional intermediário, os valores de IDO indicam uma eficiência operacional relativamente superior, mas ainda há espaço para melhorias. Os estados do Rio Grande do Norte ( $IDO = 53,86\%$ ), Paraíba ( $IDO = 53\%$ ), Bahia ( $IDO = 52,79\%$ ), Pernambuco ( $IDO = 52,78\%$ ) e Sergipe ( $IDO = 51,26\%$ ) compõem esse

grupo, apresentando características operacionais semelhantes. Esses estados mostraram um progresso considerável na estruturação de seus serviços de saneamento, o que reflete uma maior eficiência na gestão de água e esgoto. O incremento marginal em variáveis como o Índice de Gini, educação e a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) sugere que melhorias na educação e na redução das desigualdades sociais impulsionam a eficiência dos serviços.

No entanto, o aumento do IDH e dos indicadores de saúde parece ter um impacto inverso, indicando que, quanto mais desenvolvida for a infraestrutura de saúde e o nível de desenvolvimento humano, maior será a complexidade da demanda por serviços de saneamento. Isso reflete a necessidade de aprimorar a capacidade de resposta dos sistemas de saneamento, visto que o aumento na demanda pode sobrecarregar a operação dos serviços e, consequentemente, reduzir a eficiência. Nesses estados, políticas voltadas para a modernização da infraestrutura, redução de perdas na distribuição e aumento da cobertura de esgoto são fundamentais para garantir que mantenham ou melhorem seu desempenho operacional.

No *Cluster 2*, que agrupa os estados com desempenho abaixo da média regional, estão Piauí (IDO = 50,39%), Maranhão (IDO = 49,84%), Alagoas (IDO = 49,3%) e Ceará (IDO = 46,95%). Esses estados enfrentam desafios estruturais mais profundos, refletidos em uma menor eficiência operacional dos serviços de saneamento. A infraestrutura deficitária, a gestão inadequada e as dificuldades em expandir a cobertura de serviços são fatores críticos que contribuem para o baixo desempenho. O Ceará, com o menor IDO (46,95%), evidencia a necessidade de intervenções mais urgentes e direcionadas para melhorar a gestão dos recursos hídricos e expandir os serviços de esgoto.

A PNSB exerce um efeito marginal positivo mais significativo neste grupo, sugerindo que as melhorias na infraestrutura básica, como a distribuição de água e a coleta de esgoto, trazem grandes benefícios, mesmo em regiões com baixo desempenho inicial. No entanto, o impacto marginal negativo do IDH, emprego e renda e saúde indica que, nesses estados, a melhoria nos serviços de saneamento é insuficiente para promover um aumento geral na qualidade de vida. Isso evidencia a necessidade de políticas integradas que abordem não apenas a infraestrutura, mas também o desenvolvimento humano e socioeconômico de forma abrangente.

Conclui-se que a análise de *cluster* com base no IDO expõe duas realidades distintas no Nordeste. O *Cluster 1* apresenta estados com uma base operacional mais sólida e desafios que envolvem a gestão da crescente complexidade dos serviços. O *Cluster 2* mostra que os estados com desempenho inferior dependem de investimentos em infraestrutura básica, mas também de uma gestão mais eficaz dos fatores socioeconômicos para alcançar uma melhora

substancial. Portanto, as políticas públicas devem ser ajustadas para atender às necessidades específicas de cada grupo, garantindo que os estados menos eficientes consigam superar suas dificuldades estruturais e operar em um nível mais elevado de desempenho.

#### 4.5 Conclusão

O presente estudo analisou os efeitos das características socioeconômicas dos estados do Nordeste sobre o desempenho operacional dos serviços de água e esgoto, agrupando-os em *clusters* a partir da análise de Regressão *Quantílica*. A partir dos dados levantados, conclui-se que variáveis como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e os indicadores de saúde têm um impacto negativo sobre o Índice de Desempenho Operacional (IDO) nos estados com maior desempenho operacional, sugerindo que o aumento do desenvolvimento humano e da saúde pode gerar demandas mais complexas para os serviços de saneamento, resultando em uma redução da eficiência operacional.

Nos estados com desempenho intermediário, observou-se que o Índice de Gini e a educação apresentam um efeito positivo no IDO, evidenciando que a redução da desigualdade social e a melhoria no nível educacional contribuem para uma maior eficiência nos serviços de saneamento. A implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) também mostrou um impacto positivo significativo, principalmente nos estados com desempenho abaixo da média, sugerindo que as melhorias na infraestrutura básica de água e esgoto desempenham um papel crucial na promoção da qualidade de vida nesses estados.

As informações deste estudo fornecem um conjunto robusto de evidências sobre a prestação de serviços de água e esgoto nos estados do Nordeste, oferecendo subsídios para planejadores e tomadores de decisão no aprimoramento das políticas públicas relacionadas a esses serviços essenciais. Os resultados indicam a necessidade de abordagens mais integradas que considerem tanto os aspectos socioeconômicos quanto a infraestrutura de saneamento para garantir maior equidade e eficiência no atendimento à população.

