



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.8.3.2023.5465.212-225



Avaliação e potencial de redução de perdas de água em cidades do Estado de Pernambuco com escassez hídrica e abastecimento intermitente

Evaluation and potential for water loss reduction in two Brazilian cities with water scarcity and intermittent supply

Amanda Almeida de Oliveira Figueiredo^a, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral^a, Simone Rosa da Silva^a, Saulo de Tarso Marques Bezerra^b

^a Universidade de Pernambuco-UPE, Escola Politécnica de Pernambuco-POLI, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Rua Benfica, n. 455, Madalena, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 50720-001. E-mail: amanda.almeida93@hotmail.com, jaimcabral@poli.br, simonerosa@poli.br.

^b Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Campus do Agreste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Av. Marielle Franco, KM 59, s/n, Nova Caruaru, Caruaru, Pernambuco, Brasil. CEP: 55014-900. E-mail: saulo.tarso@ufpe.br.

ARTICLE INFO

Recebido 16 Jan 2023

Aceito 27 Jul 2023

Publicado 23 Ago 2023

ABSTRACT

Several cities in Brazil's Northeast have prolonged drought and water scarcity periods. Thus, these cities adopt intermittent water supply as an alternative to save water during drought periods. Despite this situation, the rate of water loss exceeds 50%. Therefore, more than half of all water supply to these cities was lost. The study analyzed the water distribution system in Caruaru and Salgueiro cities, proposing alternatives to mitigate the effects of water scarcity and intermittent supply with water loss reduction. The research methodology consisted of data collection, database statistics analysis, calculating of performance indicators, and results comparisons. From 2012 to 2016, water losses were 72.25 million m³ in these cities, representing approximately 50% of the water produced by the sanitation company. The water loss index in Caruaru was over 50% for several months and exceeded 25% over the entire period in Salgueiro. The results have demonstrated the potential for implementing loss control programs; intermittency supply has detrimental impacts on the physical integrity of water mains, culminating in an ineffective rationing measure.

Keywords: Water resources, sanitation, water supply system, water losses, performance indicators, hydraulic efficiency.

RESUMO

Diversas cidades no Agreste e Sertão do Estado de Pernambuco apresentam períodos prolongados de seca e escassez hídrica. Assim, essas cidades adotaram um regime de fornecimento intermitente de água, como alternativa para economizá-la durante os períodos de seca. Apesar dessa situação, o índice de perdas de água na distribuição supera os 50%, ou seja, perde-se mais da metade de toda a água tratada que é fornecida para o abastecimento destas cidades. O estudo analisou o sistema de distribuição de água das cidades de Caruaru e Salgueiro (Estado de Pernambuco), propondo alternativas para mitigar os efeitos da escassez hídrica e da intermitência do abastecimento por meio do combate às perdas de água. A metodologia consistiu no levantamento de dados, pesquisa documental, cálculo de indicadores de desempenho e análise dos resultados. No período de 2012 a 2016, o volume de água perdido totalizou 72,25 milhões de m³ nessas cidades, representando quase 50% da produção de água da concessionária. O índice de perdas, em Caruaru, foi superior a 50% durante vários meses e, em Salgueiro, superou 25% em todo o período avaliado. Os resultados demonstraram um potencial para implantação de programas de



combate às perdas e que a intermitência possui um efeito prejudicial sobre a integridade física da rede, culminando em uma medida não efetiva para o racionamento.

Palavras-Chave: Recursos hídricos, saneamento, sistema de abastecimento de água, perdas de água, indicadores de desempenho, eficiência hidráulica.

Introdução

Centenas de milhões de pessoas em países de baixa e média renda recebem água para o consumo doméstico por meio de sistemas de distribuição de água (WDS) por períodos limitados, em uma prática conhecida como regime de fornecimento intermitente de água (IWS) (Galaitis et al., 2016). De acordo com uma estimativa da Organização Mundial de Saúde (OMS), um terço da população abastecida por WDS na América Latina e África, e mais da metade na Ásia recebem água com um regime IWS (WHO & UNICEF, 2000). Segundo Danilenko & Berg (2011), estima-se que, ao menos 309 milhões de pessoas, sejam supridas por empresas que fornecem água no regime IWS. Laspidou & Spyropoulou (2017) acreditam que 41% dos WDS em países de renda baixa e média operam no regime IWS.

Generalizar a natureza do IWS é um desafio, pois sua ocorrência e características variam em diferentes partes do mundo. De acordo com Galaitis et al. (2016), não existem WDS urbanos projetados intencionalmente para o fornecimento intermitente. Acontece que os sistemas que inicialmente forneciam de forma contínua, com o tempo perderam a capacidade para atender à demanda do consumidor em todo o sistema por causa de cenários insustentáveis. O IWS pode ser causado por recursos hídricos insuficientes, infraestrutura inadequada, expansão não planejada da rede, perdas de água excessivas ou uma combinação desses fatores (Galaitis et al., 2016; Kumpel & Nelson, 2016; Erickson et al., 2017).

Laspidou et al. (2017) resumiram as causas para adoção do IWS em: escassez de água, rápido crescimento da população, acelerado aumento da demanda por urbanização, falta de planejamento e ausência de consciência. Os pesquisadores enumeram as consequências e implicações práticas do IWS que consistem em: contaminação da água e perigo para a saúde, desperdício, as redes não funcionam como projetadas, fornecimento desigual dentro da rede, inconveniência e altos custos para os consumidores, dependência sazonal, maiores dificuldades na detecção e correção de vazamentos, operações ineficientes, utilização de mais mão-de-obra, desgaste acelerado das instalações e o mau funcionamento nos hidrômetros.

Charalambous & Liemberger (2017) esclarecem que o IWS é aplicado não apenas nos casos em que há escassez hídrica, mas também quando a capacidade hidráulica das redes de distribuição não pode satisfazer a demanda, bem como nos casos em que o WDS está gravemente deteriorado, resultando em numerosos vazamentos. Entretanto, nesses casos pode haver intervenções alternativas para proporcionar economia de água, sem os problemas que acompanham a pressurização e despressurização da rede de distribuição (Mckenzie, 2016).

Confrontados com períodos prolongados de seca e falta de água, os países de clima árido recorreram com frequência ao regime IWS como alternativa para economizar água durante os períodos de seca, pois reduzem o consumo por meio do fornecimento limitado de água aos consumidores (Agathokleous & Christodoulou, 2016). O Nordeste do Brasil se enquadra nestas condições, pois é uma das regiões mais castigadas com a escassez hídrica nos últimos anos. Essa circunstância reflete na não garantia de oferta de água, principalmente, para abastecimento humano, contribuindo para insegurança hídrica da população, submetendo as cidades ao regime do IWS. Este cenário acarreta soluções alternativas adotadas pelos consumidores para conviver com a falta de água, como recorrer a outras fontes para o suprimento das demandas hídricas e armazenamento em reservatórios domiciliares.

Apesar dessa situação de escassez, o índice de perdas de água na distribuição nos WDS do Nordeste é um dos mais altos do Brasil com 46,26% de perdas em 2016, ficando bem acima do índice aceitável e do valor médio nacional, que é de 38,05% (Brasil, 2018). A realidade em Pernambuco também é difícil, com a empresa responsável pelo abastecimento do estado apresentando um índice de 52,64% (Brasil, 2018), ou seja, perde mais da metade de toda a água tratada que é fornecida para o abastecimento das cidades.

