Avaliação do impacto financeiro da redução de perdas em sistemas de abastecimento de água: estudo de caso – estado do Ceará

Evaluation of the financial impact of reducing losses in water supply systems: a case study in the state of Ceará

Data de entrada: 06/09/2023
Data de aprovação: 26/03/2025

Iran Eduardo Lima Neto[1]* | Samiria Maria Oliveira da Silva[1] | Francisco de Assis de Souza Filho[1] | Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes[1]

DOI: https://doi.org/10.36659/dae.2025.089

Lima Neto IE https://orcid.org/0000-0001-8612-5848
Silva SMO https://orcid.org/0000-0002-8976-7229
Souza Filho FA https://orcid.org/0000-0001-5989-1731
Lopes TMXM https://orcid.org/0000-0002-5575-7073

Resumo

Nesta pesquisa, foram analisadas as perdas físicas e aparentes entre outros indicadores financeiros e operacionais de sistemas de abastecimento de água do estado do Ceará, incluindo 138 municípios com população abastecida inferior a 100 mil habitantes e sete com população abastecida superior a 100 mil habitantes. As perdas físicas referentes à capital do estado do Ceará (Fortaleza) foram da mesma ordem de grandeza das perdas combinadas dos demais municípios avaliados. Por outro lado, os benefícios financeiros referentes à redução das perdas aparentes corresponderam a cerca de 70-90% do total. Além disso, foram ajustadas correlações gerais para descrever os benefícios e custos financeiros gerados pela redução das perdas de água como uma função de três fatores: (1) nível de redução das perdas, (2) fração de retorno do investimento e (3) população abastecida. Realizou-se uma simulação para todos os sistemas operados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), resultando em um benefício líquido total da ordem de R$ 49 milhões por ano, sendo os benefícios referentes aos sistemas de pequeno e grande portes correspondentes a 57 e 43% desse total, respectivamente. Isso mostra a importância de se investir na redução de perdas, tanto em grandes como em pequenos sistemas de abastecimento de água. Finalmente, conclui-se que as correlações propostas podem ser usadas para prever os impactos de redução de perdas de água em sistemas de abastecimento com carência e/ou imprecisão dos dados financeiros e operacionais, bem como auxiliar na gestão integrada dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Análise econômico-financeira. Escassez hídrica. Perdas aparentes. Perdas físicas.

Abstract

This research analyzed the physical and apparent losses and other financial and operational indicators of systems of water supply systems in the state of Ceará, including 138 systems with a supplied population below 100,000 inhabitants and seven municipalities the population of which exceeded 100,000. The physical losses related to the capital of the state of Ceará (Fortaleza) showed the same order of magnitude as the combined losses of the other evaluated municipalities. On the other hand, the financial benefits related to the reduction of apparent losses corresponded to about 70-90% of the total. Moreover, general correlations were adjusted to describe the financial benefits and costs generated by reducing water losses as a function of three factors: (1) level of loss

[1] Universidade Federal do Ceará – Fortaleza – Ceará – Brasil.
* **Autor correspondente:** iran@deha.ufc.br

reduction, (2) fraction of return on investment, and (3) supplied population. A simulation was carried out for all systems operated by Companhia de Água e Esgoto do Ceará*, resulting in a total net benefit of about R$ 49 million per year, with benefits for small and large systems corresponding to 57 and 43% of this total, respectively. This shows the importance of investing in reducing losses in large and small water supply systems. Finally, the proposed correlations can predict the impacts of reducing water losses in supply systems with scarce and/or imprecise financial and operational data and assist the integrated management of water resources.*

Keywords: *Economic-financial analysis. Empirical correlations. Physical losses. Apparent losses.*

1 INTRODUÇÃO

A segurança hídrica é amplamente reconhecida como um desafio político urgente na promoção de saúde pública e conservação ambiental (Jensen; Wu, 2018). Déficits na infraestrutura de abastecimento, dificuldade de acesso a água potável, em quantidade e qualidade, além do baixo acesso à coleta e ao tratamento de esgoto, comprometem tal segurança, exigindo a formulação de políticas assertivas pautadas na gestão integrada dos recursos hídricos.

Em resposta a tal problemática, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 dedicam integralmente um objetivo (ODS 6) à questão dos recursos hídricos, enfatizando a temática na agenda internacional. As metas do ODS 6 se referem ao acesso à água, ao saneamento e à segurança hídrica e avançam no que se refere à qualidade da água, eficiência, gestão integrada e cooperação transfronteiriça. Além disso, tratam da proteção de ecossistemas, ajuda e cooperação internacional e englobam a participação social, tornando a gestão participativa e integrada às necessidades locais e ao desenvolvimento socioeconômico e ambiental (Damkjaer; Taylor, 2017; Galvão; Monteiro, 2019; Vörösmarty *et al.*, 2018).

No que se refere à ineficiência de gestão e comprometimento da segurança hídrica, as perdas em sistemas de abastecimento de água consistem em um problema de ordem mundial, uma vez que representam cerca de 30% a 40% do volume de água produzido, opondo-se aos objetivos do ODS 6 (Hirner; Lambert, 2000; Thornton; Sturm; Kunkel, 2008). Com efeito, a minimização das perdas tem sido um grande desafio aos operadores de sistemas de abastecimento de água públicos e privados (Gamboa-Medina; Reis, 2017; Gumier; Luvizotto Junior, 2007; Kingdom; Liemberger; Marin, 2006; Kusterko *et al.*, 2018; Tardelli Filho, 2016).

Nesse contexto, Liemberger e Wyatt (2019) calcularam a quantidade de perdas a nível mundial utilizando como indicador o volume global de água não faturada (*non revenue* – NRW). Como resultado, eles estimaram um total de 346 milhões m³/dia, onde o Brasil se destaca por apresentar o maior nível de NRW entre os países da América Latina e da região caribenha.

Enfatizando tal conjuntura, os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) evidenciam uma grave carência de investimentos no controle de perdas do Brasil. O SNIS (Brasil, 2019) declarou uma taxa de 39,24% como índice de perdas na distribuição (IN049) a nível nacional; enquanto a International Water Association (IWA) sugere que o limite aceitável de perdas totais no Sistema de Abastecimento de Água não deve exceder os 25%.