Para pesquisas futuras, recomenda-se uma análise longitudinal que acompanhe a evolução desses serviços ao longo do tempo e a realização de estudos de impacto da PNSB sobre o IDH e a saúde, com o objetivo de aprofundar a compreensão sobre a inter-relação entre saneamento e desenvolvimento humano na região.

## 5 CONCLUSÃO GERAL

A presente tese apresentou uma avaliação quali-quantitativa do modelo de gestão do saneamento básico no Nordeste brasileiro, utilizando uma abordagem metodológica robusta que aliou técnicas como a Análise Envoltória de Dados (DEA), o Índice de Malmquist, Análise Fatorial, Regressão *Quantílica* e Análise de *Clusters*. Os resultados permitiram uma compreensão aprofundada das dinâmicas operacionais dos serviços de água e esgoto, revelando que, embora o Nordeste tenha apresentado avanços ao longo das últimas décadas, a região ainda enfrenta desafios estruturais que comprometem a universalização e a eficiência dos serviços. O uso combinado dessas técnicas possibilitou não apenas mensurar o desempenho técnico, mas também identificar os fatores críticos que limitam o avanço do setor, especialmente em municípios de menor porte e com menores indicadores socioeconômicos.

A análise histórica evidenciou que a evolução do saneamento básico no Brasil foi marcada por desigualdades regionais e sociais, reflexo de políticas públicas fragmentadas e de uma gestão centralizada voltada, muitas vezes, para interesses das elites urbanas. A criação da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e, posteriormente, do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), representou um marco regulatório importante ao estabelecer diretrizes para a universalização e sustentabilidade dos serviços. No entanto, os dados mostraram que a implementação dessas políticas, apesar de ter gerado avanços, não foi suficiente para equalizar o acesso entre estados e municípios do Nordeste, revelando a necessidade de mecanismos de regulação mais efetivos e de maior integração entre as esferas federativa, estadual e municipal.

Os resultados empíricos dos capítulos permitiram concluir que os principais determinantes do desempenho operacional dos serviços de água e esgoto no Nordeste estão relacionados, principalmente, ao índice de perdas na distribuição, à tarifa média praticada e ao consumo de água. Por outro lado, variáveis como o número de empregados e o grau de atendimento urbano de esgoto demonstraram impacto limitado, apontando para a necessidade de revisão das estratégias de gestão de recursos humanos e de investimentos em infraestrutura. As análises de Regressão *Quantílica* e *cluster* permitiram, ainda, identificar que municípios com melhores índices de desenvolvimento humano e condições de saúde apresentaram desempenho superior, enquanto melhorias nos indicadores de educação e redução da desigualdade foram decisivas para municípios com desempenho intermediário.

Outro ponto central da tese refere-se ao impacto das condições socioeconômicas e das políticas públicas nas diferentes mesorregiões administrativas do Nordeste. Observou-se

que as desigualdades regionais são agravadas por limitações de investimento, baixa capacidade institucional e restrições impostas por medidas como a Emenda Constitucional 95/2016, que limitou os gastos públicos e comprometeu a expansão dos serviços. O estudo evidenciou que, para além da necessidade de recursos financeiros, é fundamental o fortalecimento da regulação, a adoção de tecnologias inovadoras e a capacitação de gestores e operadores do setor, além da promoção de programas de educação sanitária e conscientização social para garantir a sustentabilidade dos avanços.

Por fim, a tese recomenda que políticas públicas futuras para o saneamento básico no Nordeste brasileiro adotem uma abordagem integrada, considerando as especificidades locais e as desigualdades históricas. É imprescindível fortalecer a regulação e a governança, aumentar os investimentos em infraestrutura, adotar métricas de eficiência mais precisas e estimular parcerias público-privadas para acelerar a universalização do acesso. A continuidade das avaliações quali-quantitativas, como a proposta nesta tese, é essencial para monitorar e ajustar as estratégias setoriais, assegurando que os benefícios dos avanços no saneamento básico sejam estendidos a toda a população nordestina, contribuindo de maneira significativa para o desenvolvimento sustentável, a equidade social e a melhoria das condições de vida.

## REFERÊNCIAS

ARCOVERDE, L. Orçamento do governo federal prevê queda de 21% nos recursos para saneamento básico em 2020. **Globo News**, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/09/05/orcamento-do-governo-federal-preve-queda-de-21percent-nos-recursos-para-saneamento-basico-em-2020.ghtml>. Acesso em: 26 ago. 2024.

AZEVEDO, A. C. de. Verso e Reverso das Políticas Públicas de Água para o Semiárido Brasileiro. **Revista Política e Planejamento Regional**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 373 a 392. Julho/dezembro 2015. Disponível em: <https://www.revistappr.com.br/artigos/publicados/artigo-verso-e-reverso-das-politicas-publicas-de-agua-para-o-semiarido-brasileiro.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024

BILIBIO, E.C.F.; SILVA, L.D. da; NAVARRO, T.T.D.; SILVA, V.C. da. Saneamento básico um direito fundamental da população. **Revista Percurso**, Unicuritiba. v. 2, n. 39, e-5461 p.243-251 abr./jun. 2021.