Entretanto, sabe-se que essas perdas de água podem ser subdivididas em dois componentes principais: reais e aparentes. As perdas reais (ou perdas físicas) referem-se à água que escapa nos canos e outras conexões através dos vazamentos (Al-Washali, Sharma & Kennedy, 2016). As perdas aparentes (ou perdas comerciais) implica na água que não foi fisicamente perdida, mas usada

por um cliente que não paga, ou seja, incluem o uso de água ilegal, falha na leitura em hidrômetros dos clientes, manipulação de dados e erros de faturamento (Figueiredo, 2019).

Em virtude das características geográficas da região Nordeste, a água disponível precisa ser aproveitada ao máximo, sendo uma das alternativas eficazes para tal o controle das perdas de água durante o processo de captação até o abastecimento da população (Cambrinha & Fontana, 2015). Nas últimas décadas, notou-se um crescente investimento no combate às perdas de água por meio da redução do volume de água perdido nas etapas de captação, tratamento e principalmente de distribuição (Dutra & Oliveira, 2017). Entretanto, não existem muitos estudos na literatura dando ênfase ao combate de perdas de água em abastecimentos intermitentes, realidade histórica do Nordeste brasileiro.

O estudo objetivou analisar o sistema de distribuição de água das cidades de Caruaru e Salgueiro em Pernambuco, propondo alternativas para mitigar os efeitos da escassez hídrica e do IWS por meio do combate às perdas de água.

Material e Métodos

Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016, o Nordeste brasileiro possui 1,56 milhões de km² (18,2% do território nacional) e tem uma população, aproximadamente, 57,36 milhões de habitantes (27,62% dos habitantes do país). Isto representa um grande contingente populacional para a baixa disponibilidade hídrica da região, por isso, esta é conhecida por secas periódicas prolongadas que ocorrem a cada cinco ou dez anos. Também, no Nordeste, em 2016, 66,6% dos domicílios ligados à rede tinham disponibilidade diária de água, porém, em 16,3% dos domicílios o abastecimento ocorria de uma a três vezes por semana e em 11,2% dos lares de quatro a seis vezes (IBGE, 2017).

As cidades de Caruaru e Salgueiro localizam-se na região Nordeste do Brasil, no Estado de Pernambuco. De acordo com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Brasil, 2005a), o município de Caruaru encontra-se na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipojuca de Pernambuco (latitude 8°17'00" e longitude 35°58'34"), limitando-se a norte com Toritama, Vertentes, Frei Miguelinho e Taquaritinga do Norte, a sul com Altinho e Agrestina, a Leste com Bezerros e Riacho das Almas, e a oeste com Brejo da Madre de Deus e São Caetano. A área municipal ocupa 928,1 km² e representa 0,94% do Estado de Pernambuco (Figura 1). Caruaru exerce um importante papel centralizador no Agreste

pernambucano, concentrando o principal polo médico-hospitalar, acadêmico, cultural e turístico da região. Tradicionalmente, é conhecida nacionalmente por possuir uma concorrida festa junina, ter uma das maiores feiras ao ar livre do Brasil e desenvolver artesanato com barro.

O município de Salgueiro está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Médio Capibaribe do Estado de Pernambuco (latitude 08°04'01" e longitude 39°07'11"), limitando-se a norte com o Estado do Ceará, a sul com Belém do São Francisco, a Leste com Verdejante, Mirandiba e Carnaubeira Penha, e a oeste com Cabrobó, Terra Nova, Serrita e Cedro (Brasil, 2005b). A área municipal ocupa 1726,4 km² e representa 1,75% do Estado de Pernambuco (Figura 1). Produção agrícola e comércio consistem nas atividades econômicas preponderantes em Salgueiro, tendo uma localização geográfica estratégica, logisticamente, devido ao fácil acesso a cidade do Recife, o Porto de Suape e a Ferrovia Transnordestina.

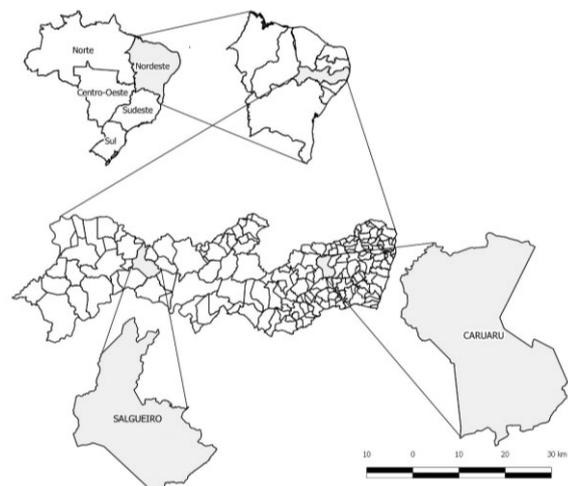


Figura 1. Mapa de localização dos municípios de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

De acordo com o censo demográfico realizado pelo IBGE (2010), Caruaru tinha uma população de 314.912 habitantes, dos quais 89% residiam em áreas urbanas e 11% na zona rural. A população de Salgueiro obtida por meio do censo foi de 56.629 habitantes, tendo 80% das pessoas morando na zona urbana e 20% na rural.

Caruaru e Salgueiro estão inseridas em uma região com graves dificuldades de abastecimento de água da população e crise hídrica na agricultura. No final de 2010, iniciou-se uma seca hidrológica no Nordeste do Brasil, afetando o Agreste e Sertão pernambucano, agravando-se a partir de 2012 e estendendo-se até 2017. Devido à escassez de chuva, as fontes de abastecimento da região ficaram comprometidas. A intensificação da

seca a partir de 2012 afetou os níveis dos reservatórios que abastecem as cidades, submetendo a população a um regime de abastecimento intermitente severo. A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) chegou a registrar rodízio no abastecimento de até três dias com água e 10, 15 e 21 dias sem o fornecimento.

A metodologia do estudo está dividida nas etapas principais de: levantamento de dados, pesquisa documental, estudo de base de dados, cálculo de indicadores de desempenho e análise dos resultados.

Primeiramente, coletou-se as informações primárias mediante encaminhamento de ofício a COMPESA que, por meio do seu setor técnico disponibilizou os dados brutos que eram armazenados em um sistema de informações próprio e sem acesso a pessoas externas. Nessa etapa buscou-se os dados existentes de operação dos processos de produção e distribuição de água para o período de 2012 a 2016 nos municípios de Caruaru e Salgueiro.

A segunda etapa consultou referências para definição dos indicadores de desempenho relevantes para o estudo de perdas de água nas cidades e a viabilidade dos seus cálculos em função dos dados brutos coletados pela COMPESA. Além disso, buscou-se compreender as particularidades do IWS e suas influências na gestão hídrica, perdas e conservação de água.

Os indicadores de performance pertencem a uma padronização nacional criada em 1996 e disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), sendo, portanto, o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro. No âmbito dos indicadores nacionais, existem 84 indicadores econômico-financeiros e administrativo, mas para o objeto do presente estudo foram considerados apenas os relacionadas as perdas de água: índice de hidrometração (IN009), índice de micromedição relativo ao consumo (IN044), índice de perdas na distribuição (IN049) e índice de perdas no faturamento (IN013). Apesar da nomenclatura utilizar o termo índice, essas variáveis são consideradas indicadores de performance ou desempenho da empresa de saneamento pois permite avaliar e comparar parâmetro de eficiência na WDS.