O Atlas Água pertencente ao SNIRH aponta que 35% das cidades brasileiras utilizam os recursos hídricos de modo ineficiente e necessitam reduzir os vazamentos, 19% têm potencial para melhorias significativas na gestão de águas e 46% precisam realizar avaliações para confirmar a efetividade das melhorias nos índices de perdas (Brasil, 2020).

Tais perdas se tornam ainda mais relevantes em regiões que sofrem com a escassez hídrica, como o estado do Ceará, que passou recentemente por uma seca severa que durou cerca de oito anos (Sousa, 2019; Ximenes Júnior, 2019). Segundo o relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2019), no referido período, as perdas de água no Ceará chegaram a aproximadamente 45% nos sistemas abastecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

Dessa forma, o atual índice de perdas do Ceará não está em conformidade com a Portaria nº 4.909, de 22 de março de 2021 (Brasil, 2021), que define critérios para o cumprimento do índice de perdas de água na distribuição, como condicionante para a alocação de recursos financeiros da União.

Nesse sentido, é necessário considerar ainda o impacto socioambiental ocasionado pelas perdas no sistema de abastecimento hídrico. Impactos ambientais negativos são gerados em decorrência do mau uso da água, em união ao déficit em manutenção das estruturas e equipamentos de abastecimento, além de ligações clandestinas indevidas e constantes fraudes no sistema (Sousa *et al.*, 2021).

Soma-se a isto o crescimento demográfico, que exige maior atenção do sistema de distribuição, além de maiores exigências nos setores de demanda agrícola e industrial, sendo necessário otimizar o sistema de distribuição do recurso, posto sua dependência ao desenvolvimento socioeconômico da região (Mcdonald *et al.*, 2014; Toth; Bragalli; Neri, 2018). De fato, reduzir as perdas e regularizar as áreas de abastecimento, além de gerar satisfação à população, compreendem a conservação do recurso hídrico, bem como promovem os parâmetros de segurança hídrica, tanto nos aspectos quantitativos, quanto qualitativos.

Em geral, metas de redução das perdas são definidas nos contratos de concessão dos serviços de abastecimento de água e, sobretudo, em planos de saneamento básico (Brasil, 2013; Lima Neto; Santos, 2011). O primeiro passo para a redução de perdas é o processo de avaliação de desempenho do sistema de abastecimento de água. Assim, torna-se imprescindível avaliar os diversos indicadores de eficiência, tais como Índice de Perdas no Faturamento (IPF), Índice de Perdas na Distribuição (IPD), Índice de Perdas por Ligação (Iplig) e Índice de Perdas Lineares (Iplin), com o intuito de diagnosticar os sistemas quanto às suas perdas de água, assim como propor medidas que possam minimizar os seus impactos socioeconômicos e ambientais (Alegre *et al.*, 2006; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Abes, 2013, 2015; Kusterko *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019; Özdemir, 2018; Thornton *et al.*, 2008).

No entanto, dada a carência e/ou imprecisão dos dados referentes a esses indicadores em muitos municípios brasileiros, questiona-se sobre a existência de padrões de comportamento dos benefícios e custos envolvidos com a redução de perdas para municípios de diferentes portes demográficos, além da real possibilidade de prever tais benefícios/custos tomando dados gerais dos sistemas de abastecimento de água, como a população total abastecida. Ainda assim, quantificar as consequências dos eventos de perdas no sistema faz-se necessário no que diz respeito à elaboração de planos de contingência e na formulação de estratégias de mitigação (Hernandez Hernandez; Ormsbee, 2021).

Assim, infere-se que a obtenção de correlações gerais, nesse contexto, mostra-se útil não apenas para a previsão do impacto de redução de perdas em sistemas de abastecimento de água desprovidos de dados acurados sobre os indicadores supracitados (IPF, IPD, Iplig e Iplin), mas também para auxiliar na gestão integrada dos diferentes sistemas operados por uma mesma companhia, promovendo a conservação do recurso e o fomento à segurança hídrica local.

O presente estudo teve como objetivos: (i) investigar as perdas reais e aparentes dentre outros indicadores financeiros e operacionais relevantes de 145 sistemas de abastecimento de água operados pela Cagece, incluindo municípios de pequeno e grande porte; (ii) propor correlações gerais que possam prever os impactos econômicos gerados pela redução dessas perdas para diferentes níveis de eficiência; e (iii) realizar a avaliação temporal dos indicadores e índices. Espera-se que a metodologia proposta também possa ser adaptada e replicada a outros estados e municípios brasileiros, de forma a contribuir a uma gestão mais eficiente do saneamento básico e na promoção da segurança hídrica local.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, compreendendo uma área de 148.886,3 km², equivalente a 9,58% da área pertencente à região Nordeste, contendo cerca de 9,24 milhões de habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2022).

O estado possui infraestrutura hídrica de abastecimento de água tratada composta por reservação, torres de tomada d'água, estações elevatórias, estações de tratamento de água e poços de sucção. Em acordo com o Plano de Segurança Hídrica do Estado, promulgado em 2017, é de responsabilidade da Cagece intensificar os programas de redução das perdas de água, bem como a adoção de práticas que visem minimizar os impactos das secas à população.

2.2 Base de dados

Os dados utilizados nessa pesquisa foram disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), pela Gerência de Controle de Perdas (GCOPE) da Cagece e pelas prefeituras municipais dos respectivos municípios.

Foi avaliada a evolução temporal entre 2011 e 2018 dos seguintes indicadores e índices: Volume de Água Produzido (V_{AP}); Volume de Água Faturado (V_{AF}); Despesas com produtos químicos (D_{PQ}); Despesas com energia elétrica (D_{EE}); Despesas com serviços de terceiros (D_{ST}); Tarifa Média de Água (T_m), Índice de Perdas no Faturamento (IPF); Índice de Perdas na Distribuição (IPD); Índice de Perdas por Ligação (Iplig); e Índice de Perdas Lineares (Iplin).