CAMPOS, R.J. de; BRANCO, P. Ocupação desordenada dos espaços urbanos e suas consequências socioambientais. **Revista Thêma et Scientia**. [S. l.], v. 11, n. 2E, jul/dez 2021.

CORREIA, C.V.; HUSZCZ, G.B.; PAES, B. de A.; SANTOS. A.G.E. dos; MARTENS, L.B. Doenças de veiculação hídrica e seu grande impacto no Brasil: consequência de alterações climáticas ou ineficiência de políticas públicas? **Brazilian Medical Students Journal**. [S. l.], v. 5, n. 8, 2021.

COSTA, D.; PEREIRA, P.; PASCHOAL R. O poder da inovação aberta na transformação do setor de saneamento. **Revista SANEAS**. [S. l.] Ano XIV, ed. 87, jan-mar, 2024.

COSTA, G.R.; SILVA, M.H. da; CORRÊA, R.I.L.; RIBAS, E.B. Saneamento básico: sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. **Revista Paramétrica**. [S. l.], v. 14, n. 1, jan./jul. 2022.

DIAZ, R. R. L.; NUNES, L. dos R. A evolução do saneamento básico na história e o debate de sua privatização no Brasil. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, Guanambi, v. 7, n. 02, e292, jul./dez. 2020. Disponível em: <http://revistas.faculdadeguanambi.edu.br/index.php/Revistadodireito/article/view/292>. Acesso em: 26 ago. 2024.

ENGENHARIA COMPARTILHADA. **Solução inovadora pode acelerar o desenvolvimento do saneamento básico no Nordeste**. [S. l.]: Engenharia Compartilhada, 2024. Disponível em: [https://engenhariacompartilhada.com.br/noticia/exibir/7926809\\_solucao-inovadora-pode-acelerar-o-desenvolvimento-do--saneamento-basico-no-nordeste](https://engenhariacompartilhada.com.br/noticia/exibir/7926809_solucao-inovadora-pode-acelerar-o-desenvolvimento-do--saneamento-basico-no-nordeste). Acesso em: 30 ago. 2024.

GUEDES, W.P.; SUGAHARA, C.R.; FERREIRA, D.H.L.; BRANCHI, B.A. Indicadores de saneamento básico: uma aplicação da Análise Fatorial para os municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Interações**, Campo Grande, v. 24, n. 1, p. 261-179, jan./mar. 2023

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciências**

**e Saúde Coletiva.** [S. l.], v. 3, n. 2, p. 73-84, 1998.

**IDEIA SOCIOAMBIENTAL. A distribuição de água potável nas regiões do Nordeste.** [S. l.]: Ideia Socioambiental, 2018. Disponível em: <https://www.ideiasocioambiental.com.br/adicional/agua-potavel-nas-regioes-do-nordeste/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo de 2022 – Base de Dados.** Brasília DF: IBGE, 2022. Disponível em: <https://basedosdados.org/dataset/>. Acesso em: 14 ago. 2024.

**INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Boletim Regional, Urbano e Ambiental.** [S. l.], v. 29, jan./jun. 2023.

KISTNER, S. P.; FERREIRA, D. D. M.; KAZMIRCAK, G. J. Eficiência em empresas públicas e privadas do setor de saneamento básico: um estudo com aplicação da *Data Envelopment Analysis* (DEA). **Gestão & Regionalidade**. São Caetano do Sul, v. 38, n. 115, p. 264-282. set./dez, 2022.

MARA, Duncan *et al.* Sanitation and health. **PLoS medicine**, [S. l.], v. 7, n. 11, p. e1000363, 2010.

MORUZZI, R.B. Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. **Ciência & Tecnologia**. Rio Claro, ano 8, v. 8, n.3, p. 271, jul. dez. 2008.

OLIVEIRA, F.G. de; VALVERDE, D.O.; ANDRADE, K.R. de; ROSA, T.M. Vulnerabilidade, pobreza e a evolução do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) nas Unidades de Desenvolvimento Humano (UDHs) do Distrito Federal. **Prêmio Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: coletânea de artigos. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Fundação João Pinheiro, 2015.

PINEDA, G.Y.F. **Gestão comunitária para abastecimento de água em áreas rurais**: uma análise comparativa de experiências no Brasil e na Nicarágua. 2013. 221f. Dissertação (Mestrado Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1059M.PDF>. Acesso em: 26 ago. 2024.

**PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA Prêmio Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: coletânea de artigos. Brasília: Fundação João Pinheiro. 2015.

REBOUÇAS, A. da C. **Água na região nordeste**: desperdício e escassez. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2005.

SCOTT, Pippa; COTTON, Andrew P. A paisagem urbana do saneamento – rumo a uma estrutura conceitual para o saneamento urbano integrado e abrangente. **Frontiers in Environmental Science**, [S. l.], v. 8, p. 70, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **World Information Report**. Paris: UNESCO, 1995.