



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**ESTIMATIVA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS DE ÁGUA NOS SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

Caruaru
2025

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**ESTIMATIVA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS DE ÁGUA NOS SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Coorientador: Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves

Caruaru

2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Martins, Emmanuel Henrique Piancó da Silva.

Estimativa do nível econômico de perdas de água nos sistemas de abastecimento de água do estado de Pernambuco, Brasil / Emmanuel Henrique Piancó da Silva Martins. - Caruaru, 2025.

75f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2025.

Orientação: Saulo de Tarso Marques Bezerra.

Inclui referências.

1. Recursos hídricos; 2. Saneamento básico; 3. Eficiência operacional; 4. Perdas de água; 5. Índice de perdas na distribuição; 6. Método de Wyatt. I. Bezerra, Saulo de Tarso Marques. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

EMANNUEL HENRIQUE PIANCÓ DA SILVA MARTINS

**ESTIMATIVA DO NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS DE ÁGUA NOS SISTEMAS
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Silvanete Severino Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^ª. Dr^ª. Tuane Batista do Egito (Examinadora Externa)
Instituto Federal de Educação da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida, pela sabedoria e por toda a força que Ele me deu para superar os desafios ao longo dessa caminhada. Sua presença constante e Seu amparo foram fundamentais para que eu pudesse concluir esta etapa tão importante. Também agradeço a Maria Santíssima, cuja intercessão e amor materno me acompanharam em cada momento de dúvida e dificuldade.

Aos meus pais, Givanildo Oliveira e Patrícia Maria, minha eterna gratidão. Vocês são a minha base, meu alicerce e meus maiores exemplos de dedicação, perseverança e amor incondicional. Obrigado por cada conselho, por cada palavra de incentivo e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus sonhos. Vocês me ensinaram o valor do trabalho árduo e me deram a força para acreditar em mim mesmo, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, Elliel Henry e Anthoniel Hely, minha gratidão pela amizade, pelo companheirismo e pelo apoio incondicional em todos os momentos. Vocês foram meu refúgio e meu suporte, sempre me incentivando e me lembrando de que, independentemente dos desafios, o esforço vale a pena. A cumplicidade e os laços que compartilhamos são um dos meus maiores tesouros.

Ao Sr. Ednaldo Júnior, meu antigo gerente na Viana e Moura Construções, minha gratidão especial. Quando soube da minha aprovação no mestrado, mesmo eu sendo recém-contratado na empresa, você não apenas apoiou minha decisão, mas também demonstrou uma confiança e generosidade que foram essenciais para que eu pudesse conciliar trabalho e estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Saulo de Tarso, que desde os meus primeiros passos na graduação tem sido um exemplo de mentor e inspiração. Sua confiança em meu potencial, sua paciência e suas orientações valiosas foram determinantes para que eu pudesse trilhar esse caminho com segurança. Obrigado por acreditar no meu trabalho e por sempre estar disposto a compartilhar seus conhecimentos e experiências.

À Maria Lavinya, minha noiva e companheira de vida, minha eterna admiração e gratidão. Sua presença amorosa e seu apoio incondicional foram fundamentais para que eu pudesse alcançar esta conquista. Além de ser meu porto seguro, você é um exemplo de pesquisadora e acadêmica, cuja dedicação e brilhantismo me inspiram profundamente. Hoje, ao alcançar o patamar de doutoranda, você me mostra, diariamente, a importância do esforço, da resiliência e da busca incansável pelo conhecimento. Esta conquista é tanto minha quanto sua, e não seria possível sem sua força, compreensão e incentivo constantes.

À banca examinadora, composta pelo Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves (coorientador), Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva, Prof^ª Dr^ª Silvanete Silva e Prof^ª Dr^ª Tuane Batista do Egito, agradeço imensamente pelas valiosas sugestões, comentários e contribuições feitas ao meu trabalho. Suas análises criteriosas e seu conhecimento foram determinantes para o aprimoramento desta dissertação, e sou profundamente grato por sua dedicação e apoio durante este processo.

Agradeço também a todos os professores do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE (UFPE-CAA) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional. Suas aulas, orientações e estímulo intelectual foram essenciais para a construção do meu conhecimento e para a realização deste trabalho.

Por fim, estendo meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa trajetória. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada momento compartilhado foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

“Ora et labora”

São Bento

Martins, E. H. P. da S. Nível Econômico de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água do Estado de Pernambuco. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE, 75 p., 2025.

RESUMO

A gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água é um desafio crescente frente aos impactos das mudanças climáticas, ao aumento da demanda e à limitação dos recursos hídricos. Entre os principais entraves à sustentabilidade financeira e ambiental do setor estão as perdas de água, que comprometem a eficiência operacional e elevam os custos de produção, distribuição e manutenção. Este estudo teve como objetivo principal determinar o Nível Econômico de Perdas de água (NEP), reais e aparentes, nas mesorregiões de Pernambuco, identificando o ponto de equilíbrio entre os custos das intervenções para redução de perdas e os benefícios econômicos obtidos. A metodologia combinou o método de Wyatt, para a quantificação do NEP, com análise estatística utilizando o teste ANOVA, para identificar variações significativas entre as mesorregiões. Dados operacionais e financeiros da concessionária local foram analisados em conjunto com variáveis regionais, como características demográficas. Os resultados apontaram uma redução contínua no índice de perdas na distribuição (IN049) durante o período de 2018 a 2022. No entanto, os índices de perdas permanecem significativamente superiores ao NEP, que teve a média do estado variando de 20,72% a 22,58% ao longo do período. A Região Metropolitana do Recife apresentou o menor NEP, enquanto a Zona da Mata registrou o maior, evidenciando disparidades regionais. Os resultados do teste ANOVA revelam que, embora não houvesse diferenças estatisticamente significativas entre as médias gerais das mesorregiões para o NEP e o IN049, foram identificadas variações significativas entre o Agreste e Sertão (valor-p = 0,0113) e a Zona da Mata e São Francisco (valor-p = 0,0148). Essas disparidades reforçam a importância de estratégias regionais específicas, considerando condições climáticas, infraestrutura e práticas operacionais locais. Embora a concessionária tenha alcançado avanços relevantes nos últimos anos, os resultados destacam a necessidade de intensificar as ações de controle de perdas de água. Investimentos contínuos em tecnologias de monitoramento, controle de perdas e reabilitação de redes de distribuição são essenciais para otimizar o fornecimento e garantir a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento pernambucanos.

Palavras-chave: Recursos hídricos, saneamento básico, eficiência operacional, perdas de água, índice de perdas na distribuição, método de Wyatt.

Martins, E. H. P. da S. Estimation of the Economic Level of Water Losses in the Water Supply Systems of the State of Pernambuco, Brazil. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE, 75 p., 2025.

ABSTRACT

Efficient management of water supply systems is an increasing challenge in the face of the impacts of climate change, rising demand, and limited water resources. Among the main barriers to the financial and environmental sustainability of the sector are water losses, which compromise operational efficiency and increase production, distribution, and maintenance costs. This study aimed to determine the Economic Level of Water Losses (NEP), both real and apparent, in the mesoregions of Pernambuco, identifying the balance point between the costs of loss reduction interventions and the economic benefits obtained. The methodology combined Wyatt's method for NEP quantification with statistical analysis using the ANOVA test to identify significant variations among the mesoregions. Operational and financial data from the local concessionaire were analyzed alongside regional variables, such as demographic characteristics. The results indicated a continuous reduction in the distribution loss index (IN049) during the period from 2018 to 2022. However, the loss indices remain significantly higher than the NEP, which ranged from 20.72% to 22.58% over the period. The Metropolitan Region of Recife presented the lowest NEP, while the Zona da Mata recorded the highest, highlighting regional disparities. The ANOVA test results reveal that, although there were no statistically significant differences between the general means of the mesoregions for NEP and IN049, significant variations were identified between the Agreste and Sertão ($p\text{-value} = 0.0113$) and the Zona da Mata and São Francisco ($p\text{-value} = 0.0148$). These disparities underscore the importance of specific regional strategies considering climatic conditions, infrastructure, and local operational practices. Although the concessionaire has achieved significant progress in recent years, the results emphasize the need to intensify actions to control water losses. Continuous investments in monitoring technologies, loss control, and network rehabilitation are essential to optimize supply and ensure the sustainability of Pernambuco's water supply systems.

Keywords: Water resources, basic sanitation, operational efficiency, water losses, distribution loss index, Wyatt method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Relação entre o custo variável de produção e a perda real adimensional.....	25
Figura 2 –	Relação entre o custo futuro de expansão anual e a perda real adimensional.....	25
Figura 3 –	Relação entre o custo anual de controle de perdas e a perda real adimensional.....	26
Figura 4 –	Relação entre os custos anuais e as perdas reais adimensional.....	26
Figura 5 –	Relação entre a receita anual e a perda aparente adimensional.....	27
Figura 6 –	Controle de perdas aparentes: custo anual e a perda aparente adimensional.....	28
Figura 7 –	Mesorregiões do Estado de Pernambuco.....	33
Figura 8 –	Fluxograma da sequência de cálculos para encontrar o NEP.....	35
Figura 9 –	Índice de perdas na distribuição (IN049) as mesorregiões de Pernambuco.....	50
Figura 10 –	Volume de perdas reais ótimo nas mesorregiões de Pernambuco.....	53
Figura 11 –	Volume de perdas aparentes ótimo nas mesorregiões de Pernambuco.....	54
Figura 12 –	Nível econômico de perdas nas mesorregiões de Pernambuco.....	55
Figura 13 –	Índice de perdas na distribuição (IN049) e NEP de Pernambuco de 2018 a 2022	57
Figura 14 –	Boxplot com outliers dos NEP dos municípios de Pernambuco de 2018 a 2022	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km).....	42
Tabela 2 –	Equações e valores relacionados ao cálculo do custo de produção anual de água.....	43
Tabela 3 –	Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anualizado de expansão do sistema de produção.....	43
Tabela 4 –	Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anual das atividades e investimentos para controle de perdas.....	44
Tabela 5 –	Proporção do preço médio do hidrômetro em Pernambuco.....	44
Tabela 6 –	Equações e valores relacionados ao cálculo da receita anual da operação em função da perda aparente.....	47
Tabela 7 –	Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anual de controle de perdas aparentes por submedição.....	48
Tabela 8 –	Equações e valores relacionados ao cálculo da condição otimizada de perdas aparentes por submedição.....	48
Tabela 9 –	Variáveis estatísticas do índice de perdas na distribuição (IN049) para o período de 2018 a 2022.....	51
Tabela 10 –	Variáveis estatísticas do NEP das mesorregiões (2018 a 2022).....	55
Tabela 11 –	Resultados do teste ANOVA para os NEP das mesorregiões de Pernambuco (2018-2022)	61
Tabela 12 –	Resultados do teste ANOVA para os IN049 das mesorregiões de Pernambuco (2018-2022)	61
Tabela 13 –	Resultados do teste ANOVA para os NEP das mesorregiões em pares.....	62
Tabela 14 –	Valores calculados dos Níveis Econômicos de Perdas Reais e Aparentes somados para cada mesorregião.....	71
Tabela 15 –	Dados do indicador de perdas para cada mesorregião no período analisado	71
Tabela 16 –	NEP calculado para cada município do Estado.....	71

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit
DMC	Distrito de medição e controle
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET	International Benchmarking Network for Water and Sanitation
IWA	Associação Internacional da Água
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
NBR	Norma Brasileira
NEP	Nível Econômico de Perdas
NEPA	Nível econômico de perdas aparentes
NEPR	Nível econômico de perdas reais
PIB	Produto Interno Bruto
ProEESA	Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água
SAA	Sistemas de abastecimento de água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

LISTA DE SÍMBOLOS

AG001	Média da população atendida	pessoa
AG006	Volume de água produzido	1.000 m ³ /ano
AG010	Volume de água consumido	1.000 m ³ /ano
AG018	Volume de água tratada importado	1.000 m ³ /ano
AG019	Volume de água tratada exportado	1.000 m ³ /ano
AG028	Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água	1.000 kWh/ano
b	Fator de economia de escala	-
c	Consumo médio per capita	m ³ /pessoa/dia
C _{CH}	Consumo médio per capita efetivo por via de hidrômetros	m ³ /pessoa/dia
C _{cra}	Custo de conservação e reposição da rede anualizado	R\$/km
C _{exp}	Custo anualizado de expansão do sistema	R\$/ano
C _g	Custo associados à gestão de perdas	R\$/km
C _h	Custo anual de substituição de hidrômetros	R\$/ano
C _p	Custo de pesquisa de vazamentos	R\$/km
C _{PR}	Custo anual de controle de perdas reais de água	R\$/ano)
C _{PROD}	Custo de produção anual de água	R\$/ano
C _{prod}	Custo unitário de produção de água em	R\$/m ³
C _{pr}	Custo das principais ações de controle de perdas	R\$/km
C _r	Custo de reparação de vazamentos	R\$/km
D	Comprimento da rede de distribuição por ligação	Km/ligação
E	Razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida	-
ES001	População total atendida com esgotamento sanitário	pessoa
ES028	Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos	1.000 kWh/ano
F _{exp}	Custo futuro de expansão do sistema de produção de água	R\$
FN002	Receita operacional direta de água	R\$
FN003	Receita operacional direta de esgoto	R\$
FN011	Despesa com produtos químicos	R\$/ano
FN013	Despesa com energia elétrica	R\$/ano
FN020	Despesa com água importada	1.000 m ³ /ano
fp	Fator de ponta	-

fr	Fator de resiliência	-
FRC	Fator de recuperação do capital	%
G	Taxa de crescimento populacional	%
GD	Grau de atendimento da demanda	-
H	Custo médio de troca de hidrômetro	R\$/hidrômetro
k	Coeficiente de custo	R\$/m ³ /dia
k1	Coeficiente do dia de maior consumo	-
M	Extensão da rede de água	km
N	Número de ligações ativas	ligação
p	Número médio de pessoas por ligação	pessoas/ligação
PA	Perda aparente adimensional	-
PR	Perda real adimensional	-
PRl	Perdas reais lineares	m ³ /km/dia
Qc	Volume de água consumido	1000 m ³ /ano
Qexp	Expansão necessária da capacidade do sistema	m ³ /dia
Qm	Volume de água medido	m ³ /ano
Qp	Volume produzido	1000 m ³ /ano
R	Receita anual da operação em função da perda aparente	R\$/m ³
r	Taxa de retorno	%
s	Inclinação da linha de precisão de medição	%
Sub _{EV}	Submedição em hidrômetros tecnicamente evitável	%
Sub _{INEV}	Submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável	%
T	Tarifa unitária (média ponderada considerando tarifas para conexões com esgoto)	R\$/m ³
tx	fator para converter a tarifa unitária em “tarifa líquida”	-
U	Relação entre a capacidade instalada e a demanda	-
z	Período relativo à expansão futura	anos
α	Coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados	m ³ /km/dia
β	Coeficiente de perdas de vazamentos não reportados	m ³ /km/dia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	PERDAS DE ÁGUA.....	18
3.2	NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS	20
3.3	MÉTODO DE WYATT	22
3.3.1	Nível Econômico de Perdas Reais	24
3.3.2	Nível Econômico de Perdas Aparentes	27
3.3.3	Patamar Econômico	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	ÁREA DE ESTUDO	31
4.2	BASE DE DADOS.....	33
4.3	MÉTODO DE WYATT	35
4.3.1	Índice de Perdas na Distribuição	35
4.3.2	Determinação do Nível Econômico de Perdas Reais	36
4.3.3	Determinação do Nível Econômico de Perdas Aparentes	44
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO	50
5.2	NÍVEIS ECONÔMICOS DE PERDAS	52
5.2.1	Nível econômico de perdas reais	52
5.2.2	Nível econômico de perdas aparentes	53
5.2.3	Nível econômico de perdas	54
5.3	PATAMAR ECONÔMICO.....	56
5.4	GRÁFICO BOXPLOT E OUTLIERS.....	58
5.5	TESTE ANOVA	60
6	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida, a prosperidade e o desenvolvimento das atividades humanas. Sua disponibilidade é fundamental para a manutenção dos ecossistemas, a produção de alimentos, a geração de energia e a indústria. No entanto, o aumento da demanda decorrente do crescimento populacional e do avanço das atividades econômicas, aliado às mudanças climáticas, tem pressionado os recursos hídricos globais. A Organização das Nações Unidas (ONU) prevê que, até 2050, dois em cada três habitantes do planeta enfrentarão problemas relacionados à escassez hídrica, o que evidencia a urgência de medidas para promover o uso eficiente e sustentável desse recurso natural (Dysarz; Goetten, 2023).

Entre os principais desafios para a gestão sustentável dos sistemas de abastecimento de água (SAA) está a redução das perdas de água. Essas perdas representam uma parcela significativa do volume total de água produzido e distribuem-se em dois tipos principais: perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais decorrem de vazamentos e rupturas nas redes de distribuição, enquanto as perdas aparentes estão associadas a erros de medição e ao consumo não autorizado. De acordo com Azevedo e Saurin (2018), a maioria dos sistemas de abastecimento apresenta altos índices de perdas, especialmente em função da ausência de manutenções preventivas e da obsolescência da infraestrutura. Esse cenário torna o controle de perdas um tema amplamente discutido no campo da engenharia hidráulica e da gestão de recursos hídricos.

A redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento é uma medida estratégica que contribui para a ampliação da disponibilidade de água, a redução dos custos de manutenção, operação e expansão, e o fortalecimento da resiliência frente às crises hídricas (Cunha; Santos; Gonzalez, 2021). A implementação de ações estruturadas em diferentes dimensões – econômica, ética e ambiental – resulta em melhorias significativas na eficiência dos sistemas. Contudo, surge uma questão central para os gestores: as despesas para reduzir a perda de água são compensadas financeiramente? (Yilmaz *et al.*, 2023). Nesse sentido, torna-se indispensável que as concessionárias definam índices ideais de perdas de água considerando as características locais dos sistemas.