O IPF avalia em termos percentuais o nível da água não faturada (sem o volume de serviço), portanto afere sobre a água produzida e não faturada. O IPD, apresenta, em termos percentuais, o nível de perdas da água efetivamente consumida em um sistema de abastecimento de água potável. No mais, o Iplin, é um indicador que expressa as perdas de água em m³ por dia e por quilômetro de rede. Enquanto Iplig se configura uma representação do nível de perdas da água efetivamente consumida em termos unitários (l/dia/ligação) (Trata Brasil, 2018).

O Índice de Perdas na Distribuição (IPD) foi utilizado como referência para as análises do impacto de redução das perdas no ganho de volume hídrico e nos benefícios/custos financeiros para a Cagece. Com base no Balanço Hídrico realizado pela companhia, seguindo a metodologia da International Water Association (Alegre *et al.*, 2006), foram obtidos os seguintes percentuais de perdas em função do IPD: percentual de perdas físicas (Pf) e percentual de perdas aparentes (Pa).

A avaliação temporal dos indicadores e índices foi necessária para se identificar tendências e prever cenários futuros considerando um horizonte de planejamento de 30 anos, tanto com relação ao ganho de volume hídrico como aos benefícios/custos financeiros envolvidos com a redução das perdas para diferentes níveis de eficiência.

Em virtude das incertezas econômicas deste ano de 2020, não foram feitas correções monetá-

rias nos benefícios/custos estimados ao longo do horizonte de planejamento. No entanto, são apresentadas a seguir, como referência, duas possíveis taxas de correção anuais: Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) – em torno de 3% – e valores usualmente praticados por agências reguladoras do setor de saneamento básico (5%-10%).

Foi realizada uma análise das perdas de água e do impacto da sua redução para o município de Fortaleza, adotado como exemplo. No entanto, os resultados obtidos para os demais municípios também são discutidos e utilizados posteriormente para obtenção de correlações gerais para previsão dos benefícios e custos envolvidos decorrentes da redução de perdas em diferentes níveis de eficiência. Finalmente, apresenta-se uma extrapolação dos resultados para todos os municípios do Estado do Ceará operados pela Cagece.

2.3 Etapas metodológicas

Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados e informações sobre os sistemas de abastecimento de água de 145 municípios do estado do Ceará abastecidos pela Cagece. Na listagem, foram incluídos desde municípios de grande porte, tais como Caucaia, Fortaleza, Itapipoca, Juazeiro do Norte, Maracanaú, Maranguape e Sobral, cujas populações abastecidas são de respectivamente 363.982, 2.643.247, 128.135, 271.926, 226.128, 127.098 e 206.644 habitantes, como municípios de menor porte, com populações abastecidas variando entre 3.595 e 87.116 habitantes. Logo, neste artigo, definiu-se como municípios de grande porte aqueles com populações abastecidas superiores a 100 mil habitantes e municípios de pequeno porte aqueles com populações abastecidas inferiores a 100 mil habitantes.

Em seguida, foi construída uma avaliação dos diversos indicadores relacionados ao abastecimento de água e as perdas nos sistemas de distribuição. Com base nessa avaliação, foram delineados diferentes cenários de redução das perdas de água com base na avaliação das infraestruturas, possibilidade de implantação de tecnologias e/ou técnicas, melhoria das instalações, modificação de procedimentos operacionais e implementação de programas de mitigação das perdas. Assim, foram propostos os seguintes níveis de redução das perdas de distribuição de água (R) em relação ao padrão histórico de referência: (i) cenário normativo, com a implantação de meta prevista pela Cagece de redução do IPD de referência em 20%; e (ii) demais cenários com a efetivação de medidas mitigadoras das perdas de água incluindo reduções do IPD de referência de 10%, 30%, 40% e 50%.

Foram analisados diferentes cenários de ganho de volume de água ao longo do horizonte de planejamento em função de diferentes níveis de redução das perdas físicas, de acordo com a Equação 1:

$$\text{Ganho de volume} = R \times P_f \times V_{AP} \quad (1)$$

Além disso, foram avaliadas diferentes frações de retorno do investimento (f) a ser realizado no combate às perdas de água, visando estimar os benefícios e custos financeiros para a Cagece ao longo dos anos. As equações 2 a 6 foram utilizadas neste cálculo:

$$\text{Benefício líquido} = f \times \text{Benefício Bruto} \quad (2)$$

$$\text{Custo} = (1 - f) \times \text{Benefício Bruto} \quad (3)$$

$$\text{Benefício Bruto} = \text{Benefício bruto}_{\text{perdas físicas}} + \text{Benefício bruto}_{\text{perdas aparentes}} \quad (4)$$

$$\text{Benefício bruto}_{\text{perdas físicas}} = (D_{PQ} + D_{EE} + 0.2 \times D_{ST}) \times R \times P_f \quad (5)$$

$$\text{Benefício bruto}_{\text{perdas aparentes}} = T_m \times R \times P_A \times V_{AP} \quad (6)$$

Para o caso dos serviços de terceiros (D_{ST}), considerou-se uma parcela de 20% do total gasto como equivalente a manutenções operacionais a serem reduzidas com as quedas nas perdas físicas (Abes, 2013, 2015; Oliveira *et al.*, 2019). Assim, foram propostos os seguintes cenários de retorno

do investimento: (i) cenário de normativo com a adoção de uma fração típica de retorno do investimento (f = 50%), com base em estudos anteriores (Abes, 2013, 2015; Oliveira *et al.*, 2019), em que o custo do programa de redução de perdas correspondeu a cerca de 50% do seu benefício; e (ii) demais cenários, com a adesão de programas de redução de perdas com baixa e elevada eficiência, resultando em frações de retorno do investimento (f) de 25 e 75%, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os diferentes cenários de redução das perdas de água e de retorno do investimento adotados neste estudo para avaliação do ganho de volume e dos benefícios e custos financeiros ao longo do horizonte de planejamento.

Tabela 1 – Cenários de redução das perdas de água e de retorno do investimento adotados.