Também, analisou-se o volume distribuído e consumo medido por impactar nas perdas aparentes.

Na etapa seguinte, os dados brutos foram organizados e tratados em uma planilha de Excel para o cálculo dos indicadores de desempenho previamente definidos para as cidades de Caruaru

e Salgueiro. As expressões matemáticas aplicadas usaram a padronização do SNIS, bem como as mesmas nomenclaturas das variáveis que consistiram em: índice de hidrometração (Equação 1), índice de micromedição relativo ao consumo (Equação 2), índice de perdas na distribuição (Equação 3) e índice de perdas no faturamento (Equação 4).

$$IN009 = \frac{AG004}{AG002} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

onde IN009 = índice de hidrometração (%); AG002 = quantidade de ligações ativas de água; AG004 = quantidade de ligações ativas de água micromedidas.

$$IN044 = \frac{AG008}{AG010 - AG019} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

onde IN044 = índice de micromedição relativo ao consumo; AG008 = volume de água micromedido; AG010 = volume de água consumido; AG019 = volume de água tratada exportado.

$$IN049 = \frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

onde IN049 = índice de perdas na distribuição (%); AG006 = volume de água produzido; AG018 = volume de água tratada importado; AG010 = volume de água consumido; AG024 = volume de serviço.

$$IN013 = \frac{AG006 + AG018 - AG011 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

onde IN013 = índice de perdas no faturamento (%); AG006 = volume de água produzido; AG011 = volume de água faturado; AG018 = volume de água tratada importado; AG024 = volume de serviço.

No cálculo do AG002 e AG004 utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.

Ressalva-se que a consistência dos dados fora analisada antes do cálculo dos indicadores, excluindo-se os dados brutos que não se adequavam e com eventuais inconsistências como valores negativos ou desvios dos dados na comparação com alguns parâmetros de referência ou com as próprias informações históricas da COMPESA. Portanto, a análise estatística definiu outliers, desvio padrão e médias. Dentro dessa mesma etapa, gerou-se os gráficos apresentados nos resultados.

A última etapa, consistiu na análise dos gráficos dos indicadores ao longo dos anos e comparações com outros estudos, indicadores regionais e nacional. As informações

possibilitaram avaliar a adoção do IWS nas cidades estudadas e suas relações com as perdas, apontando-se alternativas e métodos a serem aplicados para o controle de perdas.

Resultados e Discussão

Volume distribuído \times consumo medido

Segundo dados do Sistema de Informações Operacionais da COMPESA, referentes aos anos de 2012 a 2016 do município de Caruaru, o volume distribuído foi de 1.930.927 m³.mês⁻¹ para uma população mensal média de aproximadamente 311.510 habitantes. Nesse período, a extensão da rede de abastecimento manteve-se constante com 585,704 km e o consumo médio medido foi de 857.831 m³.mês⁻¹.

A cidade de Salgueiro possui uma quantidade quase seis vezes menor de consumidores que Caruaru, aproximadamente 52.018 habitantes. Portanto, a demanda hídrica do município é menor, correspondendo ao volume distribuído médio de 275.226 m³.mês⁻¹. Entretanto,

a empresa registra um consumo medido médio de 144.179 m³.mês⁻¹, ou seja, os micromedidores registraram quase duas vezes menos água do que a quantidade que foi distribuída.

A população média abastecida por mês, comparando 2012 e 2016, aumentou quase 12,7% (Caruaru) e 22% (Salgueiro), demonstrando o desenvolvimento econômico da região e crescimento populacional. Com relação às ligações médias totais por mês, a taxa de crescimento foi menor do que a taxa da população, que correspondeu a 9,4% (Caruaru) e 19,8% (Salgueiro).

A Figura 2 apresenta o volume distribuído (AG006) e o consumo medido (AG008) registrados pela COMPESA, mensalmente, para os dois municípios analisados. Nota-se que o AG006 variou bastante ao longo dos meses, enquanto o AG008 praticamente manteve-se constante. Também, observa-se que para todos esses anos somente parte das ligações dos consumidores é medida.

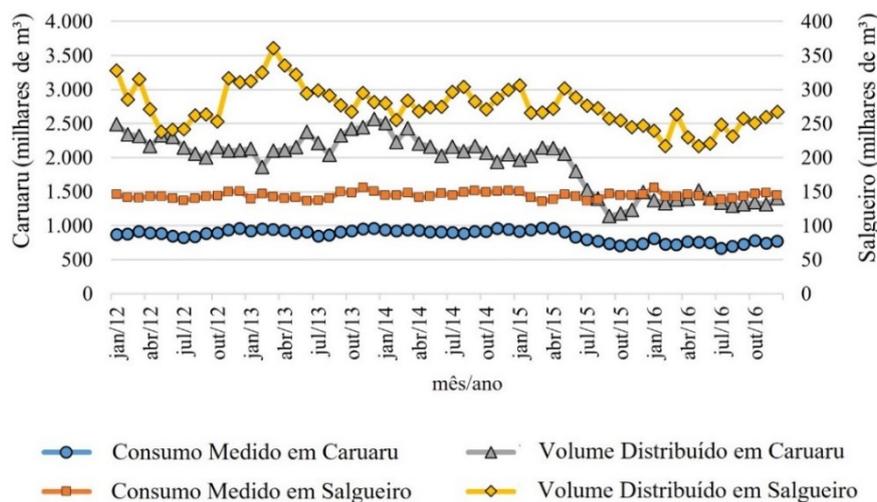


Figura 2. Capacidade distribuída e consumo medido entre os anos de 2012 e 2016 nas cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

O volume de água distribuído nas cidades de Caruaru e Salgueiro apresentou, do ano de 2012 para 2016, uma queda de aproximadamente 40% e 12,75%, respectivamente. Esse cenário está relacionado à crise hídrica nas regiões do Agreste e Sertão pernambucano. A realidade Caruaru foi pior, pois no Agreste a falta de precipitação para o enchimento dos dois reservatórios responsáveis por abastecer a cidade submeteu a população a severos racionamentos, especialmente quando o reservatório de Jucazinho entrou em colapso em 2015 (Figueiredo, 2019). A Figura 2 mostra a queda abrupta do AG006. A Tabela 1 resume as informações anuais referente ao volume distribuído e consumo medido nas cidades.

O volume distribuído para os cinco anos analisados em Caruaru e Salgueiro correspondeu a 115,86 e 16,51 milhões de m³, respectivamente. Entretanto, o consumo micromedido totalizou quase metade da água distribuída, 51.469.881 m³ (Caruaru) e 8.650.749 m³ (Salgueiro). Essa situação revela que, apesar dessas cidades conviverem com escassez hídrica em decorrência das baixas precipitações pluviométricas no Agreste e Sertão pernambucano, uma quantidade significativa de água é perdida pelos sistemas de abastecimento, seja por meio das perdas reais ou aparentes. Assim, considerando as duas cidades, o volume de água perdido totalizou 72,2 milhões de m³, demonstrando o potencial de recuperação e disponibilização de recursos hídricos à população

por meio da implantação de programas de combate às perdas.