O conceito de Nível Econômico de Perdas (NEP) desponta como uma ferramenta essencial para a gestão eficiente das perdas de água. O NEP é o ponto em que o custo marginal para reduzir perdas de água em sistemas de abastecimento é igual ao benefício marginal obtido pela recuperação de água. Reduzir as perdas para níveis inferiores ao NEP não é economicamente viável, pois os custos associados às intervenções superam os benefícios

financeiros gerados pela água recuperada. Esse conceito deve considerar variáveis como as características da rede, os custos de produção e operação, tarifa de água, e as capacidades técnicas e financeiras das administrações responsáveis, permitindo otimizar o uso de recursos em estratégias de controle de perdas. Segundo Pearson e Trow (2005), embora o conceito de NEP seja “antigo”, este se mostra cada vez mais relevante diante dos avanços nas técnicas de otimização de sistemas de abastecimento e dos crescentes desafios de sustentabilidade hídrica.

No contexto do Estado de Pernambuco, as dificuldades hídricas são um desafio recorrente, principalmente em função das condições climáticas semiáridas que predominam no interior do estado e da distribuição desigual dos recursos hídricos. A escassez de dados detalhados sobre perdas de água e a carência de investimentos em infraestrutura de abastecimento comprometem a eficiência do sistema e agravam as perdas hídricas. De acordo com estudos do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), Pernambuco apresenta índices elevados de perdas na distribuição, refletindo falhas operacionais e dificuldades na medição e monitoramento do consumo. Esse cenário demanda a adoção de estratégias mais robustas para mitigar as perdas e melhorar a segurança hídrica no estado.

Os estudos que abordam o NEP também apresentam uma importante contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Reduzir as perdas de água é fundamental para assegurar a disponibilidade sustentável desse recurso, promovendo a eficiência no uso e garantindo o acesso equitativo a água potável. Além disso, iniciativas de gestão eficiente de recursos hídricos contribuem para o fortalecimento das capacidades institucionais e a promoção de práticas sustentáveis no uso e preservação dos recursos naturais.

Com base no contexto apresentado, esta pesquisa visa determinar e avaliar o NEP dos sistemas de abastecimento de água das mesorregiões do Estado de Pernambuco. Espera-se que essa análise forneça subsídios técnicos valiosos para a concessionária local, permitindo a definição de metas práticas e realistas para o controle de perdas e a melhoria da eficiência hídrica.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar e avaliar o Nível Econômico de Perdas (NEP) dos sistemas de abastecimento de água das mesorregiões do Estado de Pernambuco, utilizando a metodologia proposta por Wyatt *et al.* (2021).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os NEP, a partir dos NEPs aparentes e reais, dos sistemas de abastecimento de água das mesorregiões do Estado de Pernambuco;
- Realizar uma análise estatística através de teste de significância e variação dos resultados do NEP entre as mesorregiões do Estado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PERDAS DE ÁGUA

As perdas de água em sistemas de abastecimento são determinadas por uma variedade de fatores infraestruturais e operacionais. Essas perdas estão intrinsecamente ligadas às características da rede hidráulica, às práticas de operação adotadas, ao nível de tecnologia empregado no sistema e à expertise dos profissionais responsáveis pelo controle dos processos (Bezerra; Cheung, 2013). No cenário brasileiro, o fenômeno das perdas representa um problema ainda mais significativo. Estudos do Instituto Trata Brasil (2024) apontam que aproximadamente 38% da água tratada é desperdiçada antes de alcançar os consumidores finais, representando um desafio de grandes proporções que afeta diversos municípios brasileiros. Essa ineficiência impacta diretamente todos os usuários, tanto em termos de custo quanto de acesso aos recursos hídricos.

A diminuição das perdas de água deve ser prioridade para empresas de saneamento e autoridades governamentais, especialmente em áreas onde a escassez de recursos hídricos se torna uma preocupação cada vez mais urgente. Esse desafio requer uma ação conjunta de todos os agentes envolvidos no setor. Somente com foco em planejamento de longo prazo e aprimoramento das sinergias entre operadores e poderes públicos será possível viabilizar os recursos para os investimentos necessários para aumentar a disponibilidade hídrica (Oliveira *et al.*, 2019). No entanto, a falta de indicadores específicos sobre os níveis de investimento em controle e redução de perdas dificulta a implementação de ações de planejamento adequadas às diferentes realidades locais (European Commission, 2015; Manzi; Ramirez; Martins, 2018).

Em um contexto internacional, a comparação do indicador de perdas de água no Brasil com outros países pode ser baseada em dados da International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET). Em 2021, o Brasil apresentou um índice de perda de faturamento total de 40,9%, desempenho inferior ao de países como Camarões (40,0%), Tanzânia (37,0%), Etiópia (29%), China (21%) e Estados Unidos (14%) (IBNET, 2021). Esse cenário ressalta a importância de ações coordenadas para enfrentar o problema das perdas de água, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da ONU, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos. Dentro desse objetivo, a meta 6.4 incentiva o aumento substancial da eficiência no uso da água em todos os setores, essencial para enfrentar a escassez hídrica e reduzir o número de pessoas afetadas pela falta de água (Fernandes; Almeida; Castro, 2017).

Diante dessa problemática global, nos últimos 20 anos, a International Water Association (IWA) e outras organizações têm desenvolvido ferramentas e metodologias para ajudar na avaliação e gerenciamento eficaz das perdas de água em redes de distribuição (Al-Washali; Sharma; Kennedy, 2016; Bezerra; Cheung, 2013; EPA, 2013; Frauendorfer; Liemberger, 2010; Figueiredo, 2019). Mâncio *et al.* (2021) descreveram uma metodologia em implementação no programa de redução de perdas da AGESAN-RS, que utiliza o método do balanço hídrico da IWA para avaliar as perdas e aplica a curva de desempenho da medição para hidrômetros, conforme a norma NBR 15.538 (ABNT, 2014). Tardelli Filho (2016) e Marcondes (2023) sugerem que um programa de renovação e substituição da infraestrutura existente, especialmente em regiões com maior incidência de rompimentos, é essencial para o sucesso na prevenção e redução das perdas.

Para uma melhor compreensão do problema em nível nacional, diversos estudos têm sido conduzidos em regiões específicas do Brasil. Carvalho *et al.* (2015) investigaram os índices de perdas de água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, identificando a necessidade de planejamentos estratégicos de redução de perdas para determinadas áreas, como a Baixada Fluminense. Andrade Sobrinho e Borja (2016) concentraram-se nas perdas de água na Região Metropolitana de Salvador, observando um comportamento decrescente em alguns indicadores de perda, que voltaram a crescer devido à ausência de planejamento de longo prazo.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2024), o volume total de água não faturada em 2022, equivalente a cerca de sete bilhões de m³, representa quase oito mil piscinas olímpicas de água tratada desperdiçadas diariamente. No caso de Pernambuco, o estado figura como o nono com a maior taxa de desperdício, registrando uma perda de 48,5% da água potável distribuída, um valor significativamente superior à média nacional, que é de 37,8%.

O Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), estabelecido em 2013, definiu metas para a redução das perdas de água em sistemas de distribuição. Nas regiões Norte e Nordeste, essas metas buscam atingir níveis entre 29% e 33%, o que exige esforços específicos dos prestadores para mitigar o problema. Complementando o Plansab, a Portaria 490/2021 do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2021) estabeleceu parâmetros de excelência, considerando como ideal um índice de perdas de no máximo 25% e até 216 L/ligação/dia em perdas por ligação. Em âmbito nacional, o Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS), promovido pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), visa incentivar as melhores práticas no setor, reconhecendo as concessionárias que demonstram desempenhos superiores em indicadores específicos.

Kusterko *et al.* (2018) destacam que a redução das perdas de água está profundamente ligada ao planejamento estratégico e à tomada de decisões pelas entidades responsáveis pelo saneamento. Esse processo é essencial para a sustentabilidade e competitividade das operadoras, além de promover melhorias nos serviços prestados. Os benefícios são abrangentes, impactando os setores energético, econômico, ambiental, sociocultural e tecnológico, reforçando a importância de ações estruturadas para a gestão eficiente das perdas. A classificação e a compreensão das causas das perdas são, portanto, fundamentais para que concessionárias e formuladores de políticas possam desenvolver estratégias mais eficazes de controle de desperdícios, alinhadas às metas de desenvolvimento sustentável e de eficiência hídrica.

3.2 NÍVEL ECONÔMICO DE PERDAS

A redução total das perdas de água nos sistemas de abastecimento não é tecnicamente viável nem financeiramente justificada (Bezerra, Cheung; 2013; Al-Washali *et al.*, 2020; Ahopelto, Vahala; 2020). Após um certo nível, esforços adicionais para reduzir as perdas (por exemplo, detecção de vazamentos) tornam-se economicamente inviáveis, uma vez que o custo de intervenção supera os benefícios obtidos. Se as concessionárias conhecessem o nível ideal de perdas, poderiam estabelecer metas realistas e definir melhores estratégias para alcançá-las (Barbosa, 2021). Dessa forma, seria possível aumentar as receitas e reduzir os custos operacionais, contribuindo para uma gestão mais eficaz e econômica do sistema.

Farley e Trow (2003) destacam que, embora seja possível reduzir significativamente as perdas de água, existe um nível mínimo aceitável para essa redução, compatível com os limites técnicos e econômicos de cada sistema de abastecimento. À medida que as perdas são controladas, os custos associados às ações de mitigação aumentam exponencialmente, tornando o processo progressivamente mais oneroso. Nesse contexto, o conceito de Nível Econômico de Perdas (NEP) refere-se ao ponto em que os custos marginais de redução de perdas igualam os benefícios marginais obtidos pela recuperação da água, estabelecendo um limite prático e econômico para o controle de perdas.

O NEP abrange as perdas reais e aparentes, sendo composto pelo Nível Econômico de Perdas Reais (NEPR) e pelo Nível Econômico de Perdas Aparentes (NEPA) (Heryanto *et al.*, 2021; Ociepa-Kubicka; Deska; Ociepa, 2024). A determinação do NEPR exige conhecimento detalhado sobre a estrutura da rede, os volumes de vazamentos e os custos reais associados a esses vazamentos (Banovec; Domadenik, 2018). O cálculo considera variáveis como custos

operacionais, remoção de vazamentos, produção e distribuição de água tratada, devendo incluir também os custos com energia elétrica (Paraschiv; Paraschiv; Serban, 2023; Yilmaz *et al.*, 2023).

Diversos métodos foram desenvolvidos para estimar o NEP, tanto para perdas reais quanto aparentes (por exemplo, Pearson; Trow, 2005; Wyatt, 2010; European Union, 2015; Vermersch *et al.*, 2016). Pearson e Trow (2005) introduziram o conceito com foco em perdas reais, abordando diferentes horizontes temporais, mas sem considerar perdas aparentes. Wyatt (2010) propôs uma metodologia abrangente para contextos de países em desenvolvimento, que utiliza relativamente pouco dados para estimar perdas. Sua abordagem abrange curvas de custo para reparos, produção e expansão do sistema para a estimativa do NEP para perdas reais, mas simplifica a análise das perdas aparentes, concentrando-se na submedição de hidrômetros.

Vermersch *et al.* (2016) desenvolveram um método que, embora não apresente fórmulas específicas, descreve uma análise de custo-benefício para a troca otimizada de hidrômetros. Este método envolve a avaliação dos custos de substituição de hidrômetros e mão de obra, e o aumento da receita decorrente da redução da submedição.

Arregui *et al.* (2018) introduziram uma metodologia específica para o cálculo do NEP para perdas aparentes. Os autores destacaram que, embora as perdas reais sejam geralmente mais significativas em termos de volume, as perdas aparentes têm impacto semelhante em termos de custo para a concessionária, já que o custo de um metro cúbico perdido equivale à soma dos custos de produção e distribuição.

É importante salientar que a literatura conta com diversas aplicações práticas desses métodos em casos reais, apresentando resultados promissores. Banovec e Domadenik (2018) apresentaram uma análise baseada no mercado paralelo de vazamentos, definido pelo custo marginal da água fornecida no lado da oferta e pelo custo marginal dos reparos para mitigar as perdas de água no lado da demanda. Eles aplicaram a metodologia na empresa pública VO-KA Ljubljana, que é a maior concessionária de água da Eslovênia.

Moll (2019) aplicou o método de Wyatt (2010) para determinar os NEP aparentes e reais em 92 distritos de medição e controle localizados em Curitiba-PR. Com o objetivo de quantificar as perdas ocorridas e compará-las com os valores estimados pelo NEP, foram determinadas as perdas reais e aparentes utilizando o modelo de balanço hídrico da IWA. A avaliação dessas perdas foi realizada com indicadores propostos por Alegre *et al.* (2017) e índices descritos por Alegre *et al.* (2017) e Liemberger e McKenzie (2005).

Heryanto *et al.* (2021) estimaram o NEP por meio de quatro métodos: o método do custo total, o método do custo marginal, o método do custo-benefício cumulativo e os métodos baseados em componentes, em concessionárias de água da cidade de Malang, Indonésia. Os pesquisadores afirmam que o método do custo total é o mais preciso, mais fácil de aplicar e não requer uma longa série de dados.

Firat *et al.* (2022) desenvolveram um modelo baseado em otimização estocástica discreta para determinar o NEP referente às perdas reais (vazamentos) em sistemas de abastecimento, obtendo um valor de 11,9%; enquanto Yilmaz *et al.* (2023) conduziram uma análise para determinar o nível de perda econômica usando um algoritmo de otimização em concessionárias de água com diferentes características de rede, produção de água, custos operacionais e capacidade institucional. Os sistemas analisados apresentavam índices de perdas de faturamento de 57%, 50% e 37%, enquanto os respectivos NEP foram estimados em 29%, 16% e 23%, demonstrando a influência das condições específicas de cada sistema no resultado.

Para este trabalho, optou-se pela metodologia de Wyatt *et al.* (2021), pela adequação do método à realidade do setor de saneamento no Brasil, por sua robustez metodológica e pela evidência de sua eficácia em estudos realizados anteriormente no país. Esse método oferece uma abordagem moderna e relevante, com uma capacidade comprovada de representar adequadamente a situação dos sistemas de abastecimento de água no contexto brasileiro.

3.3 MÉTODO DE WYATT

Wyatt (2010) desenvolveu uma modelagem financeira voltada para a identificação de um nível econômico ótimo de perdas reais e aparentes em sistemas de abastecimento de água. O modelo calcula um ponto de equilíbrio no qual a soma das receitas e dos custos associados ao controle de perdas é otimizada. A premissa básica é que, após certo nível de redução, os custos adicionais de mitigação das perdas superam os benefícios financeiros gerados, indicando um limite eficiente para os investimentos em controle de perdas.

Em muitos países, as metas de redução de perdas são definidas por agências reguladoras de forma genérica, sem uma análise adequada das características locais dos sistemas. Essas metas, frequentemente arbitrárias, podem ser impraticáveis do ponto de vista econômico, pois desconsideram fatores como condições de infraestrutura, custos regionais e tarifas. A metodologia proposta por Wyatt foi concebida para lidar com essa limitação, permitindo a sua aplicação com uma quantidade reduzida de dados e a possibilidade de estimar parâmetros na ausência de informações detalhadas.

O modelo de cálculo do NEP foi estruturado em dois componentes principais, abordando separadamente as perdas aparentes e reais, cada qual com suas fórmulas específicas. O Nível Econômico de Perdas Aparentes (NEPA) é calculado considerando a relação entre as receitas e os custos associados ao controle de submedição, ou seja, o modelo exclui explicitamente fraudes e ligações clandestinas, concentrando-se na submedição de hidrômetros. À medida que as perdas aparentes aumentam, a receita do sistema diminui até atingir um ponto crítico em que não há mais retorno financeiro. No contexto brasileiro, Sanchez, Motta e Alves (2000) indicam que o índice de submedição varia entre 8% e 23%. Os principais fatores que influenciam no método são o custo do hidrômetro e da mão de obra, a perda de precisão e a tarifa média de água.

O Nível Econômico de Perdas Reais (NEPR) é determinado como o ponto de menor custo total, onde a relação entre custo e benefício das ações de controle de perdas atinge sua máxima eficiência. O cálculo do NEPR é fundamentado na soma de três componentes principais de custos:

- Custo Variável de Produção: Reflete os custos crescentes de produção e distribuição à medida que as perdas aumentam.
- Custo de Controle de Perdas: Engloba atividades de pesquisa e reparo, apresentando um crescimento exponencial à medida que as intervenções se tornam mais intensivas.
- Custo Futuro de Expansão: Considera os custos adicionais para ampliar a capacidade do sistema em função da ineficiência gerada pelas perdas.

O modelo de Wyatt já foi aplicado em mais de 100 sistemas de abastecimento distribuídos em 35 países, com ajustes específicos para atender às particularidades locais. Segundo Wyatt e Alshafey (2012), o modelo apresenta sensibilidade de baixa a média em relação às variáveis de entrada, o que significa que mesmo quando alguns dados são estimados, os resultados permanecem robustos, garantindo a aplicabilidade do método em diferentes cenários. Adicionalmente, o método tem se mostrado particularmente adequado para contextos de países em desenvolvimento, onde os sistemas de abastecimento enfrentam desafios como infraestrutura deficitária, limitações financeiras e dados inconsistentes. Por essas razões, a metodologia é amplamente reconhecida como uma ferramenta flexível e confiável para a gestão de perdas de água.

A metodologia inicial desenvolvida por Wyatt (2010) foi aprimorada e atualizada no estudo conduzido por Wyatt *et al.* (2021) no âmbito do Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água (ProEESA), realizado em parceria com o Ministério Federal da

Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, BMZ). Essa revisão trouxe avanços significativos para a modelagem original, tanto em termos de precisão quanto de aplicabilidade prática.

Durante o processo de atualização, a formulação matemática foi revisada e ajustada para refletir melhor as condições reais dos sistemas de abastecimento, resultando em cálculos mais robustos e confiáveis. As modificações no modelo introduziram orientações específicas para a coleta e a estimativa de variáveis-chave, como custos operacionais, perdas aparentes e reais, e tarifas médias. Essas orientações facilitaram a aplicação da metodologia em cenários com dados limitados, aumentando sua acessibilidade e relevância, especialmente para concessionárias em países em desenvolvimento. Além disso, uma contribuição significativa foi a introdução de um método de cálculo para o nível econômico de fraudes, uma adição substancial que estava ausente na versão original de 2010.