Grupo	Cenário	Redução do IPD – R (%)	Fração de retorno do investimento – f (%)
1	R50B25	50	25
	R40B25	40	25
	R30B25	30	25
	R20B25	20	25
	R10B25	10	25
2	R50B50	50	50
	R40B50	40	50
	R30B50	30	50
	R20B50	20	50
	R10B50	10	50
3	R50B75	50	75
	R40B75	40	75
	R30B75	30	75
	R20B75	20	75
	R10B75	10	75

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostrados na Figura 1, verificou-se para o período entre 2011 e 2018 que o Índice de Perdas no Faturamento (IPF), Índice de Perdas na Distribuição (IPD), Índice de Perdas por Ligação (Iplig) e Índice de Perdas Lineares (Iplin) em Fortaleza oscilaram em torno de valores médios de 32%, 45%, 59 m³/dia/km e 379 L/dia/ligação, respectivamente.

Observou-se que os valores obtidos são próximos às médias nacionais (Abes, 2013, 2015; Gumier; Luvizotto Junior, 2007; Oliveira *et al.*, 2019; Tardelli Filho, 2016), mas consistentemente superiores aos reportados por países desenvolvidos (Hirner; Lambert, 2000; Thornton *et al.*, 2008). Somado a isso, valores e padrões semelhantes aos de Fortaleza foram observados nos demais municípios de grande porte analisados nesta pesquisa, ou seja, com população abastecida superior a 100.000 habitantes. Em contrapartida, os municípios de menor porte (população abastecida < 100.000 habitantes) apresentaram em geral valores bem distintos.

O IPF apresentou ora valores bastante elevados (60%) em alguns municípios e ora valores negativos em outros municípios, resultando em uma média de 11%. O Iplig e o Iplin apresentaram valores em torno de 16 m³/dia/km e 179 L/dia/ligação, respectivamente. Já o IPD médio (38%), foi da mesma ordem de grandeza dos valores observados nos municípios de grande porte.

A Figura 2 mostra uma síntese do balanço hídrico realizado pela Cagece para o município de Fortaleza, seguindo a metodologia da International Water Association (Alegre *et al.*, 2006). Confirma-se a percentagem de perdas totais da ordem de 55%, sendo as perdas físicas e aparentes em torno de 27% e 18%, respectivamente. Ressalta-se que esses percentuais são consistentes com as recomendações do Banco Mundial para estudos de perdas de água em países em desenvolvimento (Kingdom; Liemberger; Marin, 2006). Ademais, percentuais semelhantes também foram reportados anteriormente para cidades brasileiras (Oliveira *et al.*, 2019; Tardelli Filho, 2016).

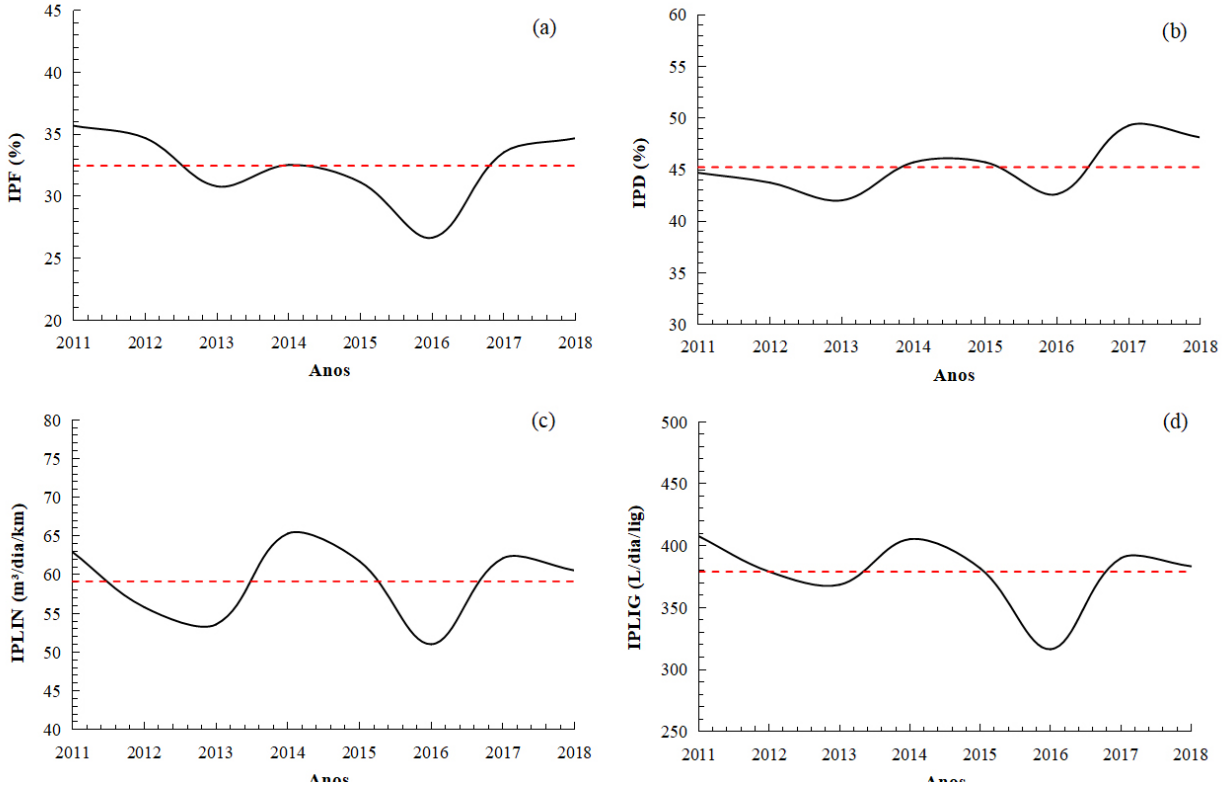

Figura 1 – Variação temporal do Índice de Perdas no Faturamento (IPF), Índice de Perdas na Distribuição (IPD), Índice de Perdas por Ligação (Iplig) e Índice de Perdas Lineares (Iplin) no sistema de abastecimento de água de Fortaleza para o período entre 2011 e 2018.