Tabela 1. Informações anuais para o volume distribuído e consumo medido para as cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil, no período de 2012 e 2016. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Ano	Volume distribuído - AG006		Consumo medido - AG008	
	(m ³ .ano ⁻¹)			
	Caruaru	Salgueiro	Caruaru	Salgueiro
2012	26.534.264	3.325.260	10.604.369	1.711.520
2013	26.755.531	3.660.565	10.980.630	1.728.153
2014	26.046.541	3.374.866	11.026.645	1.762.970
2015	20.099.411	3.251.865	9.958.971	1.716.653
2016	16.419.888	2.900.989	8.899.266	1.730.774
Total	115.855.635	16.513.545	51.469.881	8.650.070

Índice de hidrometração e micromedição

O combate às perdas aparentes deve contemplar a hidrometração e micromedição integral das ligações, portanto, é fundamental que os sistemas possuam 100% desses índices. A hidrometração e micromedição consistem na medição permanente do volume de água consumido que é registrado periodicamente por meio de hidrômetros (Figueiredo, 2019). Esse instrumento é um importante mecanismo para a racionalização e a transparência da gestão, pois além de propiciar a cobrança, também permite ao prestador do serviço conhecer efetivamente a demanda dos usuários (Britto et al., 2011).

Em Caruaru, ao longo do período analisado, o índice de hidrometração (IN009) manteve-se acima de 85%. A partir da Figura 3 percebe-se que o IN009 da cidade cresceu nos anos de 2012 e 2013, tendo seu pico em 2014. Após esse período houve uma redução em 2015 e 2016. A taxa de crescimento variou entre -2% a 4% ao mês.

O IN009 para as cidades revela o percentual de ligações ativas de água micromedidas, sendo fundamental a empresa de saneamento investir na aquisição e instalação de hidrômetros para aumentar o número de ligações ativas, visando quantificar o consumo dos clientes e consequentemente reduzir as perdas aparentes que afetam os demais indicadores de perdas e impactam na receita. Em Salgueiro, o IN009 supera 90% ao longo dos cinco anos com uma taxa de crescimento pequena e praticamente constante (Figura 3), tendo apenas três meses registrando um crescimento de 3% e 57 meses obtendo a mesma taxa inferior a 1%.

O índice de micromedição relativo ao consumo (IN044) possui um comportamento semelhante ao IN009 para ambas as cidades durante os cinco anos. Entretanto, observa-se na Figura 3 que a partir de maio de 2015 em Caruaru, a diferença entre esses dois índices aumenta, revelando uma diferença maior entre o volume de água micromedido e o consumido.

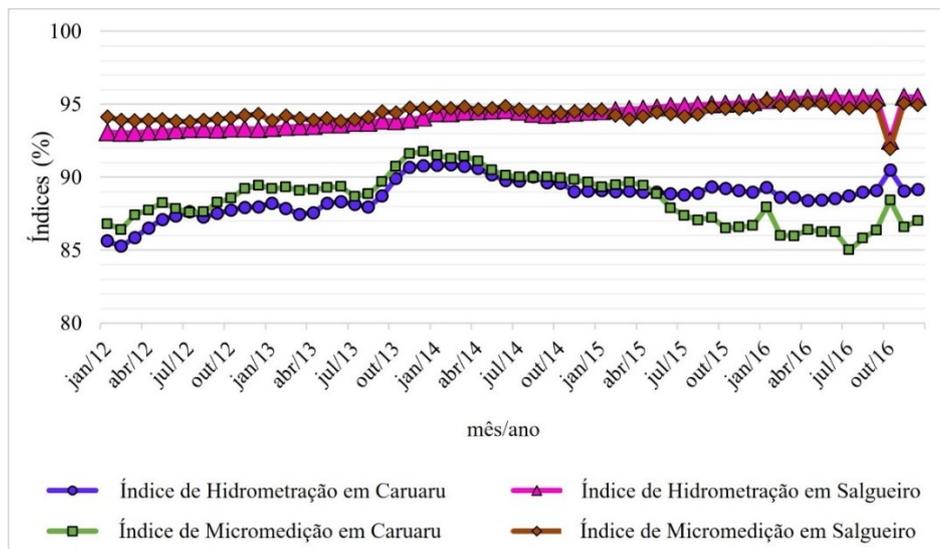


Figura 3. Índice de hidrometração e índice de micromedição relativo ao consumo entre os anos de 2012 e 2016 nas cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

A Tabela 2 apresenta um resumo da média anual dos indicadores IN009 e IN044 para as cidades. Comparando-se os anos de 2012 e 2016 obteve-se uma taxa de crescimento do IN009 de

2,25%, em Caruaru e 2,12%, em Salgueiro. Considerando o IN044, houve uma redução de 1,6%, em Caruaru, e um aumento de 0,75%, em Salgueiro.

Tabela 2. Informações anuais dos índices de hidrometração e micromedição para as cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil entre os anos 2012 e 2016. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Ano	Índice de Hidrometração – IN009		Índice de Micromedição – IN044	
	(%)			
	Caruaru	Salgueiro	Caruaru	Salgueiro
2012	86,98	93,21	87,93	93,99
2013	88,65	93,68	89,73	94,19
2014	89,99	94,44	90,45	94,62
2015	89,01	94,85	88,01	94,44
2016	88,94	95,19	86,50	94,70

A Figura 4 apresenta uma comparação anual do IN009 das cidades estudadas referente aos índices regionais, nacional e estadual. Ao longo dos cinco anos, Caruaru obteve o IN009 maior que o Norte, Nordeste e Pernambuco, porém, manteve-se abaixo das médias do Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Brasil. A cidade de Salgueiro apresentou o IN009

superior ao Norte, Nordeste, Brasil e Pernambuco; porém, sempre obteve um percentual menor que a região Sul e em 2012 também tinha esse índice inferior ao Sudeste e Centro-Oeste.

Analogamente, a Figura 5 proporciona uma comparação anual do IN044 das cidades com os índices regionais, nacional e estadual.

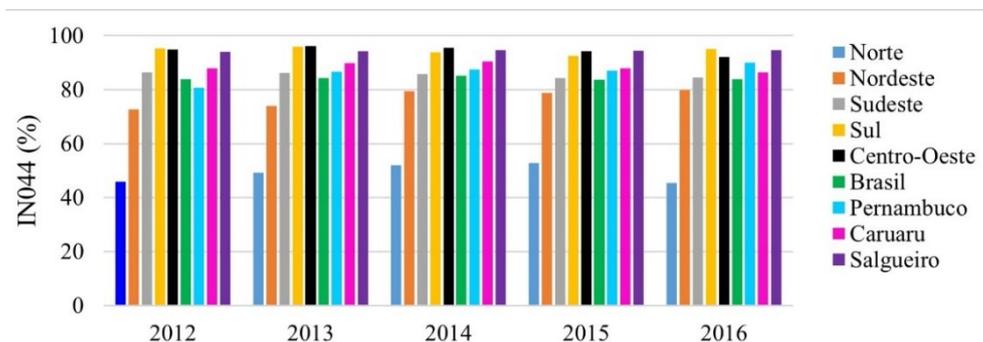


Figura 4. Comparativo do índice de hidrometração relativo às médias anuais entre 2012 e 2016, nas regiões brasileiras com as cidades de Caruaru e Salgueiro. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