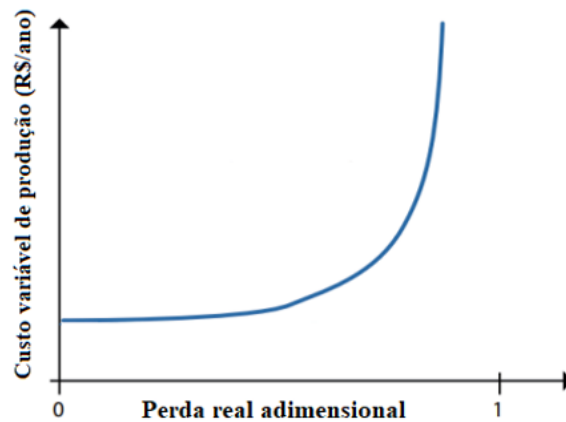
3.3.1 Nível Econômico de Perdas Reais

O cálculo do Nível Econômico de Perdas Reais (NEPR) é baseado na análise integrada de três curvas de custo estabelecidas no método de Wyatt (Wyatt, 2010). Essas curvas representam os principais componentes financeiros que influenciam a gestão das perdas reais: custo variável de produção, custo futuro de expansão e custo de controle de perdas.

- Custo variável de produção

A curva do custo variável de produção reflete os gastos relacionados à produção e distribuição de água, que aumentam proporcionalmente à quantidade produzida. Em um cenário hipotético em que as perdas reais fossem completamente eliminadas, o custo variável de produção corresponderia apenas ao volume efetivamente consumido pelos usuários. Esse custo inclui despesas com captação, tratamento, bombeamento e energia, e é altamente sensível às condições operacionais do sistema. A Figura 1 ilustra essa relação, mostrando como o custo variável aumenta à medida que o nível de perdas reais se eleva. A redução das perdas reais resulta, portanto, em maior eficiência operacional e em um menor custo variável de produção.

Figura 1 – Relação entre o custo variável de produção e a perda real adimensional.

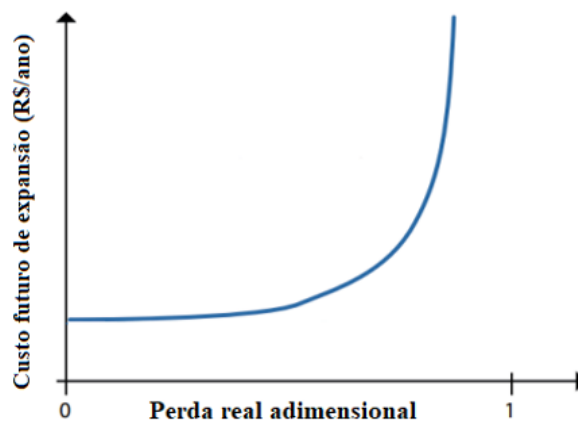


Fonte: Wyatt *et al.* (2021).

- Custo anualizado de expansão do sistema

A curva de custo futuro de expansão representa os custos anualizados relacionados à ampliação da capacidade de captação, tratamento e distribuição do sistema. Níveis elevados de perdas reais indicam uma maior necessidade de antecipar expansões para atender à demanda crescente e compensar os volumes perdidos, o que resulta em custos mais altos. Por outro lado, uma redução nas perdas reais diminui a escala de expansões futuras, gerando economia significativa para as concessionárias. A Figura 2 demonstra essa relação, evidenciando que menores níveis de perdas estão associados a menores custos anualizados de expansão.

Figura 2 – Relação entre o custo futuro de expansão anual e a perda real adimensional.



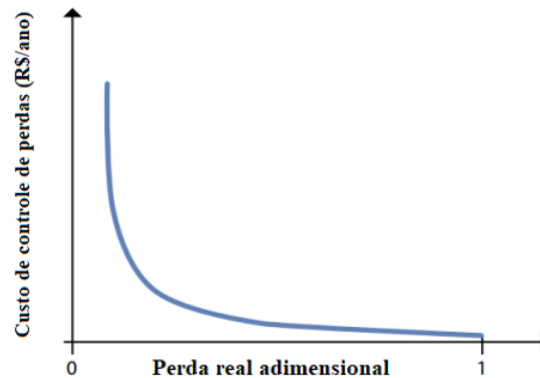
Fonte: Wyatt *et al.* (2021).

- Custo anual de controle de perdas reais de água

O custo anual de controle de perdas reais engloba as despesas com medidas de mitigação, como detecção e reparo de vazamentos, substituição de trechos obsoletos da rede de distribuição, e implementação de tecnologias avançadas de monitoramento. À medida que o

nível de perdas reais diminui, o custo para alcançar reduções adicionais cresce exponencialmente, tornando o processo progressivamente mais oneroso. A Figura 3 ilustra essa relação, mostrando como os custos de controle de perdas aumentam de forma não linear à medida que se busca atingir níveis mais baixos de perdas reais. Essa curva destaca a importância de determinar um ponto econômico ótimo para maximizar os benefícios financeiros.

Figura 3 – Relação entre o custo anual de controle de perdas e a perda real adimensional.

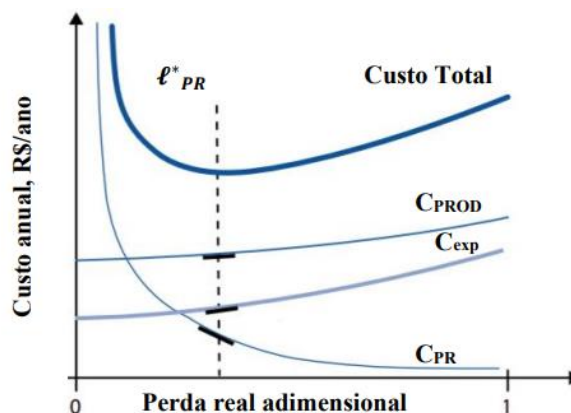


Fonte: Wyatt *et al.* (2021).

- Condição otimizada de perdas reais

A condição otimizada é alcançada quando o custo total do sistema – composto pelo custo variável de produção, custo de controle de perdas e custo futuro de expansão – é minimizado. Nesse ponto, a combinação de medidas de controle é economicamente justificável e sustentável, considerando tanto os custos diretos quanto os benefícios gerados pela recuperação de volumes de água. A Figura 4 ilustra a relação entre os custos anuais e as perdas reais adimensional, destacando o ponto de mínimo custo total.

Figura 4 – Relação entre os custos anuais e as perdas reais adimensional.



Fonte: Wyatt *et al.* (2021).

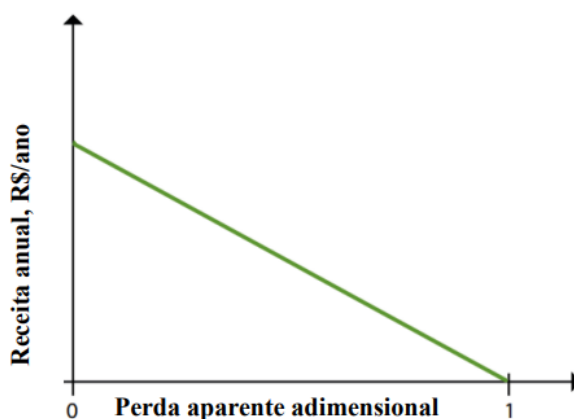
3.3.2 Nível Econômico de Perdas Aparentes

Wyatt *et al.* (2021) propõem uma abordagem para o cálculo do Nível Econômico de Perdas Aparentes (NEPA) que estabelece a relação entre a redução de receita causada pelas perdas aparentes e os custos associados ao controle dessas perdas. O foco principal é a submedição, um dos componentes mais relevantes das perdas aparentes. A metodologia utiliza equações que consideram o sistema como um todo, sem segmentação por categorias de consumidores, faixas de consumo ou tipos de clientes. Nesse sentido, a tarifa aplicada nos cálculos é uma média ponderada para todo o sistema de abastecimento, simplificando a análise.

- Receita da operação em função da perda aparente

No modelo de Wyatt *et al.* (2021), a receita de um sistema de abastecimento de água é apresentada como uma função linear em relação ao nível de perdas aparentes. Essa abordagem busca compreender como as perdas afetam diretamente a receita total do sistema, impactando a sustentabilidade financeira da concessionária. A Figura 5 ilustra essa relação, evidenciando que, à medida que as perdas aparentes diminuem, a receita anual aumenta proporcionalmente. Esse comportamento reflete a importância de estratégias efetivas de mitigação para maximizar o retorno financeiro.

Figura 5 – Relação entre a receita anual e a perda aparente adimensional.



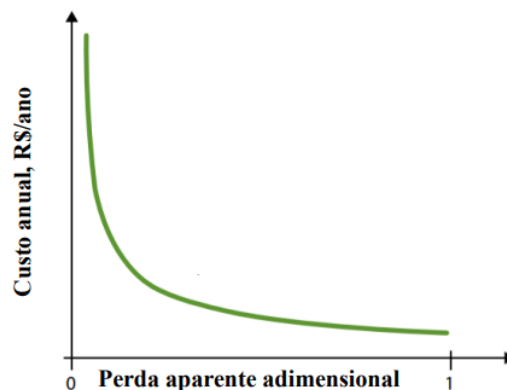
Fonte: Wyatt *et al.* (2021).

- Custo de controle de perdas aparentes por submedição

A curva de custo de controle de perdas aparentes, apresentada na Figura 6, segue um padrão semelhante ao observado para as perdas reais. No início, com perdas aparentes elevadas, os custos associados ao controle são baixos, pois poucas medidas de mitigação são

implementadas. No entanto, à medida que os esforços para reduzir as perdas aumentam, os custos também crescem de forma não linear, tornando-se substanciais.

Figura 6 – Controle de perdas aparentes: custo anual e a perda aparente adimensional.



Fonte: Wyatt *et al.* (2021)

A principal ação para o controle de perdas por submedição envolve a substituição sistemática de hidrômetros. É de amplo conhecimento pelos técnicos que hidrômetros com menor tempo de uso apresentam maior precisão na medição, reduzindo as perdas por submedição. Entretanto, manter a média de idade dos hidrômetros em níveis baixos requer investimentos significativos em aquisição, instalação e manutenção, o que pode elevar os custos a patamares elevados.

- Condição otimizada de perdas aparentes por submedição

A condição otimizada para perdas aparentes é atingida quando o custo marginal de controle, como a substituição de hidrômetros, é igual à receita marginal obtida com a redução das perdas. Esse ponto de equilíbrio representa a maximização da receita do sistema em relação aos custos de controle, indicando o nível mais eficiente de investimentos para a mitigação de perdas aparentes.

Na prática, o equilíbrio ocorre quando as ações de controle são suficientemente eficazes para reduzir as perdas aparentes sem incorrer em custos que superem os benefícios financeiros. Essa abordagem permite às concessionárias otimizar seus recursos financeiros e melhorar a precisão das medições, garantindo maior sustentabilidade econômica para o sistema.

3.3.3 Patamar Econômico

A metodologia de Wyatt *et al.* (2021) introduziu o conceito de “patamar econômico de perdas”, que consiste em uma faixa de operação economicamente vantajosa ao redor do nível ótimo de controle de perdas. Esse conceito reconhece que, na prática, as operações dos sistemas de abastecimento de água nem sempre conseguem manter as perdas exatamente no nível ótimo devido a fatores como incertezas nos dados, limitações operacionais e variabilidade nos custos e receitas. O patamar econômico oferece uma abordagem flexível que facilita o gerenciamento eficiente das perdas, mesmo em cenários de incerteza.

O patamar é definido como uma variação de 5% em torno do nível ótimo. Para perdas aparentes, essa variação é calculada como 5% abaixo da receita máxima, enquanto, para perdas reais, corresponde a 5% acima do custo total. Essa faixa estabelece dois limites:

- Um nível inferior, menor que o nível ótimo, que representa uma margem de flexibilidade para manter os custos baixos sem comprometer significativamente a eficiência.
- Um nível superior, maior que o nível ótimo, que define o limite máximo de operação antes que os custos adicionais superem os benefícios.

Embora o valor de 5% seja uma recomendação padrão, essa porcentagem pode ser ajustada conforme necessário, dependendo das características do sistema e das condições locais, como capacidade técnica, recursos financeiros e contexto operacional. O ajuste não altera o cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP), mas amplia a faixa dentro da qual a operação é considerada economicamente sustentável.

O conceito de patamar econômico oferece vantagens importantes, incluindo:

- Flexibilidade operacional: permite que concessionárias operem dentro de uma faixa aceitável, sem a necessidade de alcançar o ponto exato do NEP, o que pode ser desafiador devido a variações operacionais e incertezas nos dados.
- Compensação de incertezas: ao estabelecer uma margem de operação, o patamar ajuda a mitigar possíveis erros decorrentes de simplificações do modelo ou da baixa qualidade dos dados de entrada.
- Maximização de benefícios: garante que as estratégias adotadas maximizem a receita (para perdas aparentes) ou minimizem os custos (para perdas reais), mesmo com pequenas variações em relação ao ponto ótimo.

Wyatt *et al.* (2021) destacam que a largura do patamar econômico varia de acordo com as características do sistema:

- Sistemas com patamares estreitos: requerem controle mais rigoroso das perdas e maior precisão nas estratégias de mitigação, uma vez que qualquer desvio pode levar a custos operacionais significativos.
- Sistemas com patamares amplos: podem adotar uma variedade de estratégias, como aumento da produção, expansão da infraestrutura ou controle mais relaxado das perdas, mantendo os custos baixos dentro da faixa economicamente vantajosa.

O conceito de patamar econômico é especialmente relevante em contextos em que os dados disponíveis são limitados ou sujeitos a incertezas significativas. Além disso, ele pode auxiliar na definição de políticas regulatórias mais flexíveis, promovendo um equilíbrio entre metas de controle de perdas e viabilidade econômica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Brasil apontam que, em 2022, Pernambuco teve um índice de perda de água na distribuição de 48% (SNIS, 2023). Esse índice evidencia o desafio significativo enfrentado pela concessionária local, que está distante da meta estabelecida pela Portaria nº 490/2021 do governo brasileiro (Brasil, 2021), que prevê a redução das perdas de água na distribuição para 25% até 2033/2034. Esta meta condiciona a alocação de recursos públicos federais e financiamentos ao cumprimento.

Pernambuco é uma das 27 unidades federativas do Brasil, destacando-se como a sétima mais populosa e a décima com maior Produto Interno Bruto (PIB). É o estado com o maior PIB per capita do Nordeste brasileiro. Segundo o censo demográfico de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pernambuco possui uma população de 9.771.838 habitantes (IBGE, 2022).

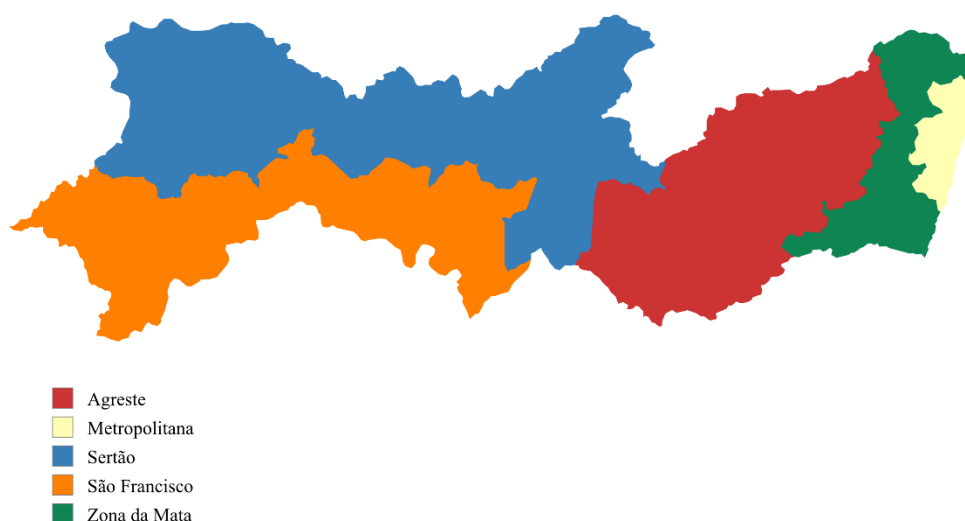
O estudo abrange as cinco mesorregiões do estado, delimitadas pelo IBGE: Agreste Pernambucano, Zona da Mata, Sertão, Região do São Francisco e Metropolitana. Essas divisões territoriais são essenciais para análises estatísticas e o planejamento regional, considerando as diferenças socioeconômicas, culturais e ambientais entre as regiões (Figura 7).

- **Região Metropolitana do Recife:** concentra a maior parte da população e da atividade econômica do estado. Composta por 15 municípios, incluindo a capital Recife, a região é o principal centro urbano, industrial e comercial do estado. A região enfrenta desafios relacionados à urbanização acelerada, como a pressão sobre os sistemas de abastecimento de água, além de problemas ambientais como a poluição hídrica. Apesar disso, a infraestrutura hídrica é mais desenvolvida em comparação com outras mesorregiões, beneficiando-se de adutoras que transportam água de outras partes do estado. A diversidade econômica da região inclui setores como turismo, serviços, tecnologia e a indústria naval, tornando-a um pilar fundamental para a economia estadual.
- **Zona da Mata:** A Zona da Mata é uma região localizada entre o litoral e o Agreste, caracterizada por seu clima tropical úmido e solos férteis. Historicamente, foi a área mais rica de Pernambuco durante o período colonial, graças à monocultura da cana-de-açúcar, que impulsionou o desenvolvimento econômico da região. No entanto, essa dependência econômica da cana resultou em uma estrutura fundiária concentrada e em desigualdades sociais significativas. Atualmente, a economia da Zona da Mata enfrenta

desafios para diversificar suas atividades, embora o cultivo de cana-de-açúcar ainda seja predominante. A proximidade ao litoral também favorece o turismo e a indústria, mas a região apresenta infraestrutura hídrica limitada, sendo vulnerável a períodos de seca que impactam a produção agrícola.