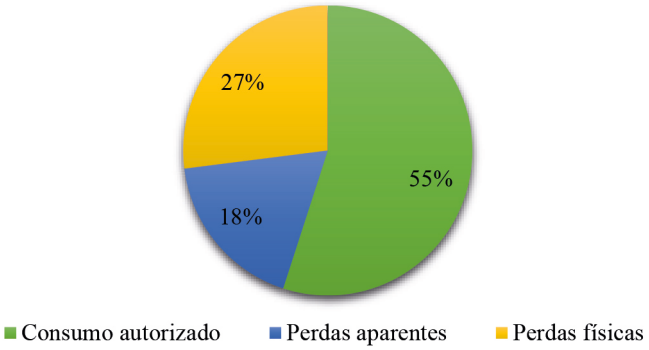

Figura 2 – Síntese do Balanço Hídrico realizado pela Cagece para o sistema de abastecimento de água de Fortaleza, seguindo a metodologia da International Water Association (IWA).

Diante do exposto, os percentuais supracitados foram considerados como referência para a previsão dos cenários ao longo do horizonte de planejamento de 30 anos e obtenção de correlações gerais para avaliação do impacto de redução de perdas de água nos benefícios e custos envolvidos. O mesmo procedimento foi adotado para os demais municípios.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a variação dos diferentes indicadores do sistema de abastecimento de água de Fortaleza, obtidos do SNIS, considerando o cenário normativo R20B50 (ver Tabela 1),

ou seja, uma redução de perdas R = 20% (Pf = 21.6% e Pa = 14.4%) e um retorno do investimento f = 50% (Benefício líquido = Custo do programa de redução de perdas = 50% do Benefício bruto).

Os resultados indicam custos com programas de redução de perdas variando entre 9,14 e 15,5 milhões por ano. Esses valores são consistentes com o montante previsto no Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza (PMSB) para os referidos programas, de 14,3 milhões por ano (Fortaleza, 2014a, 2014b, 2014c). Além disso, pode-se observar também que os benefícios líquidos referentes à redução das perdas aparentes correspondem a cerca de 85% do total. Tal percentual variou entre aproximadamente 70% e 90% para os demais sistemas de abastecimento de água avaliados nesta pesquisa, corroborando os resultados apresentados por Oliveira *et al.* (2019).

Tabela 2 – Evolução temporal dos diferentes indicadores do sistema de abastecimento de água de Fortaleza, considerando o cenário normativo (R = 20% e f = 50%).

Ano	V_{AP} ($10^6 m^3$)	V_{AF} ($10^6 m^3$)	D_{PO} (10^6R$)	D_{EE} (10^6R$)	D_{ST} (10^6R$)	T_m (R$/m³)
2018	191,1	124,8	26,02	38,4	107,42	3,83
2017	189,8	126,1	24,75	36,63	101,91	3,28
2016	178,2	130,6	17,09	33,91	94,72	2,95
2015	197,9	136,2	19,4	42,33	79,47	2,49
2014	216	139,2	22,52	25,18	66,46	2,5
2013	208,2	137,3	19,28	22,08	69,63	2,39
2012	214,2	133,7	18,27	28,17	63,84	2,19
2011	235,2	144,6	21,35	24,78	58,15	1,79

Tabela 3 – Evolução temporal dos volumes e benefícios do sistema de abastecimento de água de Fortaleza, considerando o cenário normativo (R = 20% e f = 50%).

Ano	VRPF (m^3x10^6)	BRPF (R$x10^6$)	VRPA (m^3x10^6)	BRPA (R$x10^6$)	BBT (R$x10^6$)	BLT (R$x10^6$)	CPRP (R$x10^6$)
2018	10,32	4,64	6,88	26,35	30,99	15,5	15,5
2017	10,25	4,42	6,83	22,41	26,83	13,41	13,41
2016	9,62	3,78	6,41	18,92	22,7	11,35	11,35
2015	10,68	4,19	7,12	17,74	21,93	10,96	10,96
2014	11,66	3,29	7,78	19,44	22,73	11,37	11,37
2013	11,24	2,99	7,49	17,91	20,89	10,45	10,45
2012	11,57	3,2	7,71	16,89	20,09	10,04	10,04
2011	12,7	3,12	8,47	15,16	18,28	9,14	9,14

VRPF: volume de ref. perdas físicas; BRPF: benefício ref. perdas físicas; VRPA: volume de ref. perdas aparentes; BRPA: benefício ref. perdas aparentes; BBT: benefício bruto total; BLT: benefício líquido total; CPRP: custo do programa red. perdas.

Figura 3 expõe que a relação entre o Benefício Líquido com a redução das perdas de água e o Faturamento da Cagece (= V_{AF} x T_m) (ver Tabela 3) apresentou entre os anos de 2011 e 2018 uma leve oscilação em torno da média de 3.3%. Portanto, assumiu-se que esse padrão seria reproduzido ao longo do horizonte de planejamento, o que permitiu a extrapolação dos resultados do ano de 2018 até o ano de 2050. Cabe salientar que tal extrapolação foi considerada em todos os cenários apresentados na Tabela 1. O mesmo foi feito para os demais municípios considerados neste estudo.

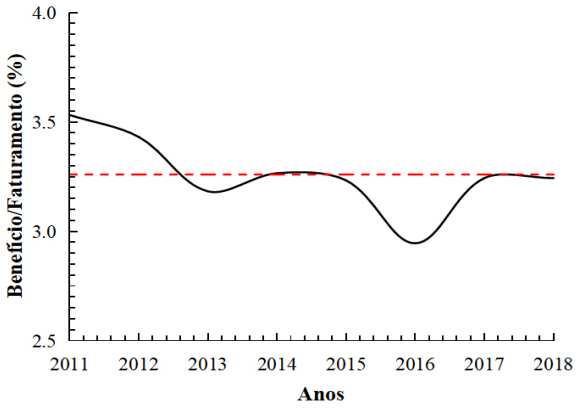

Figura 3 – Relação entre o Benefício Líquido e o Faturamento da Cagece entre 2011 e 2018 para o município de Fortaleza.