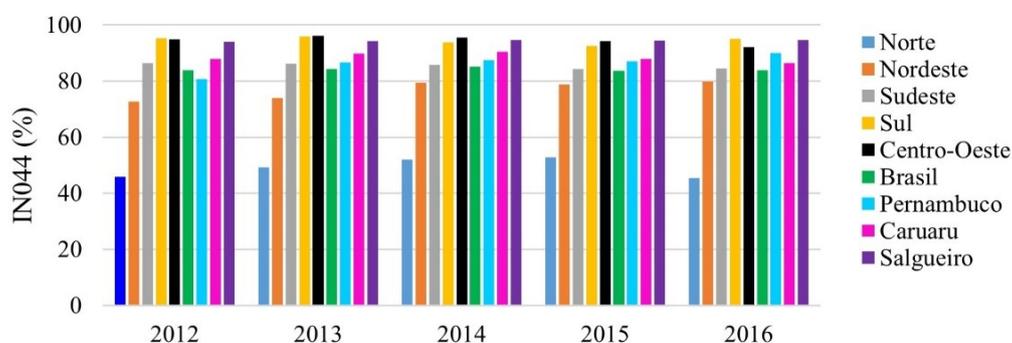


Figura 5. Comparativo do índice de micromedição no período de 2012 a 2016 nas regiões brasileiras com as cidades de Caruaru e Salgueiro. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

No período analisado, Caruaru sempre obteve um IN044 maior que o Norte, Nordeste,

Sudeste e Brasil; porém, menor que o Sul e Centro-Oeste. Considerando o índice do Estado de

Pernambuco, a cidade possui um IN044 inferior para o ano de 2016 e superior entre os anos de 2012 a 2015.

Em Salgueiro, o índice para a cidade foi mais elevado que o Norte, Nordeste, Sudeste, Brasil e Pernambuco. Todavia, o índice foi inferior ao Sul (nos anos de 2012, 2013 e 2016) e Centro-Oeste (entre os anos de 2012 a 2014).

Índice de perdas na distribuição

O índice de perdas de água na distribuição (IN049) é comumente empregado pela COMPESA

como o principal indicador para avaliar a performance de faturamento da empresa, referente ao volume que foi produzido em relação ao que foi consumido pelos usuários (Figueiredo, 2019).

A Figura 6 ilustra a flutuação do IN049 ao longo de 60 meses para as cidades avaliadas, sendo perceptível a tendência de diminuição desse índice. Em Caruaru, o IN049 diminuiu até fevereiro de 2013, nos meses seguintes tende a aumentar até iniciar uma tendência de queda acentuada a partir de junho 2015 (Figura 6).

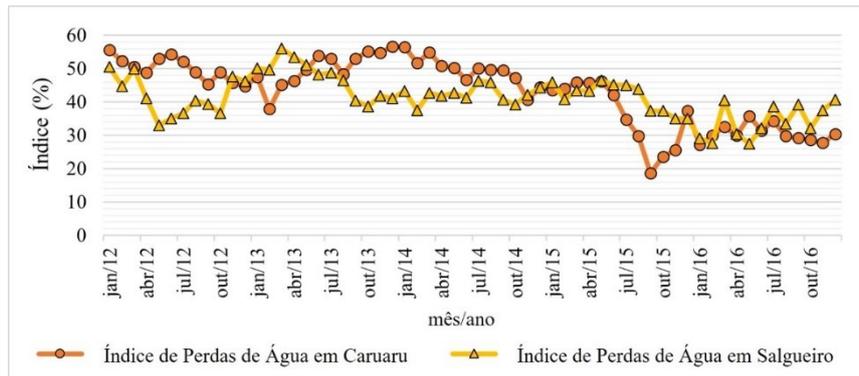


Figura 6. Índice de perdas de água (IN049), entre os anos de 2012 e 2016, em Caruaru e Salgueiro, Pernambuco, Brasil. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

A redução desse índice, a partir de 2015, decorreu do abaixamento dos níveis dos reservatórios que abastecem a cidade, submetendo a população a um intenso racionamento de água com a redução da oferta para o consumo. Como o fornecimento de água para a população da cidade diminuiu consideravelmente por causa do colapso do principal reservatório que abastece a cidade, em Jucazinho, a quantidade de água perdida na rede também reduziu.

Além disso, percebe-se que o nível de perdas também pode ter sido amenizado, a partir de 2015, em decorrência de ações voltadas para a melhoria da eficiência das redes de distribuição da cidade, segundo a equipe técnica da COMPESA.

Em Salgueiro, até maio de 2012, ocorreu um decaimento do IN049, tornando-se crescente até a março de 2013 e, posteriormente, ocorreram intensas diminuições até fevereiro de 2016 (Figura 6). Percebe-se que o nível de perdas também pode ter sido amenizado na cidade, em decorrências de ações voltadas para a melhoria da eficiência dos sistemas de distribuição, segundo a equipe técnica da COMPESA.

A Figura 6 mostra que, apesar do índice apresentar tendências decrescentes nas duas cidades, em Caruaru, esse índice foi maior que 40% até maio de 2015, com vários meses registrando valores superiores a 50%, enquanto em Salgueiro, o IN049 sempre foi mais alto que 25%. Este

cenário demonstra o potencial que as cidades possuem para a redução de perdas de água.

A intensificação da seca, a partir de 2012, reduziu consideravelmente os níveis dos reservatórios do Estado de Pernambuco nas regiões do Agreste e Sertão. Ao longo dos cinco anos analisados, as cidades de Caruaru e Salgueiro apresentaram um volume de perdas na distribuição de 64,39 milhões de m³ e 7,86 milhões de m³, respectivamente. Essa água desperdiçada (perdas reais e aparentes) representa quase 50% da produção de água da concessionária. O índice de perdas na distribuição (IN049) apresentou tendências decrescentes nas cidades, comparando-se os anos de 2012 e 2016.

A Tabela 3 resume as informações das médias anuais referente ao IN049 das cidades, onde é possível observar como as perdas de água são elevadas. Essas cidades necessitam da implantação de programas de perdas, por meio da setorização das redes em distritos e instalações de macromedidores de vazão, permitindo, assim, obter o controle de vazão para identificar os motivos das perdas e conseqüentemente criar um plano de ação para combatê-las até chegar a um nível econômico para a empresa que pode ter como referência um *benchmarking* definido internamente, baseado em experiências de outras empresas de saneamento ou seguindo os

parâmetros definidos e publicados por especialistas.

Tabela 3. Informações anuais para o índice de perdas de água nas cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil, entre os anos de 2012 e 2016. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Ano	Índice de perdas de água na distribuição	
	Caruaru	Salgueiro
2012	49,99	41,75
2013	50,10	47,14
2014	49,34	42,29
2015	36,42	41,55
2016	30,55	34,05

Pertel, Azevedo & Volschan Junior (2016) definiram critérios para o estabelecimento de parâmetros de avaliação de desempenho operacional (*benchmarking*) a partir dos dados

referentes a 22 companhias estaduais de saneamento no Brasil. Considerando o *benchmarking* posto por eles para o IN049 como 33%, Caruaru apenas enquadra-se em 2016 e Salgueiro não conseguiu atingir um índice médio inferior ao indicado.