- **Agreste:** O Agreste é uma zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, caracterizada por um clima semiárido e grande variação nos índices pluviométricos. A presença do Planalto da Borborema cria um contraste entre áreas mais úmidas, favoráveis à agricultura familiar, e regiões com maior aridez. A economia local combina pecuária de leite, cultivo de milho e feijão, além de um polo industrial crescente em cidades como Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe, conhecidas pela produção de confecções e pelo comércio popular. Apesar disso, a escassez de recursos hídricos representa um desafio constante, levando à dependência de reservatórios e transposições por meio de sistemas adutores para atender às necessidades da população.
- **Sertão:** Caracterizado por um clima semiárido, o Sertão enfrenta condições de baixa disponibilidade hídrica e períodos prolongados de estiagem. A vegetação predominante é a caatinga, adaptada às condições de aridez, enquanto a economia local é sustentada principalmente pela pecuária extensiva e pela agricultura de subsistência. A infraestrutura hídrica é limitada, sendo muitas vezes não suficiente para atender à demanda em períodos críticos de seca.
- **Região do São Francisco:** Localizada ao longo do rio São Francisco, esta região apresenta uma realidade distinta dentro do contexto semiárido. O rio São Francisco é uma fonte vital para o desenvolvimento regional, viabilizando a agricultura irrigada, a geração de energia hidrelétrica e o abastecimento de água para consumo humano e industrial. A presença de perímetros irrigados transforma a paisagem e a economia local, com a produção de frutas tropicais destinadas ao mercado interno e à exportação para diversos países. Apesar das vantagens proporcionadas pelo rio, a região também enfrenta desafios relacionados à gestão hídrica, como a degradação ambiental e a demanda crescente por água.

Figura 7 – Mesorregiões do Estado de Pernambuco.



Fonte: O Autor (2024).

A análise das perdas de água em Pernambuco é particularmente relevante em regiões como o Agreste, São Francisco e Sertão, que enfrentam escassez hídrica crônica devido à baixa pluviosidade e secas prolongadas. Nessas áreas, uma gestão eficiente das perdas é essencial para garantir o abastecimento hídrico sustentável e mitigar os efeitos adversos da variabilidade climática. A redução de perdas nesses locais pode aumentar a resiliência dos sistemas de abastecimento, promovendo maior segurança hídrica e socioeconômica.

Além disso, compreender as particularidades das mesorregiões permite que políticas e estratégias sejam adaptadas às condições locais, otimizando os recursos disponíveis e contribuindo para o cumprimento das metas nacionais de redução de perdas. A avaliação regional fornece subsídios técnicos para intervenções direcionadas e eficazes, com potencial de impacto significativo na sustentabilidade dos sistemas de abastecimento e no desenvolvimento regional.

4.2 BASE DE DADOS

A pesquisa abrange os 178 sistemas de abastecimento de água do Estado de Pernambuco com dados disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no período de 2018 a 2022 (SNIS, 2023). Enquanto alguns parâmetros são específicos para cada sistema, outros foram aplicados de forma uniforme, seguindo diretrizes estabelecidas na literatura especializada, incluindo valores sugeridos por Wyatt *et al.* (2021) e adaptações regionais pertinentes.

O SNIS é a principal fonte de dados utilizada neste estudo, fornecendo um conjunto abrangente de informações das prestadoras de serviços estaduais e municipais de abastecimento de água no Brasil. Os dados extraídos diretamente dessa base incluem:

- Consumo anual de água;
- População atendida;
- Consumo médio per capita;
- Número de ligações;
- Tarifa média de água;
- Comprimento médio de rede por ligação;
- Número médio de pessoas por ligação.

O SNIS, entretanto, não fornece dados específicos para perdas reais e aparentes, apresentando apenas informações referentes às perdas totais. Para contornar essa limitação, foi adotada a proporção de 60% de perdas reais e 40% de perdas aparentes, conforme recomendação de Kingdom, Liemberger e Marin (2006), que aplicaram essa relação em análises de contextos de países em desenvolvimento.

Além disso, os valores utilizados para os coeficientes de custo, fator de economia de escala, fator de ponta, fator de resiliência e período de projeto de expansão foram definidos com base nos parâmetros descritos por Wyatt *et al.* (2021). Esses coeficientes são essenciais para estimar o custo futuro de expansão, considerando a relação entre o crescimento da demanda e a necessidade de ampliação da capacidade do sistema.

Um dos parâmetros críticos para o cálculo do nível econômico de perdas aparentes é a submedição inevitável, que, embora aumente a precisão das estimativas, também adiciona maior complexidade às formulações. Para a taxa de submedição atual, considerando a ausência de dados específicos para Pernambuco, será adotado o valor sugerido por Wyatt *et al.* (2021), fixando-se em 4%, em consonância com o mínimo estipulado pela Norma Brasileira NBR 15.538 (ABNT, 2014). Esse valor reflete a precisão esperada para hidrômetros novos ou bem calibrados, garantindo consistência na análise.

Este planejamento metodológico busca assegurar uma análise abrangente e rigorosa dos sistemas de abastecimento de água em Pernambuco, integrando dados empíricos e diretrizes estabelecidas na literatura especializada para fornecer subsídios técnicos e práticos na avaliação das perdas de água.

4.3 MÉTODO DE WYATT

Os cálculos do nível econômico de perdas aparentes (NEPA) e de perdas reais (NEPR) foram realizados utilizando dados ponderados de acordo com sua relevância, que, neste caso, correspondeu à população atendida em cada município. Essa abordagem confere maior representativa aos resultados, considerando a importância relativa de cada município dentro das mesorregiões analisadas. A Figura 8 ilustra o fluxograma da sequência de cálculos para encontrar os NEP.

Figura 8 – Fluxograma da sequência de cálculos para encontrar o NEP.



Fonte: O Autor (2024).

As equações apresentadas a seguir foram desenvolvidas por Wyatt *et al.* (2021) e são amplamente utilizadas na literatura para a modelagem e análise das perdas de águas em sistemas de abastecimento. Essas expressões matemáticas fornecem uma base teórica essencial para a compreensão dos fenômenos relacionados à perda de água e à eficiência operacional dos sistemas. Assim, todas as equações subsequentes nesta seção são baseadas nas formulações propostas pelos referidos autores.

4.3.1 Índice de Perdas na Distribuição

O índice de perdas na distribuição (IN049), disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), é amplamente utilizado para avaliar a eficiência

operacional dos sistemas de abastecimento de água no Brasil. Esse indicador mede a proporção de água perdida, abrangendo tanto perdas reais quanto perdas aparentes, em relação ao volume total de água produzida e distribuída, conforme a Equação (1).

O IN049 desempenha um papel crucial ao proporcionar uma medida uniforme e comparável das perdas de água, permitindo monitorar o desempenho das concessionárias de saneamento em diferentes localidades e ao longo do tempo. Além disso, ele serve como uma ferramenta fundamental para identificar ineficiências, orientar estratégias de gestão hídrica e estabelecer metas de desempenho. Sua padronização também facilita a formulação de políticas públicas voltadas à redução das perdas e à melhoria da eficiência nos sistemas de distribuição.

$$IN049 = \frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

AG006: Volume de água produzido (m³);

AG010: Volume de água consumido (m³);

AG018: Volume de água tratada importado (m³);

AG024: Volume de serviço (m³).

4.3.2 Determinação do Nível Econômico de Perdas Reais

- Custos de produção anual de água

O custo de produção anual de água foi determinado pela Equação (2), enquanto o custo unitário de produção, que representa o custo médio por unidade associado à produção de água, abrangendo todos os custos operacionais necessários para captação, tratamento e distribuição, foi calculado pela Equação (3).

$$C_{PROD} = \frac{C_{prod} \times Qc}{(1 - PR)} \quad (2)$$

$$C_{prod} = \frac{(FN011 + FN013) \times \left(\frac{AG028}{AG028 + ES028} \right) + FN020}{1000 \times (AG006 + AG018)} \quad (3)$$

Onde:

C_{PROD}: Custo de produção anual de água (R\$/ano);

PR: Perda real adimensional (-);

Q_c: Volume de água consumido (m³);

C_{prod}: Custo unitário de produção de água (R\$/m³);

FN011: Despesa com produtos químicos (R\$/ano);

FN013: Despesa com energia elétrica (R\$/ano);

FN020: Despesa com água importada (bruta ou tratada);

AG006: Volume de água produzido (1.000 m³/ano);

AG018: Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano);

AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano);

ES028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos (1.000 kWh/ano).

- Custos anualizado de expansão do sistema de produção

O custo anualizado de expansão do sistema foi calculado pela Equação (4), enquanto a razão entre a capacidade instalada e o volume consumido (E) foi determinada pela Equação (5).

$$C_{\text{exp}} = \text{FRC} \times \text{Fexp} (1 + r)^{\frac{\frac{E}{k1} - \frac{1}{1-PR}}{G}} \quad (4)$$

$$E = \frac{U \times Q_p}{Q_c \times k1} \quad (5)$$

Onde:

FRC: Fator de recuperação do capital (%);

Fexp: Custo futuro de expansão sistema de produção de água (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro) (R\$);

r: Taxa de retorno (%);

G: Taxa de crescimento populacional (%);

PR: Perda real adimensional (-);

k1: Coeficiente do dia de maior consumo (-). O valor adotado foi 1,2, conforme norma interna da concessionária local;

E: Razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida (-);

U: Relação entre a capacidade instalada e a demanda (-);

Qp: Volume produzido (1000 m³/ano);

Qc: Volume consumido (1000 m³/ano).

A taxa de retorno (r) representa o custo de oportunidade ou de capital, correspondendo ao retorno esperado em projetos similares. Essa taxa pode variar significativamente em projetos de infraestrutura de saneamento, dependendo de fatores econômicos, nível de risco associado ao projeto e fontes de financiamento disponíveis.

Projetos de saneamento geralmente são financiados por organismos multilaterais ou nacionais focados no desenvolvimento sustentável, o que permite uma redução na taxa de retorno para viabilizar os investimentos, considerando os benefícios sociais e a baixa rentabilidade direta. No Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e outros órgãos públicos estabelecem diretrizes para as taxas de retorno esperadas, levando em conta os impactos sociais e ambientais desses projetos.

O BNDES utiliza a Taxa de Longo Prazo (TLP) como referência para financiamentos de longo prazo, incluindo projetos de saneamento. A TLP é atualizada mensalmente e é composta pela variação do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), acrescida de uma taxa de juros real definida com base nos juros reais dos títulos públicos atrelados à inflação (NTN-Bs). Além disso, o BNDES pode aplicar uma taxa de risco adicional, que varia conforme o perfil do projeto, do tomador e do setor. Embora a TLP sirva como base geral, as taxas finais para projetos de saneamento geralmente variam entre 7% e 12% ao ano, dependendo das condições de crédito, maturidade do projeto e objetivos sociais. Neste trabalho, foi adotado o valor médio de 9,5% para a taxa de retorno.

A taxa de crescimento populacional (G) de Pernambuco foi projetada com base nos dados mais recentes da Tabela de Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação, publicada pelo IBGE. Para o período recente, a taxa anual estimada é de aproximadamente 0,5%, indicando um crescimento populacional moderado em comparação com outras regiões do Brasil. Essa taxa foi calculada a partir da variação interanual ao longo do período analisado, obtendo-se a média dessas taxas para representar a variação populacional durante o intervalo estudado.

A relação entre a capacidade instalada e a demanda (U) é definida como o inverso do grau de atendimento da demanda (GD), que, por sua vez, representa a relação entre a demanda

e a capacidade instalada. O valor do GD adotado foi 0,9406, conforme informações do Atlas Brasil (ANA, 2021) para o estado de Pernambuco.

$$U = \frac{1}{GD} \quad (6)$$

O fator de recuperação do capital (FRC) anualizou o custo equivalente de expansão em valor presente e foi calculado por meio da Equação (7). O horizonte de planejamento para expansão de grandes sistemas de abastecimento de água é geralmente de 30 a 40 anos, com as ampliações sendo realizadas em etapas menores, de 10 a 15 anos. Para sistemas menores, o intervalo de 10 a 15 anos também é comum. No entanto, devido à menor disponibilidade hídrica, o modelo proposto adotou um período de 25 anos, conforme a recomendação de Wyatt *et al.* (2021) para o estado de Pernambuco.

$$FRC = \frac{r(1+r)^z}{(1+r)^z - 1} \quad (7)$$

Onde:

FRC: Fator de recuperação do capital (%);

r: Taxa de retorno (%);

z: Período relativo à expansão futura (anos).

Como não há uma definição específica do custo de capital para a expansão, a Equação (8) foi utilizada para calcular o custo futuro de expansão do sistema de produção de água (F_{exp}). O coeficiente de custo (k), que representa o investimento necessário para aumentar a capacidade de produção, foi adotado como 27.579 R\$/m³/dia, conforme a Nota Técnica nº 492/2010 da Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério das Cidades (Brasil, 2010), enquanto o fator de economia de escala (b), que reflete a redução dos custos à medida que a capacidade de produção aumenta, foi calculado como 0,7023, também com base na mesma Nota Técnica.

$$F_{exp} = k(Q_{exp})^b \quad (8)$$

Onde:

Fexp: Custo futuro de expansão do sistema de produção de água (R\$);

k: Coeficiente de custo (R\$/m³/dia);

b: Fator de economia de escala (-);

Qexp: Expansão necessária da capacidade do sistema (m³/dia).

A estimativa da capacidade de produção necessária para expansões futuras foi realizada por meio da Equação (9), proposta por Wyatt *et al.* (2021). Diferentemente do modelo original de Wyatt (2010), que considerava uma capacidade fixa, o modelo revisado incorpora a variabilidade das perdas reais no cálculo do NEPR. Essa abordagem mais dinâmica reflete a influência direta das perdas na demanda por capacidade adicional: quanto maiores forem as perdas reais, maior será a capacidade adicional requerida. Essa evolução metodológica torna o modelo mais robusto e realista, aprimorando a gestão econômica das perdas. O fator de resiliência (fr) foi estabelecido em 1,6, de acordo com recomendação de Wyatt *et al.* (2021) para a região Nordeste.

$$Q_{exp} = z \frac{Q_c}{1 - PR} (1 + G) \times fr \times fp \quad (9)$$

Onde:

Qexp: Expansão necessária da capacidade do sistema (m³/dia);

z: Período relativo à expansão futura (anos);

Qc: Volume consumido no ano base (m³/dia);

PR: Perda real adimensional (-);

G: Taxa de crescimento populacional (-);

fr: Fator de resiliência (-);

fp: Fator de ponta (-).

- Custo anual das atividades e investimentos para controle de perdas

O custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (CPR) foi calculado utilizando a Equação (10). O parâmetro de extensão da rede de água (M) foi obtido diretamente do SNIS (2023), correspondendo ao indicador AG005. Outros dados, como o consumo per capita (indicador IN022) e o número médio de pessoas por ligação, foram calculados pela razão entre os indicadores AG001 e AG002.

Os coeficientes α e β devem ser analisados individualmente para cada sistema. O coeficiente α representa as perdas inerentes e os vazamentos reportados, enquanto o coeficiente β refere-se aos vazamentos não reportados, ambos medidos em m³/km/dia. Devido à dificuldade de obtenção desses valores, os coeficientes foram estimados por meio das Equações (11) e (12), estabelecidas empiricamente por Wyatt *et al.* (2021).

$$C_{PR} = \frac{C_{prt} \times M \times \beta}{\left(\frac{c \times p}{1.0000 \times D} \frac{PR}{1 - PR} \right) - \alpha} \quad (10)$$

$$\alpha = 0,1654 \times PRI + 1,4253 \quad (11)$$

$$\beta = 0,5137 \times PRI - 2,3828 \quad (12)$$

Onde:

C_{PR} : custo anual de controle de perdas reais de água (R\$/ano);

C_{prt} : custo das principais ações para o controle de perdas (R\$/km);

M : Extensão da rede de água (km);

α : Coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km/dia);

β : Coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km/dia);

c : Consumo médio (m³/pessoa/dia);

p : Número médio de pessoas por ligação (pessoas/ligação);

D : Comprimento da rede de distribuição por ligação (km/ligação);

PR : Perda real adimensional (-);

PRI : Perda real linear (m³/km/dia), adotado como o indicador IN050.

O custo total das principais ações de controle de perdas reais corresponde a soma dos custos de pesquisa e reparo de vazamentos, dos custos associados à gestão de perdas e dos custos de conservação e reposição das redes de distribuição de água, conforme a Equação (13). Os custos das atividades adotados foram baseados em valores cálculos por Wyatt *et al.* (2021), que por sua vez foram determinados utilizando dados da SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para o Estado de Pernambuco, através da Caixa Econômica Federal (2024).

$$C_{\text{pr}} = C_p + C_r + C_g + C_{\text{cra}} \quad (13)$$

Onde:

C_{pr} : Custo das principais ações de controle de perdas (R\$/km);

C_p : Custo de pesquisa de vazamentos (R\$/km);

C_r : Custo de reparação de vazamentos (R\$/km);

C_g : Custo associados à gestão de perdas (R\$/km);

C_{cra} : Custo anualizado de conservação e reposição da rede (R\$/km).

Como os custos informados no guia foram determinados em 2021, eles foram atualizados com base no Índice Nacional de Custo da Construção (INCC) (Fundação Getúlio Vargas, 2024), amplamente reconhecido como um indicador confiável para reajustes de custos relacionados a obras e infraestrutura. Esse índice, calculado mensalmente reflete as variações nos custos de materiais, mão de obra e serviços ligados à construção civil no Brasil. Portanto, a atualização dos custos foi realizada considerando a variação acumulada do INCC no período de 2021 a 2024, conforme apresentado na Equação (14). Os valores originais dos custos e os valores ajustados para o período citado são apresentados na Tabela 1.

$$C_{2024} = 1,1795 * C_{2021} \quad (14)$$

Onde:

C_{2024} : Custos atuais das ações de controle de perdas (R\$/km);

C_{2021} : Custos das ações de controle de perdas informados no trabalho “Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço” (R\$/km).

Tabela 1 – Custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km);

Tipo de Custo	Custo (Ano Base)	
	2021	2024
Custo de pesquisa de vazamentos	664,78 R\$/km	784,11 R\$/km
Custo de reparação de vazamentos	292,89 R\$/km	345,46 R\$/km
Custo associados à gestão de perdas	200,00 R\$/km	235,90 R\$/km
Custo de conservação e reposição da rede	884,88 R\$/km	1.043,72 R\$/km
Custo total das ações de controle de perdas	2.042,55 R\$/km	2.409,19 R\$/km

Fonte: Adaptado de Wyatt *et al.* (2021), atualizado com dados do INCC de 2024, divulgada pela FGV.

As Tabelas 2 a 4 apresentam um resumo das equações e dos valores adotados para o cálculo do Nível Econômico de Perdas Reais (NEPR). O NEPR foi determinado pela minimização da curva resultante da soma das curvas dos custos de produção, dos custos de expansão do sistema e dos custos do programa de controle de perdas. No ponto mínimo, as despesas associadas às perdas reais ainda existem, mas encontram-se em seu nível ótimo, equilibrando os custos de produção e expansão do sistema com os investimentos no controle de perdas. A determinação desse ponto foi realizada utilizando a ferramenta Solver, disponível no Microsoft Excel®.