A Figura 4 apresenta a projeção das perdas de volume de água para cada cenário de redução de perdas físicas. Considerando o cenário normativo (R20B50), até o ano de 2050, a Cagece perderia cerca de 1,280 milhão de m³, o que geraria uma economia de 320 milhões de m³ em comparação com o cenário sem redução de perdas (1,6 milhão de m³). Cabe salientar que esse volume corresponde a aproximadamente 10 vezes a capacidade do reservatório Gavião (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, s.d), principal corpo hídrico usado para o abastecimento de Fortaleza. Ressalta-se, ainda, que a economia com os demais municípios combinados seria da mesma ordem de grandeza (300 milhões de m³).

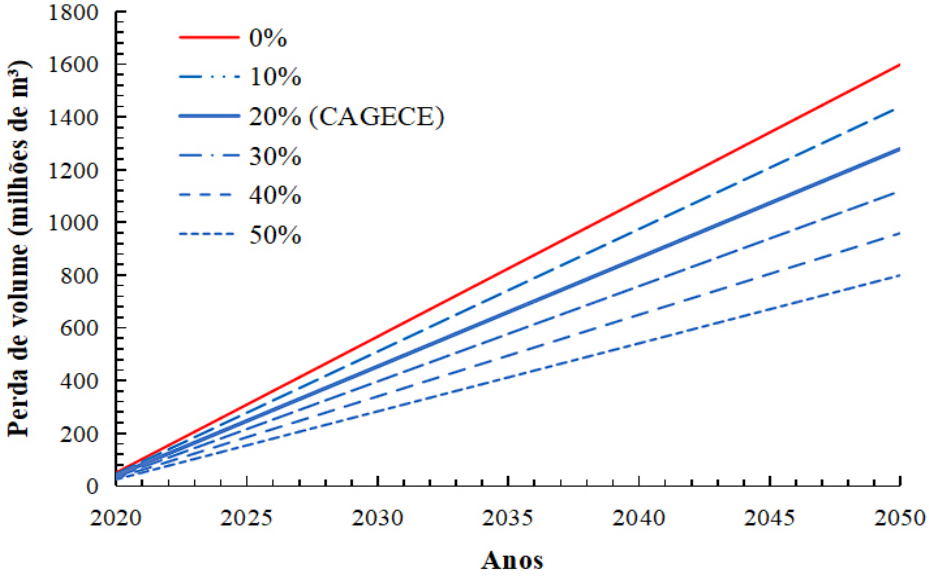

Figura 4 – Projeção das perdas de volume de água para cada cenário de redução de perdas físicas para o município de Fortaleza.

A Figura 5 exibe os ajustes do Benefício líquido anual como uma função do nível de redução das perdas (R) e da fração de retorno do investimento (f) para o sistema de abastecimento de água de Fortaleza. Já a Figura 6 mostra as projeções de Benefício líquido acumulado ao longo do horizonte de planejamento para f = 50%. Os resultados obtidos sugerem para o cenário normativo (R20B50) um benefício líquido acumulado em torno de R$ 465 milhões. Considerando os demais cenários indicados na Tabela 1, essa economia pode variar de R$ 116 milhões a 1,74 bilhão.

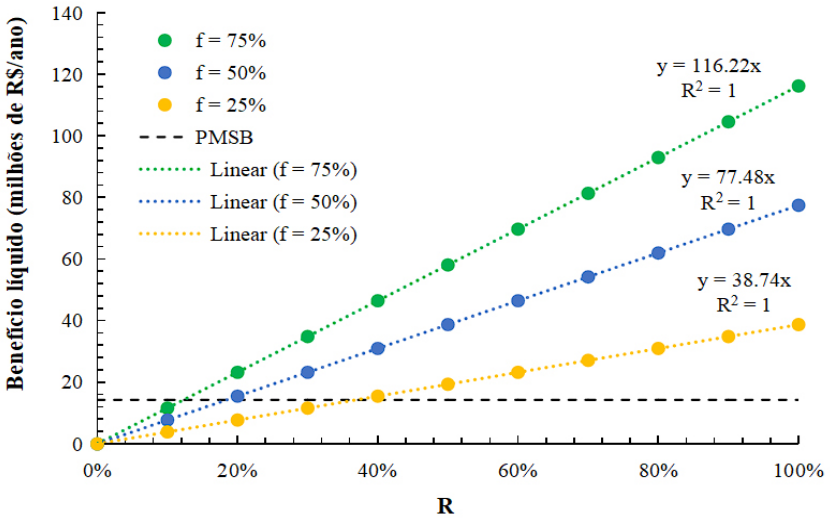

Figura 5 – Correlação entre o Benefício líquido anual e o nível de redução das perdas (R) para diferentes frações de retorno do investimento (f) para o município de Fortaleza.

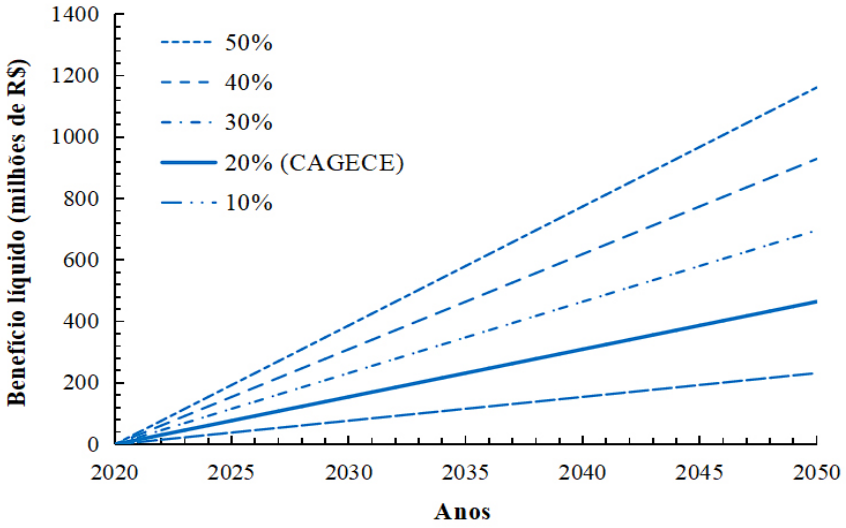

Figura 6 – Projeção dos Benefícios líquidos acumulados ao longo do horizonte de planejamento para diferentes níveis de redução das perdas (R) e para um retorno do investimento f = 50% para o município de Fortaleza.