A Figura 7 apresenta uma comparação anual do IN049 das cidades estudadas com os índices regionais, nacional e estadual. Em Caruaru, o IN049 foi superior ao Sudeste, Sul, Centro-Oeste, Brasil (entre 2012 e 2015) e Norte (entre 2012 e 2014). Todavia, sempre registrou um índice menor que o estadual, além de também ser menor do que o Norte (em 2013, 2015 e 2016) e Nordeste (em 2015 e 2016). Salgueiro sempre teve o IN049 menor que o Norte e Pernambuco, porém nota-se no gráfico, que o índice foi mais elevado do que o encontrado para o Sudeste, Sul, Centro-Oeste e Brasil, no período de 2012 a 2015.

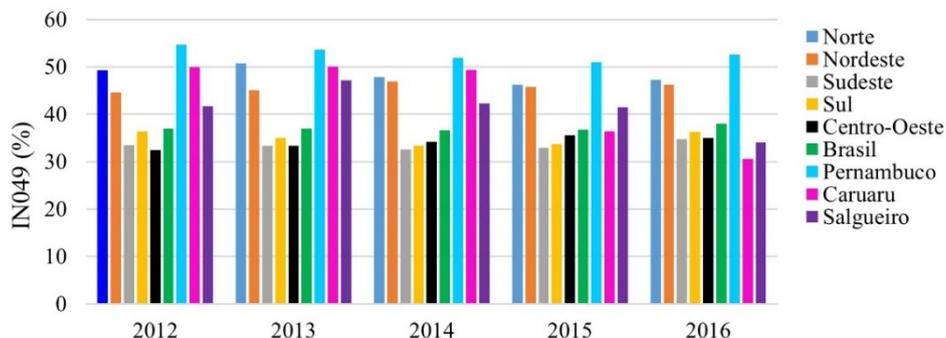


Figura 7. Comparativo do índice de perdas de água na distribuição relativo às médias anuais entre 2012 e 2016 nas regiões brasileiras com as cidades de Caruaru e Salgueiro. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Índice de perdas no faturamento

O índice de perdas no faturamento total (IN013) avalia, percentualmente, o nível da água não faturada do sistema de abastecimento. Assim, retrata a produção de água da empresa sem o seu faturamento (Figueiredo, 2019).

O comportamento do IN013 ao longo de cinco anos pode ser observado na Figura 8. Em Caruaru, o IN013 diminuiu até fevereiro de 2013, nos meses seguintes teve uma tendência a aumentar até dezembro de 2013 para, posteriormente, iniciar uma tendência de queda gradativa até abril de 2015. Então acontece uma queda brusca até setembro de 2015. Em Salgueiro, o IN013 demonstrou progresso de maio de 2012 até março de 2013 e para o ano de 2016.

Os valores próximos a zero (Figura 8) apontam que praticamente todo volume de água produzido pela empresa de água foi faturado. Ainda, Tardelli Filho (2016) afirma que não existe

“perda zero” em sistemas de abastecimento de água por mais cuidados tomados e esforços realizados, sempre haverá um remanescente valor de perdas no sistema (“perda inevitável”). Portanto, dificilmente sistemas com infraestrutura preservada e operação eficiente apresentam perda de faturamento igual a zero como os vistos na Figura 8. Uma empresa de saneamento no Brasil e principalmente no Norte e Nordeste não conseguem faturar toda água que é distribuída para a população, principalmente por não atingirem 100% de hidrometração. Todavia, nas cidades pequenas, é comum as perdas de faturamento negativas. Bezerra, Pertel & Macêdo (2019) destacam que os valores negativos de perdas de faturamento ocorrem, geralmente, em cidades sujeitas à severa intermitência no abastecimento, cuja maioria da população é de baixa renda e possui um consumo de água inferior a consumação mínima faturada pelas companhias brasileiras ($10 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$).

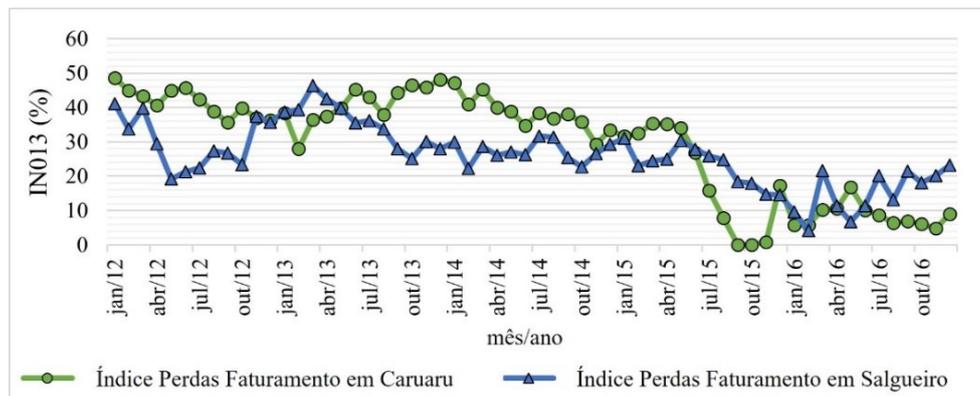


Figura 8. Índice de perdas no faturamento de água (IN013), em percentual, entre os anos de 2012 e 2016 nas cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

As tendências decrescentes do índice IN013 nas cidades coincidem com os períodos de maior escassez hídrica cujos rodízios do fornecimento de água da população tornaram-se mais intensos e os volumes de água produzidos pela empresa diminuíram. Entretanto, as quedas mais acentuadas do índice (Figura 8), quando registra valores abaixo de 10%, podem caracterizar erros no registro dos dados no sistema da COMPESA, pois os técnicos da empresa não relataram a vigência de nenhuma campanha no combate às perdas aparentes. A Tabela 4 apresenta as informações das médias anuais referente ao IN013 das cidades.

De acordo com os critérios apresentados por Tardelli Filho (2006), o desempenho de Caruaru foi ruim em 2012 e 2013 (maior que 40%), regular em 2014 (entre 25% e 40%) e bom para os anos de 2015 e 2016 (menor que 25%). Analogamente, temos que em Salgueiro o IN013 foi regular até 2014 e bom em 2015 e 2016. Comparando o IN013 médio anual com o *benchmarking* de 24,10% estipulado por Pertel, Azevedo & Volschan Junior (2016), percebe-se que Caruaru e Salgueiro até 2014 não atendiam a essa referência, enquadrando-se somente em 2015 e 2016.

Tabela 4. Informações anuais para o índice de perdas no faturamento nas cidades de Caruaru e Salgueiro, em Pernambuco, Brasil, entre os anos 2012 e 2016. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Ano	Índice de perdas no faturamento – IN013 (%)	
	Caruaru	Salgueiro
2012	41,47	29,78
2013	40,91	35,26
2014	38,18	27,23
2015	23,73	23,17
2016	8,39	15,06

A Figura 9 permite uma comparação anual do IN013 das cidades com os índices regionais, nacional e estadual. Caruaru possuiu o IN013 inferior aos encontrados para o Norte e Pernambuco, em 2012, e para todas as regiões do Brasil e desempenho estadual, em 2015 e 2016. Em contrapartida, Salgueiro registrou um índice inferior apenas ao encontrado nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste para o ano de 2013. Portanto, para os demais anos, as regiões do Brasil e Pernambuco apresentaram o IN013 superior ao obtido por Salgueiro.