Tabela 2 – Equações e valores relacionados ao cálculo do custo de produção anual de água.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Custo de produção anual de água (C _{PROD})	$C_{PROD} = \frac{C_{prod} \times Qc}{(1 - PR)}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo unitário de produção (C _{prod})	$C_{prod} = \frac{(FN011 + FN013) \left(\frac{AG028}{AG028 + ES028} \right) + FN020}{1000 \times (AG006 + AG018)}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Volume de água medido (Qc)	AG010	SNIS (2022)

Fonte: O Autor (2024).

Tabela 3 – Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anualizado de expansão do sistema de produção.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Custo anualizado de expansão do sistema (C _{exp})	$C_{exp} = FRC \times Fexp(1 + r)^{\frac{E}{k1} - \frac{1}{1 - PR}} - \frac{1}{G}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Taxa de crescimento populacional (G)	0,50%	IBGE (2022)
Razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida (E)	$E = \frac{U \times Qp}{Qc \times k1}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Relação entre a capacidade instalada e a demanda (U)	1,0631	ANA (2021)
Volume produzido (Qp)	AG006	SNIS (2022)
Coeficiente do dia de maior consumo (k1)	1,2	Concessionária local (2022)
Grau de atendimento da demanda (GD)	0,9406	Atlas Brasil (2022)
Fator de recuperação do capital (FRC)	$FRC = \frac{r(1 + r)^z}{(1 + r)^z - 1}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Taxa de retorno (r)	9,5%	Autor (2024)
Período relativo à expansão futura (z)	25 anos	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Custo futuro de expansão do sistema de produção de água (Fexp)	$F_{exp} = k(Q_{exp})^b$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Coeficiente de custo (k)	27,579	Brasil (2010)
Fator de economia de escala (b)	0,7023	
Expansão necessária da capacidade do sistema (Qexp)	$Q_{exp} = Z_{exp} \frac{Q_c}{1 - PR} (1 + G) \times fr \times fp$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Fator de resiliência (fr)	1,6	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Fator de ponta (fp)	1,2	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Fonte: O Autor (2024).

Tabela 4 – Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anual das atividades e investimentos para controle de perdas.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Custo anual de controle de perdas reais de água (C _{PR})	$C_{PR} = \frac{C_{pr} \times M \times \beta}{\left(\frac{c \times p}{1.0000 \times D} \frac{PR}{1 - PR} \right) - \alpha}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Comprimento da rede de distribuição por ligação (D)	$E = \frac{AG005}{AG021}$	SNIS (2022)
Extensão da rede de água (M)	AG005	SNIS (2022)
Coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (α)	$\alpha = 0,1654 \times IN050 + 1,4253$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (β)	$\beta = 0,5137 \times IN050 - 2,3828$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo de pesquisa de vazamentos (C _p)	784,11 R\$/km	Autor (2024)
Custo de reparação de vazamentos (C _r)	345,46 R\$/km	Autor (2024)
Custo associados à gestão de perdas (C _g)	235,90 R\$/km	Autor (2024)
Custo de conservação e reposição da rede anualizado (C _{cra})	1.043,72 R\$/km	Autor (2024)

Fonte: O Autor (2024)

4.3.3 Determinação do Nível Econômico de Perdas Aparentes

- Receita anual da operação em função da perda aparente

A Equação (15) representa a relação linear entre a receita anual e a perda aparente adimensional. Os valores de submedição tecnicamente evitável (%) e inevitável (%) adotados

foram, respectivamente, 12% e 4%, com base na NBR 15.538 (ABNT, 2014) e no estudo de Wyatt *et al.* (2021). O número de ligações ativas foi obtido diretamente do indicador AG002 do SNIS, enquanto a média de pessoas por ligação foi calculada como a razão entre os indicadores AG001 e AG002.

$$R = 0,365 \times T \times N \times C_{CH} \times p \times (1 - \text{Sub}_{EV} - \text{Sub}_{INEV}) \quad (15)$$

Onde:

R: Receita anual da operação em função da perda aparente (R\$/m³);

T: Tarifa unitária (média ponderada considerando tarifas para conexões com esgoto) (R\$/m³);

N: Número de ligações ativas;

C_{CH}: Consumo médio efetivo (m³/pessoa/dia), calculado pela Equação (15):

p: Número médio de pessoas por ligação;

Sub_{EV}: Submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (%);

Sub_{INEV}: Submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (%).

$$C_{CH} = \frac{\frac{AG010 - AG009}{1.000.000} \times \frac{365}{AG001}}{(1 - \text{Sub})} \quad (16)$$

A tarifa unitária líquida (T) foi calculada utilizando a Equação (17), onde tx representa o fator de conversão para obter a “tarifa líquida”. Esse fator reflete o valor efetivamente recebido pela concessionária após o pagamento de impostos e taxas sobre o faturamento, considerando as variações entre os Estados. Assim como no trabalho de Wyatt *et al.* (2021), esse valor de tx será considerado como 0,65.

$$T = 0,001 \times tx \times \left(\frac{FN002}{AG010} + \frac{FN003}{AG010} \times \frac{ES001}{AG001} \right) \quad (17)$$

Onde:

tx: Fator de conversão em tarifa líquida;

AG001: População total atendida com abastecimento de água (pessoa);

AG010: Volume de água consumido (1000 m³/ano);

ES001: População total atendida com esgotamento sanitário (pessoa);

FN002: Receita operacional direta de água (R\$);

FN003: Receita operacional direta de esgoto (R\$).

- Custo do programa de controle de perdas aparentes por submedição

O custo anual de substituição de hidrômetros foi calculado utilizando a Equação (18). O custo médio de troca de hidrômetro (H) foi determinado como uma média ponderada, considerando a quantidade de cada um dos três principais tipos de hidrômetros, conforme os dados da planilha SINAPI 12/2024 (Caixa Econômica Federal, 2024). Os valores utilizados para compor o preço médio do hidrômetro estão apresentados na Tabela 5. O valor de H calculado foi R\$ 111,98.

$$C_h = \frac{H \times N \times s}{2 \times \text{Sub}_{EV}} \quad (18)$$

Onde:

C_h: Custo anual de substituição de hidrômetros (R\$/ano);

H: Custo médio de troca de hidrômetro, com mão de obra e materiais (R\$/hidrômetro);

N: Número de ligações ativas;

s: Inclinação da linha de precisão de medição (%/ano);

Sub_{EV}: Submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (%).

Tabela 5 – Proporção do preço médio do hidrômetro em Pernambuco.

Código SINAPI	Descrição	Proporção utilizada	Preço do Hidrômetro
95673	Hidrômetro DN 20 (½), 1,5 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	90% dos hidrômetros	R\$ 111,55
95674	Hidrômetro DN 20 (½), 3,0 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	8% dos hidrômetros	R\$ 118,46
95675	Hidrômetro DN 25 (¾), 5,0 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	2% dos hidrômetros	R\$ 105,40

Fonte: Tabela SINAPI 12/2024.

O número de ligações ativas foi obtido a partir do indicador AG002 do SNIS, enquanto a variável s , que representa a degradação da precisão de medição dos hidrômetros ao longo do tempo, foi adotada com o valor de 1% ao ano, conforme proposto por Wyatt *et al.* (2021).

- Condição otimizada de perdas aparentes por submedição

Por fim, o Nível Econômico de Perdas Aparente (NEPA) foi determinado utilizando a Equação (19). É importante destacar que, para estimar com precisão a água efetivamente consumida, é recomendável adotar o método do Balanço Hídrico como prática ideal. A disponibilidade de dados de entrada mais confiáveis contribui diretamente para a obtenção de resultados mais precisos e consistentes.

$$NEPA = \sqrt{\frac{H \times s}{0,73 \times T \times C_{CH} \times p}} \quad (19)$$

Onde:

s : Inclinação da linha de precisão de medição (%/ano);

C_{CH} : Consumo médio (m³/pessoa/dia);

p : Número médio de pessoas por ligação;

As Tabelas 6 a 8 apresentam um resumo das equações e dos valores adotados para o cálculo do Nível Econômico de Perdas Aparentes (NEPA).

Tabela 6 – Equações e valores relacionados ao cálculo da receita anual da operação em função da perda aparente.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Receita anual da operação em função da perda aparente (R)	$R = 0,365 \times T \times N \times C_{CH} \times p \times (1 - Sub_{EV} - Sub_{INEV})$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Tarifa unitária (T)	$T = 0,001 \times tx \times \left(\frac{FN002}{AG010} + \frac{FN003}{AG010 \frac{ES001}{AG001}} \right)$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Número total de ligações ativas (N)	AG002	SNIS (2022)
Número médio de pessoas por ligação (p)	$p = \frac{AG001}{AG002}$	SNIS (2022)
Submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (Sub _{EV})	12%	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (Sub_{INEV})	4%	NBR 15538 (2023)
Per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (C_{CH})	$C_{CH} = \frac{\frac{AG010 - AG009 \cdot 1.000.000}{AG001} \cdot 365}{(1 - Sub)}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Fonte: O Autor (2024).

Tabela 7 – Equações e valores relacionados ao cálculo do custo anual de controle de perdas aparentes por submedição.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Custo anual de substituição de hidrômetros (C_h)	$C_h = \frac{H \times N \times s}{2 \times Sub_{EV}}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)
Custo médio de troca de hidrômetro, com mão de obra e materiais (H)	R\$ 111,98	Autor (2024)
Inclinação da linha de precisão de medição (s)	1%	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Fonte: O Autor (2024).

Tabela 8 – Equações e valores relacionados ao cálculo da condição otimizada de perdas aparentes por submedição.

Variável	Equação / Indicador / Valor	Fonte
Nível econômico de perdas aparentes (NEPA)	$NEPA = \sqrt{\frac{H \times s}{0,73 \times T \times C_{CH} \times p}}$	Wyatt <i>et al.</i> (2021)

Fonte: O Autor (2024).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi realizado um estudo estatístico dos Níveis Econômicos de Perdas (NEP), somando as perdas aparentes e reais, nos sistemas de abastecimento de água do Estado de Pernambuco. Os resultados foram organizados por mesorregião e por ano, permitindo a comparação direta com o indicador IN049. Essa abordagem possibilitou a identificação de padrões temporais e regionais, além de oferecer insights valiosos sobre a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento ao longo do período analisado (2018 a 2022).

O teste ANOVA (Análise de Variância), que é uma técnica estatística utilizada para comparar as médias de três ou mais grupos, foi utilizado para avaliar se há diferenças estatisticamente significativas entre os resultados das mesorregiões. A interpretação dos resultados do teste ANOVA baseou-se na análise da estatística F e do valor-p. Um valor F

elevado indica que a variabilidade entre os grupos é significativamente maior do que a variabilidade dentro dos grupos, sugerindo a existência de diferenças importantes entre as médias analisadas. Além disso, um valor-p menor que o nível de significância α (definido como 0,05) confirma que essas diferenças não ocorreram ao acaso, concluindo que pelo menos um dos grupos apresenta uma média significativamente diferente. Essa combinação de métricas garante maior robustez na identificação de padrões significativos dos resultados.

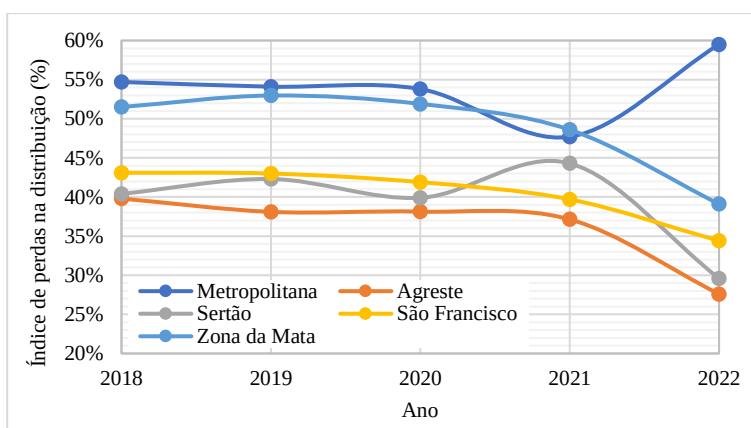
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO

A Figura 9 apresenta a evolução do índice de perdas na distribuição (IN049) entre 2018 e 2022 para as mesorregiões do Estado de Pernambuco. A seguir, são destacados os principais pontos observados em cada mesorregião:

- Agreste: Demonstra uma trajetória de redução mais consistente, com os índices caindo de 39,80% em 2018 para 27,60% em 2022. Essa queda pode estar associada à implementação de políticas de controle de perdas específicas voltadas para a região, que enfrenta desafios de escassez hídrica.
- Região do São Francisco: Mostra uma leve oscilação ao longo dos anos, com tendência de redução moderada nas perdas, chegando a um valor abaixo de 34,40% em 2022.
- Região Metropolitana: Apresentou os maiores índices de perdas ao longo do período analisado, atingindo um valor próximo a 60% em 2022. Esses elevados índices indicam a necessidade de intervenções direcionadas para a infraestrutura e melhorias nas estratégias de controle de perdas na mesorregião.
- Sertão: Apresenta valores relativamente estáveis entre 2018 e 2021, seguidos de uma redução mais acentuada em 2022, refletindo possível impacto de políticas mais recentes ou ajustes operacionais implementados no período final.
- Zona da Mata: Também apresenta um declínio significativo nas perdas ao longo do período, com uma redução acentuada entre 2021 e 2022, possivelmente devido a intervenções específicas nessa mesorregião.

Figura 9 – Índice de perdas na distribuição (IN049) nas mesorregiões de Pernambuco.



Fonte: Autor (2024).

De forma geral, observa-se uma tendência de redução nos índices de perdas na distribuição em todas as mesorregiões ao longo do período analisado. Essa tendência sugere um avanço nas estratégias de controle de perdas pela concessionária local. O ano de 2022 foi particularmente destacado pela redução significativa do índice de perdas em quatro das cinco mesorregiões, possivelmente como resultado de investimentos em infraestrutura ou melhorias na gestão operacional.

As médias, medianas e os desvios-padrão foram calculados para cada mesorregião, conforme apresentado na Tabela 9, a partir dos valores encontrados para cada mesorregião no período de 2018 a 2022. A média do índice de perdas variou de 36,15% no Agreste a 53,96% na Região Metropolitana, com a Zona da Mata apresentando a segunda maior média, de 48,81%. As medianas corroboraram esses resultados, indicando que as perdas na Região Metropolitana e na Zona da Mata permaneceram consistentemente elevadas durante o período. No Agreste, a mediana foi de 38,10%, refletindo perdas menores em comparação às demais regiões. A proximidade entre as médias e as medianas sugere que a distribuição dos dados pode ser simétrica, embora outliers possam estar presentes, especialmente no Sertão.

Tabela 9 – Variáveis estatísticas do índice de perdas na distribuição (IN049) para o período de 2018 a 2022.

Mesorregião → Variável ↓	Metropolitana	Agreste	Sertão	São Francisco	Zona da Mata
Média	53,96%	36,15%	39,30%	40,42%	48,81%
Mediana	54,10%	38,10%	40,40%	41,90%	51,50%
Desvio Padrão	4,20%	4,88%	5,69%	3,63%	5,67%

Fonte: Autor (2024).

Os desvios-padrão oferecem uma visão sobre a variabilidade das perdas em cada mesorregião. O Sertão e a Zona da Mata apresentaram os maiores desvios-padrão, de 5,69% e 5,67%, respectivamente. Esses valores não sugerem uma instabilidade alta nos índices de perdas ao longo do período, contudo foram os maiores no comparativo dos desvios padrões. Por outro lado, a Região do São Francisco teve o menor desvio-padrão, de 3,63%, indicando maior consistência nos valores observados. Essa menor variabilidade pode ser associada a políticas operacionais mais estáveis ou à menores infraestruturas nos sistemas. Já a alta variabilidade no Sertão pode refletir flutuações sazonais ou problemas pontuais, como grandes vazamentos.

Esses resultados refletem características específicas de cada região. A Região Metropolitana, com a maior média de perdas, sugere um sistema sobrecarregado, possivelmente

devido à alta densidade populacional e ao envelhecimento da infraestrutura. O Agreste, por outro lado, apresentou os menores índices médios de perda, o que pode ser atribuído a intervenções recentes ou características locais, como menor densidade de consumidores em áreas críticas. Apesar de médias relativamente próximas, a variabilidade observada no Sertão e na Zona da Mata aponta uma necessidade de estabilização nos sistemas de distribuição, em relação aos outros sistemas. Já a Região do São Francisco demonstra um comportamento mais previsível, possivelmente refletindo maior controle operacional ou menor exposição a vulnerabilidades estruturais.

5.2 NÍVEIS ECONÔMICOS DE PERDAS

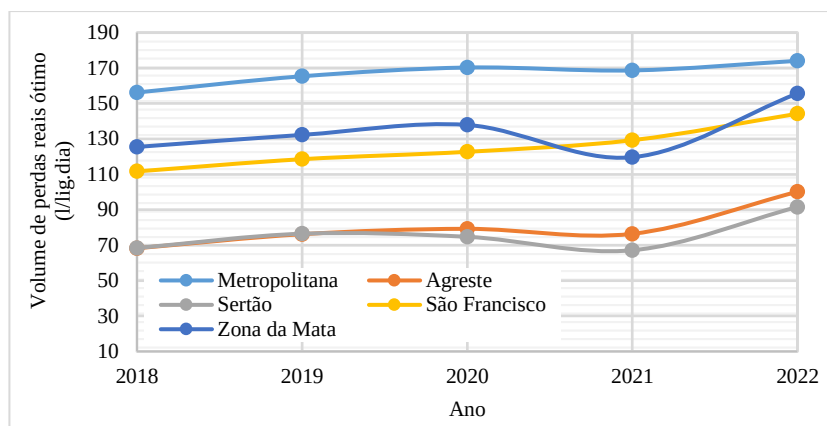
5.2.1 Nível econômico de perdas reais

O estudo analisou o nível econômico de perdas reais de água em diferentes mesorregiões entre 2018 e 2022, permitindo avaliar a evolução dos índices e identificar tendências. Os valores apresentados representam o volume ótimo de perdas reais para cada mesorregião, sendo calculados a partir do volume de perdas reais ótimo de cada município, seguido de uma média ponderada para representar melhor a situação regional. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa da eficiência da distribuição hídrica e das necessidades específicas de controle de perdas em cada localidade.