Ao aplicar os mesmos procedimentos para os demais municípios combinados, percebe-se que a economia pode variar de aproximadamente R$ 210 milhões a 3,15 bilhões para os diferentes cenários da Tabela 1, sendo o benefício líquido acumulado em torno de R$ 840 milhões considerando o cenário normativo (R20B50). Tal resultado ressalta a importância de se investir também na redução de perdas de pequenos sistemas de abastecimento de água, uma vez que o ganho em escala por superar os ganhos de grandes sistemas.

Combinando-se os dados produzidos neste estudo para os 145 municípios avaliados, foi possível ajustar as correlações gerais expressas pelas equações 7 e 8 para os Benefícios líquidos e Custos anuais em função do nível de redução das perdas (R), da fração de retorno do investimento (f) e do porte dos municípios:

$$\text{Benefício (milhões de R\$/ano)} = \alpha \times f \times R \quad (7)$$

$$\text{Custo (milhões de R\$/ano)} = \alpha \times (1 - f) \times R \quad (8)$$

Em que o fator α pode ser estimado com base na população atendida, conforme as equações 9 e 10, ajustadas na Figura 7:

$$\alpha = 0.0254 \times (\text{População atendida}) \ (<100{,}000 \text{ habitantes}) \quad (9)$$

$$\alpha = 0.0601 \times (\text{População atendida}) - 4.2482 \ (>100{,}000 \text{ habitantes}) \quad (10)$$

As correlações propostas podem ser usadas para prever os benefícios e custos envolvidos para diferentes níveis de eficiência de programas de redução das perdas, notadamente em municípios desprovidos de dados acurados sobre os indicadores de desempenhos avaliados. Além disso, essas correlações podem também auxiliar na gestão integrada e otimização dos diferentes sistemas operados por uma mesma companhia de abastecimento de água.

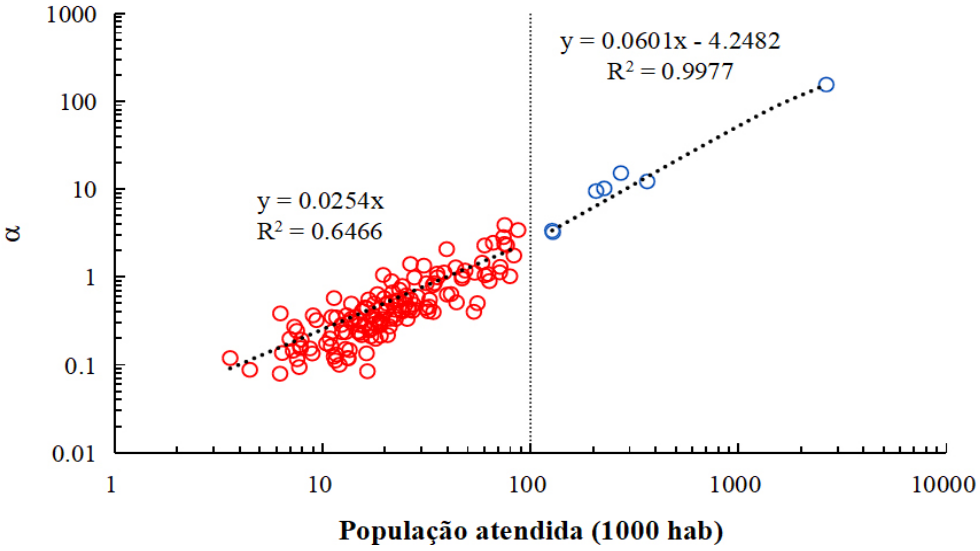

Figura 7 – Correlações ajustadas para o fator α como funções da população atendida.

Logo, como exemplo de aplicação dos resultados obtidos neste estudo, pode-se utilizar as equações 9 e 10 para estimar os Benefícios e Custos anuais em função dos diferentes níveis de redução das perdas (R) e frações de retorno do investimento (f) para os sistemas de abastecimento de água operados pela Cagece. Desse modo, adotando como referência o cenário normativo (R = 20% e f = 50%), obtém-se um Benefício líquido total da ordem de 49 milhões de R$ por ano, sendo o benefício referente aos municípios de grande porte em torno de 43% do total, enquanto nos municípios de pequeno porte, seria em torno de 57% do total. Por fim, esses resultados reforçam a importância de se investir na redução de perdas, tanto em grandes como em pequenos sistemas de abastecimento de água.

4 CONCLUSÕES

Este estudo investigou as perdas reais e aparentes dentre outros indicadores de desempenho de 145 sistemas de abastecimento de água operados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), incluindo municípios de pequeno porte (com população abastecida inferior a 100 mil habitantes) e grande porte (com população abastecida superior a 100 mil habitantes). As perdas físicas referentes a Fortaleza (capital do Ceará)

foram da mesma ordem de grandeza das perdas combinadas dos demais municípios operados pela Cagece. Observou-se também que os benefícios líquidos referentes à redução das perdas aparentes corresponderam a cerca de 70%-90% do total. Ademais, foram obtidas correlações gerais para descrever os benefícios e custos financeiros gerados pela redução das perdas de água como uma função de três fatores: (i) nível de redução das perdas; (ii) fração de retorno do investimento; e (iii) população abastecida.

Foi apresentada uma aplicação da metodologia proposta para todos os sistemas de abastecimento de água operados pela Cagece. Logo, considerando-se a meta de redução de perdas da Cagece de 20% e uma fração típica de retorno do investimento de 50%, obteve-se um benefício líquido total da ordem de R$ 49 milhões por ano, sendo o benefício referente aos municípios de grande porte da ordem de R$ 21 milhões por ano, enquanto o benefício referente aos municípios de pequeno porte seria da ordem de R$ 28 milhões por ano. Isso indica a relevância de se investir na redução de perdas, tanto em grandes como em pequenos sistemas de abastecimento de água.