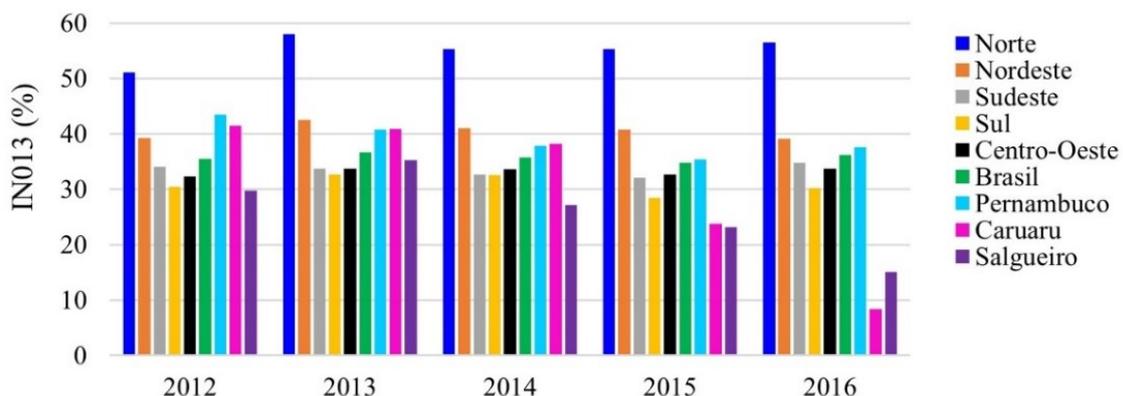


Figura 9. Comparativo do índice de perdas no faturamento relativo às médias anuais entre 2012 e 2016, nas regiões brasileiras com as cidades de Caruaru e Salgueiro. Fonte: Figueiredo, Cabral, Bezerra & Silva (2023).

Abastecimento intermitente e as perdas de água

Durante a operação do IWS, existe o período de abastecimento, quando a água está sendo entregue aos clientes; e um período de não fornecimento, quando a água é deixada estagnada e possivelmente escoada para fora das tubulações por meio de vazamentos (Taylor, Slocum & Whittle, 2018).

O regime IWS afeta a saúde e o bem-estar da população, pois a água armazenada por longos períodos tem a qualidade comprometida (Galaiti et al., 2016). Desse modo, a qualidade bacteriológica de um abastecimento de água intermitente é substancialmente menor que o de um serviço contínuo, uma vez que é difícil manter o nível de cloração adequado no sistema. Estudos demonstraram que o IWS fornece água de forma menos equitativa e tem maior probabilidade de contaminação do que em sistemas contínuos (Kumpel & Nelson, 2013; Solgi et al., 2014). Contaminantes que se acumulam enquanto o IWS é despressurizado são descarregados nas residências dos clientes quando esses sistemas se tornam pressurizados, também, durante a fase estacionária do IWS, outros contaminantes (por exemplo, esgotos) podem invadir as tubulações de água onde a pressão é baixa (Taylor, Slocum & Whittle, 2018). Além disso, a contaminação em reservatórios domiciliares é outro tipo de risco encontrado em Caruaru e Salgueiro, pois esse armazenamento pode conter água descoberta, utilizar caixa d'água de cimento amianto e não realizar limpezas periódicas nos reservatórios que afasta o risco de contaminação.

Independente da qualidade do abastecimento em Caruaru e Salgueiro, a sua operação por meio do fornecimento intermitente tem um efeito prejudicial sobre sua integridade física. Desse modo, a quantidade de água economizada quando não há o fornecimento, posteriormente pode ser perdida em maiores quantidades com o aumento de vazamentos. Embora os WDS dessas cidades tenham sido projetados para operar continuamente, é forçada a operar intermitentemente com diferentes condições de pressão e vazão, acarretando no seu desgaste frequente e necessidade de mão-de-obra para efetuar reparos nos sistemas.

A empresa de saneamento responsável pelo abastecimento de água do Estado adotou o rodízio como solução, submetendo a população a um regime de abastecimento intermitente severo, forçando os consumidores a garantir seu abastecimento através de soluções alternativas.

No período de análise dos dados, a população em Salgueiro e Caruaru complementam o seu abastecimento com a compra de água

comercializada por caminhões-pipa, o que garante seu abastecimento por meio do armazenamento da água com o uso de grandes cisternas. Ressalva-se que o armazenamento de água em residências é uma prática onipresente no abastecimento intermitente, tendo implicações importantes para a saúde dos consumidores (Galaiti et al., 2016). Desse modo, os clientes precisam arcar com os custos para instalações adicionais, como tanques de armazenamento, bombas, fontes alternativas de água e instalações de tratamento doméstico.

Geralmente, numerosas queixas são recebidas no IWS pelos consumidores descontentes com a qualidade da água e falta de pressão na WDS (Laspidou et al., 2017). O abastecimento de água e as perdas, em particular, possuem visibilidade da mídia e dos políticos; principalmente onde a água é escassa em época de seca. Assim, a elevada quantidade de vazamentos é considerada um desperdício, e uma organização perdulária é vista como ineficiente (European Commission, 2015). Dessa forma, qualquer intervenção ou vazamento aparente nos WDS resultam em notícias nas redes sociais e nos veículos de comunicação de Caruaru e Salgueiro, refletindo em uma imagem negativa para a COMPESA.

Outro problema identificado nas cidades estudadas é com a relação à submedição dos hidrômetros, pois sabe-se que o mau funcionamento destes equipamentos dificulta a definição precisa das tarifas que as empresas devem estipular aos clientes. Quando ocorre a expulsão do ar nas tubulações durante o enchimento, pode acarretar em uma velocidade de giro excessiva no hidrômetro entre as variações de fornecimento, resultando no desgaste acelerado no mecanismo de registro (Laspidou et al., 2017). Devido ao rodízio do abastecimento nestas cidades, os técnicos da COMPESA relataram dificuldades para determinação da submedição, pois é difícil atribuir a variação de consumo dos usuários e o comportamento dos clientes com base na sazonalidade e nos intervalos de rodízio.

Em 2018, foi realizado um estudo em Caruaru utilizando uma determinada categoria de usuário, com hidrômetros de idade superior a cinco anos, na oportunidade também houve o mapeamento do consumo desses usuários nos anos 2016 a 2018. Assim, a COMPESA chegou a uma submedição de 47% no período, equivalendo a 15,6% por ano. Todavia, para um cálculo mais preciso seria necessário investigar o comportamento dos usuários no período para então excluir do estudo as variações no perfil de consumo.

Portanto, considerando que um regime IWS resulta no aumento de vazamentos, mesmo quando o consumo do cliente permaneça constante, percebe-se que a intermitência resultará no aumento de volumes de água perdidos no abastecimento, quando comparado com regime contínuo (Charalambous & Liemberger, 2017). Assim, claramente, a adoção de um regime IWS não é a medida mais efetiva e indicada para a conservação da água em sistemas de distribuição de água e, em muitos casos, resulta em efeitos negativos significativos.

Conclusões

A avaliação conjunta dos índices de perdas na distribuição e perdas de faturamento apontaram que, *a priori*, os programas de combate às perdas nas cidades devem privilegiar o controle de perdas reais. Este cenário demonstra o potencial que as cidades possuem para a redução de perdas de água por meio da automação, setorização das cidades em distritos de medição e controle, controle de pressão na rede, controle ativo de vazamentos e gestão de infraestrutura.