A mesorregião Metropolitana apresentou os maiores índices ao longo do período, aumentando de 156,21 em 2018 para 174,08 em 2022. Esse crescimento reflete os desafios enfrentados em áreas com alta densidade populacional e demanda intensa, exigindo melhorias contínuas na infraestrutura e manutenção. O Agreste, por sua vez, registrou o maior crescimento proporcional, subindo de 68,26 para 100,16, o que sugere dificuldades na gestão dos sistemas de abastecimento e possíveis falhas operacionais que impactaram o controle das perdas.

No Sertão, os valores apresentaram oscilações, com redução entre 2019 e 2021, mas um aumento significativo em 2022, chegando a 91,56. Isso pode indicar impactos de variações climáticas, bem como a implementação de medidas temporárias de contenção das perdas. A mesorregião de São Francisco mostrou um aumento expressivo, passando de 122,72 em 2020 para 144,20 em 2022, possivelmente refletindo a ampliação das redes de distribuição, que pode ter gerado novas dificuldades na contenção de perdas. Já a Zona da Mata manteve um padrão de crescimento contínuo, atingindo 155,64 em 2022, sugerindo desafios estruturais semelhantes aos da Região Metropolitana.

Figura 10 – Volume de perdas reais ótimo nas mesorregiões de Pernambuco.



Fonte: Autor (2024).

5.2.2 Nível econômico de perdas aparentes

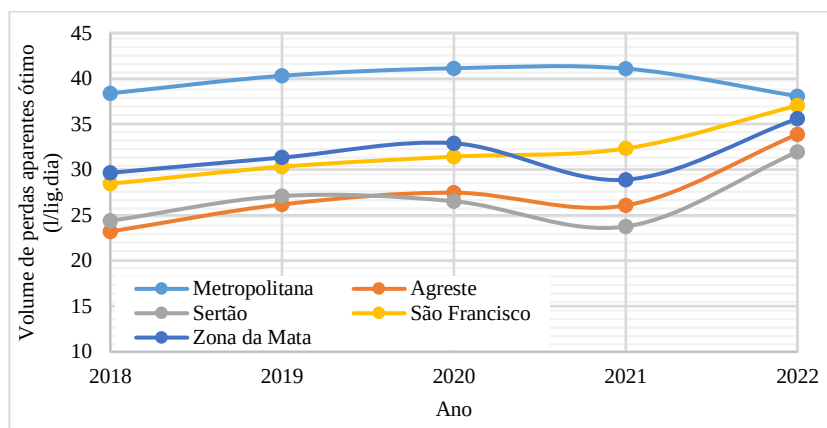
O nível econômico de perdas aparentes apresenta uma tendência geral de crescimento ao longo dos anos, assim como foi observado no nível econômico de perdas reais. Esse aumento sugere desafios contínuos na gestão da distribuição de água, principalmente relacionados a falhas na medição, fraudes e consumos não faturados. Cada mesorregião analisada demonstra padrões distintos de evolução, refletindo características específicas da infraestrutura e da gestão dos sistemas de abastecimento.

Na mesorregião Metropolitana, o nível econômico de perdas aparentes tem apresentado crescimento gradual, o que pode indicar dificuldades na modernização dos sistemas de medição e controle de fraudes, especialmente em regiões mais densamente povoadas. Esse aumento pode estar associado à expansão urbana, dificultando a fiscalização eficiente do consumo. No Agreste, observa-se um crescimento mais acentuado nas perdas aparentes nos últimos anos, o que pode estar ligado a limitações no controle de ligações clandestinas e na identificação de inconsistências na medição do consumo.

O Sertão apresenta oscilações ao longo dos anos, mas com uma tendência final de alta, o que pode estar relacionado a dificuldades estruturais na renovação dos hidrômetros e na fiscalização da correta aferição dos volumes consumidos. Na mesorregião de São Francisco, a evolução das perdas aparentes acompanha um ritmo mais estável, mas ainda crescente, sugerindo que, embora existam mecanismos de controle, a efetividade das ações implementadas pode não estar sendo suficiente para conter o avanço das perdas não faturadas.

Por fim, a Zona da Mata demonstra um aumento expressivo nas perdas aparentes, o que pode estar associado tanto ao crescimento da área atendida quanto a dificuldades na atualização dos cadastros de consumidores e no combate a irregularidades.

Figura 11 – Volume de perdas aparentes ótimo nas mesorregiões de Pernambuco.



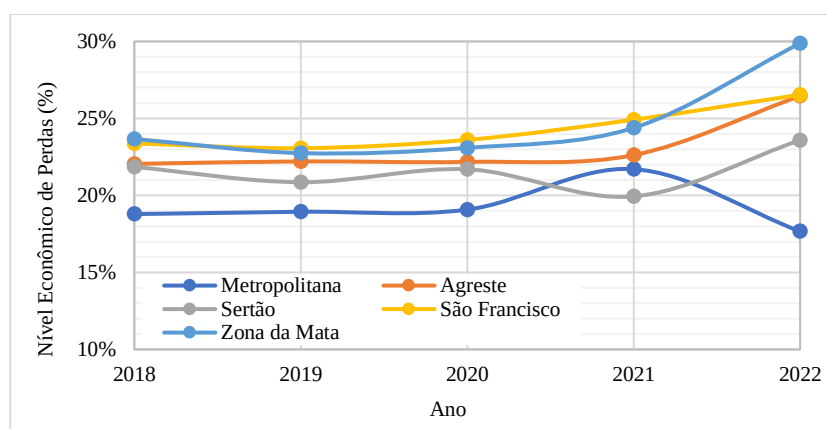
Fonte: Autor (2024).

5.2.3 Nível econômico de perdas

De posse dos dados dos volumes ótimos de perdas reais e aparentes, é possível calcular o nível econômico de perdas geral do sistema. Esse cálculo é realizado somando os valores de ambos os tipos de perdas e dividindo pelo volume total de água produzida no sistema. Dessa forma, obtém-se um indicador consolidado que representa a perda economicamente viável dentro da rede de abastecimento, considerando tanto as perdas físicas de água quanto aquelas relacionadas a falhas de medição e faturamento. Esse índice é fundamental para embasar estratégias de gestão e controle, permitindo uma tomada de decisão mais eficiente para a redução de desperdícios e a otimização dos recursos hídricos disponíveis.

Os resultados do nível econômico de perdas (NEP) refletem o equilíbrio entre os custos de controle de perdas e os benefícios financeiros obtidos com a redução do desperdício. A análise do NEP por mesorregião ao longo do período de 2018 a 2022, apresentada na Figura 12, revela dinâmicas distintas, influenciadas por condições operacionais, estratégias de gestão e infraestrutura local. Observa-se uma tendência geral de aumento do NEP ao longo do período analisado, o que pode estar relacionado ao aumento dos custos das ações de controle de perdas e à evolução nos custos marginais de recuperação de água.

Figura 12 – Nível econômico de perdas nas mesorregiões de Pernambuco.



Fonte: Autor (2024).

Os resultados são consistentes com os estudos de Yilmaz *et al.* (2023) e Heryanto *et al.* (2021). Yilmaz *et al.* (2023) estimaram os NEP de três concessionárias com características distintas utilizando um modelo de otimização, resultando em valores de 29%, 16% e 23%, dependendo das condições locais. Por sua vez, Heryanto *et al.* (2021) estimaram o NEP em 21,76% para as concessionárias de água da cidade de Malang, Indonésia, empregando uma abordagem baseada em custo-benefício.

A Tabela 10 apresenta os valores médios dos NEP para as mesorregiões de Pernambuco, variando de 19,24% na Metropolitana a 24,66% na Zona da Mata. Essa variação reflete as características econômicas e operacionais distintas de cada região. A Região Metropolitana, com o menor NEP médio, sugere que os custos de controle de perdas são relativamente baixos em comparação ao valor econômico da água perdida. Isso pode estar relacionado à presença de uma infraestrutura mais consolidada e a investimentos direcionados na redução de perdas aparentes e reais.

Tabela 10 – Variáveis estatísticas do NEP das mesorregiões (2018 a 2022).

Mesorregião → Variável ↓	Metropolitana	Agreste	Sertão	São Francisco	Zona da Mata
Média	19,24%	22,59%	21,95%	24,30%	24,66%
Mediana	18,94%	22,03%	21,70%	23,61%	23,67%
Desvio Padrão	1,49%	1,62%	2,07%	1,43%	2,71%

Fonte: Autor (2024).

As mesorregiões da Zona da Mata e São Francisco, com os maiores NEP médios (24,66% e 24,30%, respectivamente), indicam que o custo marginal para reduzir perdas adicionais nessas regiões é mais elevado. Esses valores podem ser atribuídos a desafios

operacionais, como redes de distribuição mais dispersas, presença de áreas rurais e custos mais altos associados à manutenção e reparo de redes menos densas.

As medianas, que estão próximas das médias em todas as mesorregiões, sugerem uma distribuição relativamente simétrica dos NEP, indicando que as estratégias de gestão são consistentes, embora não uniformemente eficazes em todos os contextos regionais. O desvio-padrão, por sua vez, fornece insights sobre a variabilidade dos NEP. A Região do São Francisco apresentou o menor desvio-padrão (1,43%), sugerindo maior estabilidade nos cálculos do NEP ao longo do período, possivelmente em razão de uma gestão de perdas mais padronizada. Em contraste, a Zona da Mata registrou o maior desvio-padrão (2,71%), indicando maior instabilidade, que pode ser decorrente de variações nos investimentos ou na eficácia das intervenções realizadas.

Esses resultados destacam a necessidade de estratégias específicas para cada mesorregião, levando em consideração suas particularidades operacionais e econômicas. Regiões como a Metropolitana podem concentrar esforços em manter e consolidar suas estratégias de controle de perdas, enquanto regiões como a Zona da Mata exigem análises mais detalhadas para identificar as causas da alta variabilidade e dos elevados NEP. Já na Região do São Francisco, a maior estabilidade observada pode servir como referência para implementar práticas mais padronizadas em outras mesorregiões.

5.3 PATAMAR ECONÔMICO

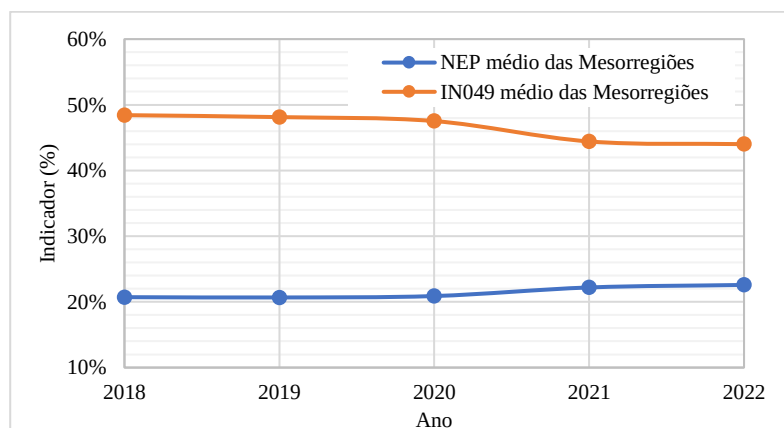
A análise dos indicadores de perdas de água nas mesorregiões do estado, utilizando o patamar econômico de 5%, revelou que apenas 2 dos 25 valores obtidos dos indicadores de perdas está dentro do NEP em relação ao ano analisado, sendo estes registrados no Agreste, em 2022, com um NEP de 27,60% e 29,60% na região do Sertão. Esse valor sugere que, naquele ano e região, a concessionária conseguiu atingir um equilíbrio entre o custo de controle das perdas e os benefícios econômicos, maximizando a lucratividade do sistema. Barbosa (2021) avaliou 627 municípios do estado de São Paulo e identificou que 66,66% dos municípios obtiveram NEP inferior às perdas aparentes atuais, segundo a metodologia de Arregui *et al.* (2018), 69,69% dos municípios com NEP menor que as perdas aparentes atuais e 77,55% dos municípios com NEP inferior às perdas reais atuais, pela metodologia de Wyatt *et al.* (2021). Logo, com base nestes resultados, observa-se que o estado de Pernambuco possui resultados bem inferiores a São Paulo.

Entretanto, a permanência dos demais valores fora do patamar econômico, para o presente estudo, indica que, em geral, as ações implementadas nas outras mesorregiões e nos anos anteriores não foram suficientes para alcançar uma operação eficiente do ponto de vista econômico. Apesar de esforços pontuais que resultaram em melhorias, como observado em algumas reduções do IN049, os dados sugerem que a infraestrutura de abastecimento ainda enfrenta desafios significativos, seja por ineficiências operacionais, falta de manutenção preventiva adequada ou limitações nos investimentos em tecnologias de controle e monitoramento.

Os NEP médios anuais e média dos indicadores de perdas em todo o estado de Pernambuco estão apresentados na Figura 13. Os dados apresentados evidenciam uma evolução paradoxal no estado no período de 2018 a 2022. O NEP registrou um aumento de 20,72% em 2018 para 22,58% em 2022, enquanto o IN049, que mede as perdas reais nos sistemas de distribuição de água, diminuiu de 48,43% para 44,01% no mesmo período. Essa dinâmica revela, por um lado, os desafios estruturais enfrentados pelos sistemas de abastecimento de água, e, por outro, a eficácia das políticas de mitigação de perdas implementadas pelas concessionárias.

Moll e Cubas (2018), ao aplicarem a metodologia de Wyatt (2010) no Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana, calcularam um NEP de 44%, valor significativamente superior aos encontrados em Pernambuco. O estudo também demonstrou que os investimentos em controle de perdas podem gerar economias de até quatro vezes o valor investido em determinadas zonas de pressão. Na região Nordeste, Souza e Callado (2014) identificaram um NEP de 16% em Maceió, utilizando o software ECONOLEAK.

Figura 13 – Índice de perdas na distribuição (IN049) e NEP de Pernambuco de 2018 a 2022.



Fonte: O Autor (2024).

Apesar da ocorrência pontual no Agreste em 2022, os resultados gerais indicam que a maioria das ações implementadas nas demais mesorregiões e nos anos anteriores não foi suficiente para alcançar uma operação economicamente eficiente. A infraestrutura de abastecimento ainda enfrenta desafios estruturais e operacionais significativos, como ineficiências na manutenção preventiva e limitações nos investimentos em tecnologias de controle e monitoramento. Embora algumas reduções no IN049 tenham sido observadas, elas parecem não ter sido suficientes para alinhar os índices de perdas ao patamar econômico ideal.

O cenário observado destaca uma dualidade entre os desafios estruturais e os avanços operacionais. Por um lado, o aumento do NEP reflete o crescimento dos custos marginais de controle em sistemas em expansão e com infraestrutura envelhecida. Por outro, a queda contínua do IN049 demonstra que, apesar das dificuldades, as políticas e ações implementadas têm sido eficazes na redução das perdas reais. Para garantir a sustentabilidade econômica e operacional dos sistemas de abastecimento, é essencial alinhar as estratégias de controle aos desafios específicos de cada mesorregião, priorizando investimentos que maximizem a relação custo-benefício.

5.4 GRÁFICO BOXPLOT E OUTLIERS

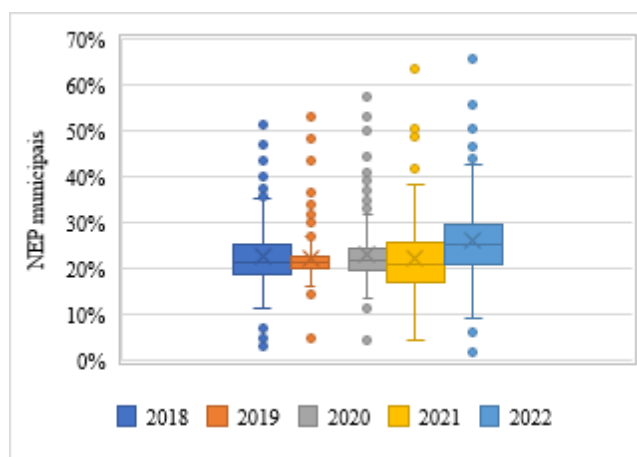
A Figura 14 apresenta o boxplot dos NEP para os municípios de Pernambuco em cada ano, evidenciando sua variabilidade e tendências ao longo do período analisado. A análise revela importantes insights sobre as condições econômicas e operacionais dos sistemas de abastecimento de água no estado. Entre 2018 e 2022, observa-se uma ligeira tendência de aumento na média dos NEP, passando de 22,87% em 2018 para 26,15% em 2022. Essa evolução é acompanhada por uma ampliação da amplitude interquartil (diferença entre Q3 e Q1), indicando uma maior variabilidade entre os valores de NEP dos municípios. Essa elevação sugere que, com o passar dos anos, o custo para alcançar o equilíbrio econômico entre perdas e controle aumentou, possivelmente devido à inflação setorial e à complexidade das redes de distribuição.

A maior dispersão observada em 2021 e 2022 indica que as condições econômicas, estruturais e operacionais se tornaram mais heterogêneas entre os municípios. Valores extremos estão presentes em todos os anos, mas são particularmente numerosos nestes anos. Uma definição amplamente reconhecida é a de Hawkins (1980), que descreve os outliers como observações que se distanciam significativamente das demais a ponto de levantar suspeitas sobre terem sido geradas por um mecanismo distinto. Dessa forma, de maneira geral, os outliers

podem ser intuitivamente compreendidos como pontos de dados que se mostram inconsistentes em relação à maioria das observações (também chamadas de inliers) e que destoam dos padrões esperados. Em muitos casos, esses elementos representam eventos ou ocorrências raras dentro de um conjunto de dados ou de um determinado processo, conforme apontado por Barnett e Lewis (1994).

Os outliers representam municípios com NEP significativamente superiores ou inferiores em relação à maioria do grupo. Municípios com NEP altos podem estar enfrentando desafios como redes antigas, alta dispersão geográfica, dificuldades administrativas ou custos operacionais elevados. Por outro lado, os municípios com NEP baixos podem refletir investimentos em tecnologias inovadoras, menor densidade de redes ou estratégias eficazes de controle de perdas. Esses casos devem ser analisados separadamente para identificar fatores locais, como vazamentos frequentes, redes de distribuição obsoletas ou alta dispersão geográfica das redes.