Por fim, pode-se dizer que as correlações propostas nesta pesquisa podem ser usadas potencialmente para prever os impactos de redução de perdas de água em sistemas de abastecimento com carência e/ou imprecisão dos dados financeiros e operacionais, bem como auxiliar na gestão integrada dos diferentes sistemas operados por uma mesma companhia.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Lima Neto IE; **Metodologia:** Lima Neto IE; **Investigação:** Lima Neto IE; **Redação - Primeira versão:** Lima Neto IE; **Redação - Revisão & Edição:** Silva SMO, Lopes TMXM; **Aquisição de Financiamento:** Souza Filho FA; **Recursos:** Lima Neto IE, Silva SMO, Souza Filho FA.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) pelo apoio técnico e fornecimento dos dados para a presente pesquisa, à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) (Processo nº 11098079/2019) pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo nº 307680/2023-1) pela bolsa de produtividade em pesquisa do primeiro autor.

7 REFERÊNCIAS

ALEGRE, H. *et al.* **Performance indicators for water supply services**. London: IWA Publishing, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro; Abes, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em sistemas de abastecimento de água**: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. Rio de Janeiro: Abes, 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico**: PLANSAB. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília, DF: SNIS, 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, DF: SNIS, 2020.

BRASIL. Presidência da República. **Portaria nº 490, de 22 de março de 2021**. Brasília, DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-490-de-22-de-marco-de-2021-309988760. Acesso em: 19 nov. 2021.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS – COGERH. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: http://www.hidro.ce.gov.br. Acesso em: 15 dez. 2020.

DAMKJAER, S.; TAYLOR, R. The measurement of water scarcity: defining a meaningful indicator. **Ambio**, [*s. l.*], v. 46, n. 5, p. 513-531, 2017. DOI: 10.1007/s13280-017-0912-z.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza**: diagnóstico do sistema de abastecimento de água. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2014a.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza**: prognóstico dos serviços de abastecimento de água. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2014b.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza**. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2014c.

GALVÃO, T. G.; MONTEIRO, G. A. ODS 6 "Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos". *In*: MENEZES, H. Z. (org.). **Os objetivos de desenvolvimento sustentável e as relações internacionais**. João Pessoa: Editora UFPB, 2019.

GAMBOA-MEDINA, M. M.; REIS, L. F. R. Sampling design for leak detection in water distribution networks. **Procedia Engineering**, [*s. l.*], v. 186, p. 460-469, 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.255.

GUMIER, C. C.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 32-41, 2007. DOI: 10.1590/S1413-41522007000100005.

HERNANDEZ HERNANDEZ, E.; ORMSBEE, L. Segment-based assessment of consequences of failure on water distribution systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [*s. l.*], v. 147, n. 4, 04021009, 2021. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001340.

HIRNER, W.; LAMBERT, A. Losses from water supply systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. **The Blue Pages – IWA**, London, v. 10, n. 3, p. 273-284, 2000. Disponível em: www.iwahq.org.uk/bluepages. Acesso em: 21 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2022**: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br. Acesso em: 17 abr. 2025.

JENSEN, O.; WU, H. Urban water security indicators: Development and pilot. **Environmental Science & Policy**, [*s. l.*], v. 83, p. 33-45, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.02.003.

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.*], v. 8, p. 1-52, 2006. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17238. Acesso em: 20 dez. 2020.

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. DOI: 10.1590/s1413-41522018156436.

LIEMBERGER, R.; WYATT, A. Quantifying the global nonrevenue water problem water supply. **Water Supply**, [*s. l.*], v. 19, n. 3, p. 831-837, 2019. DOI: 10.2166/ws.2018.129

LIMA NETO, I. E.; SANTOS, A. B. Planos de saneamento básico. *In*: PHILIPPI JR., A.; GALVÃO JR., A. C. (org.). **Gestão do saneamento básico**: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Barueri: Manole, 2011. p. 57-79.

MCDONALD, R. I. *et al*. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, [*s. l.*], v. 27, p. 96-105, 2014. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022.

OLIVEIRA, G. *et al*. . **Perdas de água (SNIS 2017)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. São Paulo: GO Associados, 2019. 68 p.

ÖZDEMIR, Ö. Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. **Environmental monitoring and assessment**, [*s. l.*], v. 190, n. 4, p. 1-10, 2018. DOI: 10.1007/s10661-018-6559-9.

SOUSA, J. R. **Análise do padrão de pressões e de correlações empíricas para caracterização de vazamentos na rede de distribuição de água de Fortaleza/CE**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/47383. Acesso em: 20 dez. 2020.

SOUSA, L. D. D. J. *et al*. Regularização do sistema de abastecimento de água do município de São Paulo: redução de perdas e responsabilidade socioambiental. **Revista Expressão da Estácio**, São Paulo, v. 4, n. 1, 2021.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, São Paulo, v. 64, n. 201, p. 6-20, 2016.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water loss control**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

TOTH, E.; BRAGALLI, C.; NERI, M. Assessing the significance of tourism and climate on residential water demand: Panel-data analysis and non-linear modelling of monthly water consumptions. **Environmental Modelling & Software**, [*s. l.*], v. 103, p. 52-61, 2018. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.01.011.

TRATA BRASIL. **Perdas de água 2018 (Snis 2016)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do sanea-

mento básico. São Paulo: Trata Brasil, 2018. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf. Acesso em: 10 fev. 2021.

VÖRÖSMARTY, C. J. *et al*. Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs). **Ecohydrology & Hydrobiology**, [*s. l.*], v. 18, n. 4, p. 317-333, 2018. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2018.07.004.

XIMENES JÚNIOR, C. L. **Detecção de vazamentos em redes de abastecimento de água através da utilização de séries de pressão e controle estatístico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/48023. Acesso em: 20 dez. 2020.