O estudo apontou os potenciais do enfrentamento da escassez hídrica por meio do combate às perdas de água nos sistemas de distribuição de cidades possuem papel estratégico para as regiões do Agreste e Sertão pernambucano, onde cada volume de água poupado poderia ser disponibilizado ao usuário. Assim, a COMPESA precisa criar uma estratégia organizacional para a gestão de perdas de água nas cidades sob os aspectos de planejamento, divisão organizacional, estudos tarifários, integração entre os setores, comunicação social a população e treinamento dos funcionários.

Independente da qualidade dos WDS de Caruaru e Salgueiro, a operação destes por meio do fornecimento intermitente tem um efeito prejudicial sobre sua integridade física, pois os sistemas de distribuição de água são forçados a operar com diferentes condições de pressão e vazão das quais foram projetados.

A adoção de rodízios e/ou racionamento (regime de fornecimento intermitente) não é a medida mais efetiva e indicada para a conservação da água em sistemas de distribuição de água da região e, em muitos casos, resulta em efeitos negativos significativos. Apesar das baixas precipitações pluviométricas das regiões do Agreste e Sertão de Pernambuco, combater as perdas poderia reduzir a intermitência do abastecimento nessas cidades e propiciar uma segurança hídrica aos usuários. Entretanto, os bons resultados em programas de perdas requerem continuidade das ações, mobilização e

compromisso de todos os setores envolvidos. Esta visão precisa ser a grande missão das empresas de saneamento. Assim, enquanto não houver a priorização no combate às perdas de águas, não existirá a possibilidade de atingir e manter o nível econômico de perdas nos WDS.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio à pesquisa, por meio do financiamento do projeto Aliança para Gestão de Recursos Hídricos no Semiárido de Pernambuco (Consórcio UNIVERSITAS), e à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), pelo fornecimento dos dados.

Referências

- Agathokleous, A.; Christodoulou, S. 2016. Vulnerability of urban water distribution networks under intermittent water supply operations. *Water Resources Management*, 30, 13, 4731-4750. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1450-3>.
- Al-Washali, T.; Sharma, S.; Kennedy, M. 2016. Methods of assessment of water losses in water supply systems: a review. *Water Resources Management*, 30, 4985-5001. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1503-7>
- Bezerra, S. T. M.; Pertel, M.; Macêdo, J. E. S. 2019. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste Brasileiro. *Ambiente Construído*, 19, 3, 249-258. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300336>
- Brasil. Ministério das Cidades (MCIDADES); Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). 2018. Sistema nacional de informações sobre saneamento – SNIS: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016. SNSA & MCIDADES, Brasília. 212p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2016>. Acesso em: maio 9, 2023.
- Brasil. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2005a. Projeto cadastro de fontes de abastecimento subterrâneas: diagnóstico do município de Caruaru. CPRM & PRODEEM, Recife. 24p.
- Brasil. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). 2005a. Projeto cadastro de fontes de abastecimento subterrâneas: diagnóstico do município de Salgueiro. CPRM & PRODEEM, Recife. 24p.
- Britto, A. L. et al. 2011. Panorama do saneamento básico no Brasil: avaliação político-

- institucional do setor de saneamento básico. Ministério das Cidades, Brasília, IV. 537p.
- Cambrinha, G. M. G.; Fontana, M. E. 2015. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19, 2, 983-994. <https://doi.org/105902/2236117015520>
- Charalambous, B.; Liemberger, R. 2017. Chapter 5 - Understanding water losses in the context of IWS. In: Charalambous, B.; Laspidou, C. Dealing with the complex interrelation of intermittent supply and water losses. IWA Publishing, London. 161p.
- Danilenko, A.; Berg, C. Van Der. 2011. The IBNET water supply and sanitation blue book. The World Bank, Washington. 176p.
- Dutra, R. H. de A.; Oliveira, A. L. 2017. Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle de perdas em redes de abastecimento de água. *Revista DAE*, 65, 208, 122-134. <https://doi.org/10.4322/dae.2017.011>
- Erickson, J. J.; Smith, C. D.; Goodridge, A.; Nelson, K. L. 2017. Water quality effects of intermittent water supply in Arraiján, Panama. *Water Research*, 114, 338-350. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.009>
- European Commission. 2015. EU reference document good practices on leakage management. WFD CIS WG PoM, European Union. 117p.
- Figueiredo, A. de O. 2019. Redução de Perdas na Rede de Abastecimento de Água em Cidades do Semiárido no Agreste de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil. 155p.
- Galaiti, S. E.; Russell, R.; Bishara, A.; Durant, J.; Bogle, J.; Huber-Lee, A. 2016. Intermittent domestic water supply: causal-consequential pathways. *Water*, 8, 274, 1-25. <https://doi.org/10.3390/w8070274>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2017. Abastecimento diário de água é menor no Nordeste. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/18290-abastecimento-diario-de-agua-e-menor-no-nordeste>. Acesso em: novembro 18, 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. Censo Demográfico - 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: setembro 19, 2017.
- Kumpel, E.; Nelson, K. L. 2013. Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply. *Water Research*, 47, 14, 5176-5188. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.058>
- Laspidou, C. et al. 2017. Chapter 3: Root causes and implications of IWS. In: Charalambous, B.; Laspidou, C. Dealing with the complex interrelation of intermittent supply and water losses. IWA Publishing, London. 161p.
- Laspidou, C.; Spyropoulou, A. 2017. Chapter 2: Global dimensions of IWS – number of people affected worldwide. In: Charalambous, B.; Laspidou, C. Dealing with the complex interrelation of intermittent supply and water losses. IWA Publishing, London, 161p.
- McKenzie, R. S. 2016. The dangers of intermittent supply as a measure to save water in South Africa. In: Conference of The Institute of Municipal Engineering of Southern Africa (IMESA) Proceedings, East London, UK, 80, 147-151. Disponível em: <https://www.imesa.org.za/wp-content/uploads/2016/11/Paper-15-Ronnie-McKenzie-The-dangers-of-intermittent-supply-as-a-measure-to-save-water-in-South-Africa.pdf>. Acesso em: agosto 09, 2018.
- Pertel, M.; Azevedo, J. P. S.; Volschan Junior, I. 2016. Uso de indicadores de perdas para seleção de um benchmarking entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 159-168. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100120418>
- Solgi, M.; Haddad, O. B.; Seifollahi-Aghmiuni, S.; Loáiciga, H. A. 2015. Intermittent Operation of Water Distribution Networks Considering Equanimity and Justice Principles. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 6, 4, 1-11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000198](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000198)
- Tardelli Filho, J. 2006. Controle e redução de perdas. In: Tsutyia, M. T. Abastecimento de água, 3 ed, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 643p.
- Tardelli Filho, J. 2016. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. *Revista DAE*, 201, 1-15. <https://doi.org/10.4322/dae.2015.012>
- Taylor, D. D. J.; Slocum, A. H.; Whittle, A. J. 2018. Analytical scaling relations to evaluate leakage and intrusion in intermittent water supply systems. *PLOS ONE*, 13, 5, 1-22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196887>

World Health Organization (WHO); United Nations Children's Fund Publications (UNICEF). 2000. Global water supply and

sanitation assessment 2000 report. WHO & UNICEF, Geneva. 80p.