Figura 14 – Boxplot com outliers dos NEP dos municípios de Pernambuco de 2018 a 2022.



Fonte: Autor (2024).

A análise dos valores extremos do Nível Econômico de Perdas (NEP) revela algumas inconsistências que podem estar associadas a erros nos dados utilizados ou nas metodologias empregadas. Observando os valores mínimos, nota-se a recorrência das cidades de Jupi (2019, 2020 e 2022) e Poção (2018 e 2021). No entanto, os valores encontrados para essas cidades são extremamente baixos, o que levanta questionamentos sobre a confiabilidade dos cálculos ou das informações de entrada utilizadas. É improvável que o custo para controle de perdas nessas cidades seja tão reduzido, pois, na prática, há um limite técnico e financeiro para a redução de perdas em qualquer sistema de abastecimento. A aparente repetição dessas cidades nos menores valores pode ser um reflexo de limitações na base de dados, falhas na medição de custos

operacionais ou até mesmo simplificações excessivas no modelo utilizado para o cálculo do NEP. Segundo Oliveira (2025), esses índices reduzidos podem refletir dificuldades estruturais, como a ausência de uma infraestrutura adequada.

Da mesma forma, os valores máximos também apresentam um padrão que merece atenção. Embora haja uma variação maior entre as cidades, com Belém de Maria aparecendo nos anos de 2018 e 2019, seguida por Santa Maria do Cambucá (2020), Cabrobó (2021) e Ilha de Itamaracá (2022), é necessário avaliar se esses valores elevados são de fato representativos da realidade ou se foram influenciados por distorções nos dados. A repetição de Belém de Maria pode indicar que há alguma particularidade no sistema de abastecimento dessa cidade que impacta os cálculos, mas também pode ser resultado de inconsistências na obtenção dos custos ou na definição dos parâmetros utilizados para o modelo. Já as demais cidades, que aparecem apenas uma vez nos valores máximos, podem ter sido influenciadas por dados atípicos em determinados anos, o que reforça a necessidade de uma análise mais aprofundada para compreender a origem dessas discrepâncias.

5.5 TESTE ANOVA

O teste ANOVA foi utilizado para avaliar se as variações observadas nas médias dos NEP e dos indicadores IN049 entre as mesorregiões de Pernambuco e ao longo dos anos são estatisticamente significativas. A aplicação do teste permitiu uma análise robusta para identificar diferenças entre os grupos analisados, fornecendo subsídios importantes para compreender os fatores que impactam o desempenho operacional das concessionárias.

A Tabela 11 apresenta os resultados do teste para os NEP. O valor de F calculado (1,4256) foi inferior ao F crítico (2,8661), e o valor-p (0,2619) foi maior que o nível de significância de 0,05. Esses resultados indicam que não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade entre as médias dos NEP das mesorregiões. Logo, apesar de diferenças aparentes nos valores de NEP entre as mesorregiões, as variações não foram suficientemente grandes para serem consideradas estatisticamente significativas. Isso sugere uma relativa homogeneidade nos patamares econômicos de perdas entre as regiões, o que pode ser explicado por: (i) similaridades na gestão operacional da concessionária, que segue diretrizes centralizadas; (ii) infraestruturas que compartilham níveis semelhantes de eficiência; e (iii) custos uniformes de controle de perdas, como materiais e mão de obra, em todo o estado.

Tabela 11 – Resultados do teste ANOVA para os NEP das mesorregiões de Pernambuco (2018-2022).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0037	4	0,0009	1,4256	0,2619	2,8661
Dentro dos grupos	0,0131	20	0,0007			
Total	0,0168	24				

* Legenda: SQ – soma dos quadrados;

Fonte: O Autor (2024).

Os resultados do teste ANOVA para o indicador de perdas IN049 são apresentados na Tabela 12. O valor de F calculado (0,8302) foi novamente inferior ao F crítico (2,8660), enquanto o valor-p (0,5216) foi maior que 0,05. Assim, também não há evidências para rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias entre as mesorregiões. Embora o IN049 tenha apresentado variações aparentes ao longo do tempo e entre as regiões, os resultados indicam que a maior parte da variabilidade ocorre dentro dos grupos, ou seja, entre os municípios dentro de cada mesorregião, e não entre as mesorregiões. Isso pode ser explicado por:

- Gestão centralizada e homogênea: A concessionária pode estar implementando políticas similares em todas as regiões, resultando em níveis de perdas mais uniformes entre elas.
- Impacto de características locais: Diferenças nas redes de distribuição e nos padrões de consumo dentro das mesorregiões podem gerar maior variabilidade interna, diluindo diferenças entre regiões.
- Limitações estruturais comuns: Todas as regiões enfrentam desafios relacionados à escassez hídrica, envelhecimento das infraestruturas e dificuldades para implementar tecnologias avançadas.

Tabela 12 – Resultados do teste ANOVA para os IN049 das mesorregiões de Pernambuco (2018-2022).

Fonte da variação*	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,0223	4	0,0055	0,8302	0,5216	2,8660
Dentro dos grupos	0,1345	20	0,0067			
Total	0,1568	24				

* Legenda: SQ – soma dos quadrados;

Fonte: O Autor (2024).

Os resultados do teste ANOVA apontam para uma relativa uniformidade nos indicadores gerais de desempenho (NEP e IN049) entre as mesorregiões, mas com algumas diferenças significativas em análises entre pares. Esses achados sugerem que, embora as políticas gerais adotadas pela concessionária tenham contribuído para uma melhora no desempenho ao longo do tempo, fatores locais ainda desempenham um papel importante na

variação dos níveis de perdas. A Tabela 13 apresenta os resultados da análise ANOVA entre pares de mesorregiões para o NEP. As comparações revelaram diferenças estatisticamente significativas em dois casos:

- Agreste e Sertão (valor-p = 0,0113): A diferença significativa reflete as distintas condições estruturais e climáticas entre essas regiões, com o Sertão enfrentando maiores desafios devido à escassez hídrica e infraestrutura mais limitada.
- Zona da Mata e São Francisco (valor-p = 0,0148): Essa diferença pode ser atribuída à densidade populacional e à complexidade operacional na Zona da Mata, em contraste com a maior previsibilidade dos sistemas no São Francisco.

Tabela 13 – Resultados do teste ANOVA para os NEP das mesorregiões em pares.

Comparação	F	valor-P
Agreste – Metropolitana	0,135	0,962
Agreste – São Francisco	2,611	0,160
Agreste – Sertão	10,745	0,011
Agreste – Zona da Mata	3,362	0,108
Metropolitana – São Francisco	0,127	0,966
Metropolitana – Sertão	0,092	0,981
Metropolitana – Zona da Mata	0,156	0,952
Sertão – São Francisco	1,401	0,354
Sertão – Zona da Mata	2,390	0,183
Zona da Mata – São Francisco	9,495	0,015

Fonte: O Autor (2024).

Esses resultados reforçam a importância de uma abordagem híbrida, combinando estratégias centralizadas para uniformizar os índices gerais e ações locais direcionadas para atender às especificidades regionais. A continuidade das políticas de monitoramento, combinada com investimentos em infraestrutura e tecnologia, é essencial para sustentar as melhorias observadas e reduzir as disparidades regionais. Wyatt *et al.* (2021) também destacaram que variações regionais no NEP são comuns.

6 CONCLUSÕES

O estudo realizado sobre o nível econômico de perdas (NEP) e o índice de perdas na distribuição (IN049) nos sistemas de abastecimento de água das mesorregiões de Pernambuco, no período de 2018 a 2022, revelou um panorama complexo e multifacetado das perdas hídricas no Estado. Embora tenham sido observados progressos significativos em algumas regiões, como o Agreste Pernambucano, que apresentou uma tendência contínua de redução de perdas, outras áreas, como a Região Metropolitana, enfrentaram desafios persistentes, mantendo índices de perdas bem acima do NEP estabelecido. Esses resultados destacam a necessidade de políticas direcionadas e adaptadas às especificidades regionais, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável.

A redução contínua do IN049 evidenciou a eficácia parcial das ações de controle de perdas implementadas pela concessionária local. Em contrapartida, o aumento gradual do NEP destacou o impacto de fatores como o crescimento dos custos operacionais, a expansão das redes de distribuição e as mudanças nos padrões de consumo. Na Região Metropolitana, após uma redução inicial, observou-se um aumento nos índices de perdas, sugerindo a necessidade de novos investimentos em infraestrutura e revisão das estratégias de gestão. O Sertão, que apresentou estabilidade até 2021, registrou uma redução significativa em 2022, indicando resultados promissores de intervenções recentes. A mesorregião do São Francisco, apesar de uma redução gradual, ainda não atingiu níveis ideais, reforçando a necessidade de estratégias específicas para o contexto local.

Embora os indicadores gerais apresentem relativa uniformidade, o estudo identificou diferenças regionais significativas, especialmente entre o Agreste e o Sertão, e entre a Zona da Mata e o São Francisco. Essas disparidades refletem a influência de fatores locais, como condições climáticas, características das redes de distribuição e limitações na infraestrutura existente. Apenas um valor do IN049 ficou abaixo do NEP durante o período analisado, evidenciando que, em grande parte, as ações de controle de perdas ainda não atingiram a eficiência econômica esperada. As condições na Zona da Mata, apesar dos desafios relacionados à densidade populacional, mostram potencial para maior eficácia nos investimentos direcionados ao controle de perdas.

Os resultados do teste ANOVA fornecem uma análise detalhada sobre a variação dos NEP e do IN049 entre as mesorregiões. Embora o teste tenha indicado que as diferenças entre as médias das mesorregiões não foram estatisticamente significativas, ele destacou a estabilidade dos níveis de perdas em algumas regiões, como o São Francisco, e a variabilidade

em outras, como o Sertão. A análise ANOVA também revelou diferenças significativas entre pares de mesorregiões, Agreste e o Sertão (valor-p = 0,0113) e Zona da Mata e São Francisco (valor-p = 0,0148). Esses achados sublinham a importância de uma abordagem diferenciada para cada região, considerando suas especificidades estruturais, climáticas e operacionais.

Os resultados ressaltam a relevância de estratégias adaptadas às condições específicas de cada mesorregião. Regiões como o Sertão e o São Francisco enfrentam desafios críticos devido à escassez hídrica e aos elevados custos operacionais, enquanto a Região Metropolitana, com suas redes de distribuição densas e antigas, exige reabilitação e controle eficiente de pressões. Além disso, a ampliação de investimentos em tecnologias avançadas, como sistemas de monitoramento automatizado e ferramentas de detecção precoce de vazamentos, é essencial para otimizar operações e reduzir perdas de maneira eficaz.

Este estudo reforça o papel crucial de um compromisso contínuo das autoridades, especialmente da concessionária local, para implementar políticas que considerem as particularidades de cada mesorregião. Reduzir as perdas de água não é apenas uma meta de eficiência econômica, mas também um imperativo para garantir sustentabilidade ambiental e acesso equitativo à água para toda a população. Investimentos em infraestrutura, capacitação técnica e inovação tecnológica são fundamentais para alcançar esses objetivos.

Este estudo reforça a necessidade de um compromisso contínuo por parte das autoridades responsáveis, especialmente da concessionária local, para implementar políticas que considerem as particularidades de cada mesorregião. A redução das perdas de água não é apenas uma questão de eficiência econômica, mas também um imperativo para a sustentabilidade ambiental e para assegurar o acesso equitativo à água para toda a população. Investimentos em tecnologias avançadas, renovação de redes e capacitação técnica são fundamentais para alcançar esses objetivos.

Futuras iniciativas devem priorizar o desenvolvimento de planos estratégicos regionais, com monitoramento contínuo, renovação de infraestrutura e maior envolvimento das comunidades locais e *stakeholders*. Estudos complementares são essenciais para aprofundar a compreensão dos fatores que influenciam o NEP e avaliar o impacto de políticas específicas, tanto em Pernambuco quanto em outras regiões. A análise ANOVA, juntamente com os demais resultados apresentados, reforça a necessidade de uma gestão regionalizada, que considere as diferenças locais e promova soluções customizadas para melhorar a eficiência operacional dos sistemas de abastecimento e a sustentabilidade hídrica em Pernambuco. Essas abordagens permitirão avanços significativos no cumprimento das metas nacionais de redução de perdas e na gestão eficaz e inclusiva dos recursos hídricos do estado.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.538. **Medidores de água potável – Ensaio para avaliação de eficiência. p. 1-18**, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **ATLAS BRASIL: abastecimento urbano de água**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-da-informacao/atlas-brasil>.
- AHOPELTO, S.; VAHALA, R. **Cost–Benefit Analysis of Leakage Reduction Methods in Water Supply Networks**. *Water* 2020, 12, 195.
- ALEGRE, H. *et al.* **Performance Indicators for Water Supply Services**. 3a. ed. London, UK: IWA Publishing, 2017.
- AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. **Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review**. *Water Resources Management*, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 8 out. 2016.
- AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; LUPOJA, R.; AL-NOZAILY, F.; HAIDERA, M.; KENNEDY, M. **Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply**. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020, 152, 104515.
- ANDRADE SOBRINHO, R.; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS**. *Eng Sanit Ambiental*, v.21, n.4, 2016, p. 783-795.
- ARREGUI, F. J. *et al.* **Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system**. *Water (Switzerland)*, 2018. v. 10, n. 12.
- AZEVEDO, B. B.; SAURIN, T. A. **Losses in Water Distribution Systems: A Complexity Theory Perspective**. *Water Resour Manage.*, v. 32, 2018, 2919–2936.
- BANOVEC, P.; DOMADENIK, P. **Defining Economic Level of Losses in Shadow: Identification of Parameters and Optimization Framework**. *Proceedings* 2018, 2, 599.
- BARBOSA, J. L. A. **Avaliação de metodologias de nível econômico de perdas**. 2021. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Fundação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2021.
- BARNETT, V. e LEWIS, T. **Outliers in Statistical Data. Edição: 3 ed.** Chichester; New York: Wiley-Blackwell. (1994)

BEZERRA, S. DE T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água. Tecnologias de controle**. João Pessoa: UFPB, 2013.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Nota Técnica nº 492/2010**. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Portaria nº 490, de 9 de dezembro de 2021**. Estabelece diretrizes e procedimentos para a implementação da Política Nacional de Segurança Hídrica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 10 dez. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: visão geral ano de referência 2021**. Brasília: MDR; SNIS, 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. **Diagnóstico temático serviços de água e esgoto: visão geral ano de referência 2022**. Brasília: MDR; SNIS, 2023.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção Civil (SINAPI)**. 2024. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 06 de julho de 2024.

CARVALHO, W. S. *et al.* **Consumo e Perda de Água Potável na Região Metropolitana do Rio De Janeiro**. Revista Produção e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p.80-89, 2015

CUNHA, B. S., SANTOS S. M., GONZALEZ B. C. **Gestão das perdas de água em sistemas de abastecimento**. Revista DAE. 69. 67-86. 10.36659/dae.2021.033, 2021.

DYSARZ, J. M.; GOETTEN, W. J. **O impacto da redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento dos municípios da região nordeste do estado de Santa Catarina**. Unicrea, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 192-222, maio 2023.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Water audits and water loss control for public water systems**, 2013.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM Main Report**. European Union, 2015a.

European Union 2015. EU Reference Document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM Main Report. <https://doi.org/10.2779/102151>

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks**. London: IWA Publishing, 2003.

FERNANDES, T., ALMEIDA, P., CASTRO, R. **Governança da Água e os Desafios do ODS 6**. Revista Internacional de Recursos Hídricos, 29(4), 40-58, 2017.

FIGUEIREDO, A. A. de O.; **Redução de perdas na rede de abastecimento de água em cidades do semiárido no Agreste de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

FIRAT, M. et al. **Analyzing the economic water loss level with a discrete stochastic optimization algorithm by considering budget constraints**. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, v. 71, n. 7, 28 jun. 2022.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Índice Nacional de Custo da Construção – INCC: resultados de 2024**. Rio de Janeiro: FGV, 2024. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticias/incc-m-resultados-2024>.

FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. **The issues and challenges of reducing non-revenue water**. Mandaluyong: Asian Development Bank, 2010. 51 p.

GONÇALVES, E. **Revisão de metodologias e indicadores de desempenho para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água**. Anais do Encontro Técnico sobre Redução e Controle de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água, meio digital, Salvador, BA, 2002.

HAWKINS, D.M. **Identification of Outliers (1ª ed.)**. Springer Dordrecht. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-3994-4>, 1980.

HERYANTO, T.; SHARMA, S.K.; DANIEL, D.; KENNEDY, M. **Estimating the Economic Level of Water Losses (ELWL) in the Water Distribution System of the City of Malang, Indonesia**. Sustainability 2021, 13, 6604.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características gerais dos domicílios e dos moradores: 2019**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, 2019. p. 1–8.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: população e domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação: 2000-2070**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-dapopulacao.html>. Acesso em: 07 de outubro de 2024.

IBNET (2021) **The International Benchmarking Network**. Disponível em: <https://www.ib-net.org/> acessado: 30/09/2024

INSTITUTO TRATA BRASIL. Go Associados (org.). **ESTUDO DE PERDAS DE ÁGUA DE 2024 (SNIS, 2022): DESAFIOS NA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2024. 67 p.

KINGDOM, B.; LIEMBERGER, R.; MARIN, P. **The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries – How the Private Sector Can Help : A Look at Performance-Based Service Contracting**. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series. [S.l.]: [s.n.], 2006.

KUSTERKO, S. *et al.* **Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 615-626, 2018.

LIEMBERGER, R.; MCKENZIE, R. **Accuracy Limitations of the ILI – Is it an Appropriate Indicator for Developing Countries**. In: CONFERENCE PROCEEDINGS IWA, LEAKAGE 2005 CONFERENCE IN HALIFAX. Nova Scotia, Canadá: 2005.

MANCIO, V. G. *et al.* **PROGRAMA DE REDUÇÃO DE PERDAS: UMA PROPOSTA PARA A REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA**. XII Congresso Brasileiro de Regulação e 6a EXPO ABAR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: XII Congresso Brasileiro de Regulação e 6a EXPO ABAR, 2021.

MANZI, D.; RAMIREZ, D. B.; MARTINS, E. **Determinação de Indicadores de Investimentos para Redução de Perdas a Partir da Instrumentação e Estudo de um Distrito de Medição e Controle – DMC**. In: 29º CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, Anais [...], São Paulo, 2018, p. 1-15.

MARCONDES, R. A. C. **Estudo do uso das tubulações de PEAD em sistemas de distribuição de água no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências), 103f, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2023.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 159, n. 55, p. 30, 23 mar. 2021.

MOLL, A. C. B. **Nível econômico de perdas em sistemas de abastecimento de água por distrito de medição e controle**. Dissertação (Mestrado) – UFPR, Curitiba, 2019.

MOLL, A. C. B.; CUBAS, S. A. **Determinação do nível econômico de perdas de água das zonas de pressão do sistema de abastecimento de água integrado de Curitiba e região**

metropolitana. In: I Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. 2018.

OCIEPA-KUBICKA, Agnieszka; DESKA, Iwona; OCIEPA, Ewa. Issues in Implementation of EU Regulations in Terms of Evaluation of Water Losses: Towards Energy Efficiency Optimization in Water Supply Systems. *Energies*, v. 17, n. 3, p. 633, 2024.

OLIVERIA, Gesner; SCAZUFCA, Pedro; PIRES, Rodrigo Cintra; MARGULIES, Beatriz Nogueira. **Ranking do Saneamento 2019 (SNIS 2017).** São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. 5 p.

OLIVEIRA, E. A. **Identificação e atribuição de pontos extremos (outliers) nos indicadores de resíduos sólidos do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico do Brasil.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-276/24, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 352, 2024.

PARASCHIV, S.; PARASCHIV, L.S.; SERBAN, A. **An overview of energy intensity of drinking water production and wastewater treatment.** *Energy Rep.* 2023, 9 (Suppl. S11), 118–123.

PEARSON, D.; TROW, S. **Calculating Economic Levels of Leakage.** Leakage 2005 Conference Proceedings, 2005. p. 1–16.

SANCHEZ, J. G.; MOTTA, S. A.; ALVES, W. C. **Estimativa de volume de água não medido em ligações residenciais por perda de exatidão nos hidrômetros, na cidade de Juazeiro – BA.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ABES, 2000.

SOUZA, E. C. de; CALLADO, N. H. **Nível econômico de vazamento em rede de distribuição: estudo de caso na zona baixa de Maceió/AL.** XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, Natal-Rn: Abrhidro, 2014. p. 1-10.

TABESH, M; YEKTA, A. H.; BURROWS, R. **An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems.** *Water Resources Management*, v. 23, n° 3, p. 477 – 492, 2009.

TARDELLI FILHO, J. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água.** *Revista DAE*, São Paulo, p. 6-20, 2016.

VERMERSCH, M. *et al.* **Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning.** 2016. n. September, p. 1–77

WYATT, A. *et al.* **Perdas de água – Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço.** 1. ed. [S.l.]: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2021.

WYATT, A. **Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries.** Water science and technology: water supply, 2010. v. 12, n. 4, p. 1–11.

WYATT, A.; ALSHAFFEY, M. **Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries - Application in Aqaba, Jordan.** Water Science and Technology: Water Supply, 2012. v. 12, n. 4, p. 451–462.

YILMAZ, S.; ATES, A.; FIRAT, M.; ÖZDEMİR, Ö.; CINAL, H. **Determination of economic loss levels in water distribution systems with different network conditions by a district stochastic optimization algorithm.** Water Supply 2023, 23, 1349–1361.

APÊNDICE – VALORES CALCULADOS DOS NEP E DADOS DE IN049

Tabela 14 – Valores calculados dos Níveis Econômicos de Perdas Reais e Aparentes somados para cada mesorregião.

	Metropolitana	Agreste	Sertão	São Francisco	Zona da Mata
2018	18,79%	21,49%	21,85%	23,38%	23,67%
2019	18,94%	22,03%	20,86%	23,07%	22,75%
2020	19,08%	21,92%	21,70%	23,61%	23,09%
2021	21,71%	22,05%	19,94%	24,92%	24,39%
2022	17,67%	25,47%	25,39%	26,54%	29,38%

Tabela 15 – Dados do indicador de perdas para cada mesorregião no período analisado.

	Metropolitana	Agreste	Sertão	São Francisco	Zona da Mata
2018	54,70%	39,80%	40,40%	43,10%	51,50%
2019	54,10%	38,10%	42,30%	43,00%	52,97%
2020	53,80%	38,13%	39,90%	41,90%	51,90%
2021	47,70%	37,14%	44,30%	39,70%	48,60%
2022	59,50%	27,60%	29,60%	34,40%	39,10%

Tabela 16 – NEP calculado para cada município do Estado.

	2018	2019	2020	2021	2022
Abreu e Lima	22,79%	21,67%	21,87%	25,42%	24,08%
Araçoiaba	26,05%	18,46%	21,17%	22,00%	25,38%
Cabo de Santo Agostinho	15,66%	16,74%	16,82%	20,83%	9,18%
Camaragibe	31,65%	30,15%	30,59%	27,12%	19,36%
Fernando de Noronha	4,97%	5,08%	4,97%	5,70%	6,20%
Igarassu	19,81%	19,71%	20,37%	23,04%	25,30%
Ilha de Itamaracá	48,76%	48,28%	49,95%	50,45%	65,61%
Ipojuca	19,50%	18,41%	17,84%	14,74%	31,66%
Itapissuma	25,17%	20,55%	14,66%	14,12%	17,33%
Jaboatão dos Guararapes	19,50%	19,51%	19,52%	20,27%	9,81%
Moreno	27,96%	22,75%	22,86%	31,96%	29,11%
Olinda	20,21%	20,41%	20,59%	21,79%	20,36%
Paulista	21,63%	23,67%	23,74%	32,06%	29,71%
Recife	14,39%	14,71%	14,86%	17,19%	13,95%
São Lourenço da Mata	37,65%	36,43%	36,90%	51,20%	38,92%
Agrestina	21,68%	22,45%	21,57%	20,33%	28,00%
Águas Belas	17,60%	23,66%	29,25%	28,28%	27,33%
Alagoinha	11,48%	19,81%	20,06%	27,91%	24,64%
Altinho	18,75%	21,86%	20,98%	20,13%	22,66%
Angelim	17,78%	21,22%	20,94%	21,95%	26,09%
Barra de Guabiraba	21,12%	21,28%	20,75%	20,55%	25,93%

Belo Jardim	18,21%	20,36%	15,85%	14,91%	18,81%
Bezerros	20,55%	21,61%	20,79%	21,91%	22,40%
Bom Conselho	19,24%	19,61%	19,32%	21,62%	22,04%
Bom Jardim	21,83%	21,34%	21,21%	19,76%	39,94%
Bonito	21,19%	21,42%	20,30%	23,59%	28,10%
Brejão	16,61%	19,05%	17,88%	18,26%	19,83%
Brejo da Madre de Deus	16,82%	18,99%	19,48%	16,70%	15,10%
Buíque	15,82%	21,29%	24,31%	16,44%	20,05%
Cachoeirinha	15,94%	17,96%	18,53%	17,08%	20,90%
Caetés	15,50%	19,68%	19,60%	25,28%	24,02%
Calçado	16,91%	19,09%	16,77%	12,62%	20,55%
Camocim de São Félix	17,99%	19,89%	20,55%	22,24%	25,60%
Canhotinho	19,92%	21,39%	23,55%	18,46%	24,86%
Capoeiras	30,77%	21,89%	19,88%	15,83%	15,86%
Caruaru	22,04%	22,12%	21,79%	23,07%	26,04%
Casinhas	35,43%	37,87%	37,87%	34,57%	23,44%
Correntes	21,51%	21,41%	25,66%	20,55%	25,35%
Cumaru	26,15%	20,81%	19,99%	10,68%	12,93%
Cupira	20,47%	20,82%	20,77%	20,63%	22,20%
Feira Nova	20,73%	21,32%	20,61%	20,24%	25,32%
Frei Miguelinho	25,52%	23,88%	19,97%	27,26%	20,11%
Garanhuns	21,09%	22,12%	21,77%	23,21%	27,87%
Gravatá	17,94%	18,76%	22,57%	22,88%	24,12%
Ibirajuba	23,87%	22,58%	23,59%	18,90%	24,39%
Itaíba	20,73%	21,94%	24,03%	20,12%	30,75%
Jataúba	24,25%	19,91%	27,00%	29,28%	26,48%
João Alfredo	41,50%	31,51%	32,98%	31,99%	37,50%
Jucati	15,90%	17,59%	11,39%	8,41%	17,47%
Jupi	3,70%	5,02%	4,32%	4,49%	2,02%
Jurema	22,86%	22,38%	24,02%	27,26%	29,69%
Lagoa do Ouro	15,65%	18,13%	17,62%	14,24%	15,83%
Lagoa dos Gatos	20,11%	18,19%	15,44%	12,98%	17,27%
Lajedo	23,04%	23,69%	24,90%	23,85%	29,62%
Limoeiro	21,92%	22,51%	22,07%	28,82%	36,95%
Machados	25,45%	21,00%	21,98%	18,59%	28,39%
Orobó	34,57%	53,89%	39,88%	23,43%	23,90%
Palmeirina	23,32%	21,14%	22,51%	16,85%	19,80%
Panelas	36,66%	23,52%	35,01%	48,55%	42,12%
Paranatama	26,23%	23,38%	20,32%	48,52%	41,30%
Passira	16,69%	19,64%	17,69%	15,92%	21,22%
Pedra	13,92%	16,15%	15,96%	11,90%	19,17%
Pesqueira	24,34%	20,44%	15,03%	14,60%	20,80%
Poção	3,07%	5,25%	5,21%	4,34%	2,46%

Riacho das Almas	18,56%	21,40%	19,05%	11,99%	17,87%
Sairé	28,00%	22,15%	24,62%	41,58%	42,73%
Salgadinho	48,01%	43,42%	44,41%	12,42%	20,78%
Saloá	16,84%	20,68%	14,86%	13,56%	18,09%
Sanharó	16,73%	20,46%	16,32%	13,28%	18,55%
Santa Cruz do Capibaribe	18,70%	22,06%	23,09%	30,42%	26,19%
Santa Maria do Cambucá	14,25%	52,94%	57,47%	23,46%	23,65%
São Bento do Una	25,20%	23,36%	19,98%	19,69%	27,29%
São Caitano	23,28%	22,29%	22,15%	33,97%	28,75%
São João	18,58%	21,27%	22,32%	16,03%	17,06%
São Joaquim do Monte	26,78%	22,23%	25,05%	28,15%	35,63%
São Vicente Ferrer	23,48%	21,27%	24,65%	21,05%	30,60%
Surubim	34,69%	27,64%	29,25%	21,57%	25,74%
Tacaimbó	13,32%	16,02%	13,46%	9,83%	16,00%
Taquaritinga do Norte	25,57%	23,51%	26,65%	25,90%	30,46%
Terezinha	20,96%	22,49%	23,29%	23,88%	28,63%
Toritama	19,52%	23,53%	21,48%	16,51%	21,54%
Tupanatinga	21,73%	21,05%	22,51%	18,45%	26,58%
Venturosa	19,21%	19,90%	20,38%	20,35%	27,90%
Vertente do Lério	15,74%	25,07%	24,87%	22,39%	22,67%
Vertentes	6,98%	21,14%	18,08%	20,24%	23,48%
Afogados da Ingazeira	17,05%	19,07%	17,87%	17,79%	19,94%
Araripina	18,93%	20,22%	18,87%	18,07%	22,75%
Arcoverde	28,74%	22,35%	21,37%	19,61%	24,48%
Betânia	18,69%	22,19%	23,73%	22,72%	28,13%
Bodocó	18,28%	17,07%	18,98%	14,16%	21,74%
Brejinho	24,64%	21,22%	29,27%	32,68%	32,44%
Calumbi	19,85%	20,06%	20,76%	15,65%	24,50%
Carnaíba	20,36%	20,07%	19,55%	20,44%	22,00%
Cedro	25,12%	22,40%	28,90%	13,50%	19,63%
Custódia	26,01%	24,84%	22,22%	16,95%	27,97%
Exu	22,48%	20,46%	20,37%	20,09%	22,34%
Flores	23,00%	17,75%	16,42%	13,88%	23,03%
Granito	22,62%	23,04%	21,33%	17,25%	27,87%
Ibimirim	23,35%	22,44%	23,09%	19,36%	29,64%
Iguaracy	29,64%	21,37%	26,88%	23,80%	29,16%
Ingazeira	30,53%	23,28%	22,83%	27,13%	26,59%
Ipubi	15,73%	20,35%	21,60%	25,97%	23,33%
Itapetim	19,75%	17,83%	17,16%	12,14%	16,82%
Manari	14,69%	21,13%	16,11%	15,24%	26,29%
Mirandiba	23,19%	25,59%	34,47%	32,12%	45,37%
Moreilândia	25,92%	24,90%	31,69%	23,96%	40,48%
Ouricuri	24,55%	20,08%	24,41%	24,89%	27,61%

Parnamirim	17,11%	17,36%	20,99%	14,67%	21,24%
Quixaba	30,16%	23,10%	27,14%	34,26%	36,68%
Salgueiro	19,45%	20,30%	19,73%	21,50%	24,63%
Santa Cruz	18,19%	22,09%	24,42%	19,45%	23,73%
Santa Cruz da Baixa Verde	16,97%	14,39%	19,46%	17,53%	14,67%
Santa Filomena	38,35%	27,25%	34,81%	29,06%	30,97%
Santa Terezinha	29,67%	21,16%	21,23%	30,60%	31,23%
São José do Belmonte	20,30%	21,30%	23,28%	17,51%	27,31%
São José do Egito	22,29%	22,83%	26,67%	20,45%	25,54%
Serra Talhada	14,18%	16,71%	17,13%	15,19%	20,05%
Serrita	35,89%	24,02%	33,83%	37,18%	38,88%
Sertânia	28,77%	27,56%	23,72%	17,19%	26,26%
Solidão	19,84%	19,66%	18,35%	11,28%	14,73%
Tabira	20,71%	20,81%	19,52%	16,97%	25,09%
Trindade	20,16%	21,49%	20,97%	20,30%	29,06%
Triunfo	29,02%	21,86%	24,83%	24,41%	31,70%
Tuparetama	20,44%	21,61%	24,77%	22,37%	27,87%
Verdejante	34,70%	28,50%	33,47%	29,20%	46,41%
Afrânio	23,20%	20,72%	21,39%	26,69%	25,57%
Belém do São Francisco	23,10%	21,37%	22,63%	35,24%	22,80%
Cabrobó	40,08%	34,16%	36,81%	63,34%	43,88%
Dormentes	47,05%	25,89%	29,03%	23,68%	31,18%
Floresta	21,52%	21,58%	21,67%	18,20%	19,91%
Itacuruba	14,11%	18,70%	19,24%	14,43%	24,10%
Jatobá	37,05%	36,79%	41,05%	30,22%	38,46%
Lagoa Grande	21,26%	21,01%	21,38%	22,14%	24,39%
Orocó	26,97%	31,88%	33,13%	23,18%	35,17%
Petrolândia	17,73%	21,01%	20,55%	19,42%	25,68%
Petrolina	21,57%	22,12%	22,26%	23,18%	25,42%
Santa Maria da Boa Vista	21,88%	20,75%	25,67%	19,41%	26,79%
Tacaratu	29,48%	24,45%	23,60%	18,62%	29,50%
Terra Nova	20,65%	20,29%	19,62%	19,15%	19,42%
Água Preta	17,95%	19,34%	18,87%	18,88%	19,18%
Aliança	23,04%	21,83%	22,23%	24,92%	32,17%
Barreiros	19,22%	21,33%	22,92%	25,17%	35,39%
Belém de Maria	51,43%	54,51%	53,03%	50,52%	29,86%
Buenos Aires	19,34%	21,60%	21,44%	20,99%	26,62%
Camutanga	19,60%	19,00%	22,18%	20,36%	21,44%
Carpina	22,94%	23,00%	23,35%	28,54%	34,56%
Catende	38,79%	36,92%	39,00%	38,28%	38,28%
Chã de Alegria	20,45%	20,86%	21,32%	34,49%	33,13%
Chã Grande	19,77%	21,64%	21,99%	19,65%	25,40%
Condado	34,04%	21,15%	21,91%	28,21%	29,05%

Escada	20,24%	19,98%	19,21%	15,99%	23,33%
Ferreiros	22,46%	21,06%	21,52%	24,88%	28,57%
Gameleira	19,23%	19,23%	16,16%	16,16%	16,65%
Glória do Goitá	25,00%	22,45%	23,15%	22,21%	35,11%
Goiana	21,58%	19,90%	20,07%	21,31%	22,85%
Itaquitinga	30,69%	21,96%	25,34%	23,39%	33,12%
Joaquim Nabuco	17,80%	17,27%	15,98%	11,02%	19,75%
Lagoa de Itaenga	22,27%	21,60%	24,46%	19,35%	26,13%
Lagoa do Carro	21,65%	21,05%	21,62%	15,59%	29,43%
Macaparana	21,25%	20,84%	20,77%	23,59%	25,86%
Maraial	18,48%	19,16%	19,05%	16,35%	22,77%
Nazaré da Mata	20,90%	20,73%	21,88%	21,49%	27,75%
Palmares	19,28%	18,68%	18,52%	18,63%	19,57%
Paudalho	22,18%	21,98%	19,97%	23,46%	31,80%
Pombos	19,70%	20,71%	22,98%	19,40%	21,36%
Primavera	22,62%	19,90%	19,45%	14,61%	20,36%
Quipapá	21,74%	20,73%	19,57%	31,15%	20,77%
Ribeirão	27,31%	23,82%	27,01%	32,64%	31,68%
Rio Formoso	24,77%	21,46%	22,22%	21,47%	32,78%
São Benedito do Sul	18,14%	20,20%	23,51%	18,10%	28,21%
São José da Coroa Grande	43,42%	34,02%	31,47%	25,84%	55,78%
Sirinhaém	30,19%	28,89%	31,07%	26,29%	50,32%
Tamandaré	27,12%	28,50%	27,16%	25,52%	38,67%
Timbaúba	24,53%	24,66%	26,16%	24,33%	34,31%
Tracunhaém	21,04%	21,47%	21,90%	29,68%	24,47%
Vicência	32,64%	26,96%	27,91%	26,27%	38,68%
Vitória de Santo Antão	21,53%	20,94%	20,95%	26,98%	25,74%
Xexéu	16,09%	16,09%	16,09%	16,09%	9,59%