

XI-084 - GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: REVISÃO DA LITERATURA

Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Eduardo Luiz Chaves de Medeiros

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Júlia Daniele Silva de Souza

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Bolsista de Iniciação Científica da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE.

Lucas Caitano da Silva

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Saulo de Tarso Marques Bezerra

Professor Associado do curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental e Doutor em Engenharia Mecânica.

Endereço⁽¹⁾: Rua Santa Clara, 210, Maurício de Nassau, Caruaru-PE, CEP: 55012-150, Brasil, Telefone: (81) 995381899. E-mail: andreiazvdo92@gmail.com.

RESUMO

As perdas de água em redes de distribuição representam um dos maiores problemas das empresas de saneamento. Com isso, estas empresas precisam de estratégias eficazes para o uso otimizado dos recursos hídricos disponíveis. Atualmente, o tema “perdas de água” está sendo objeto de estudos realizados em diversas instituições de pesquisa, que visam quantificar, classificar e determinar padrões para os processos das empresas. Apesar dos estudos empíricos serem importantes, o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias que empregam princípios baseados em conhecimentos predominantemente científicos são necessários. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva realizar uma revisão sistemática sobre a gestão das perdas de água em sistemas de distribuição de água. Para a revisão sistemática, uma pesquisa de literatura foi realizada no Portal Periódico – CAPES. As palavras-chaves utilizadas foram *water loss* e *water distribution*. A busca resultou em 1660 artigos. Inicialmente, foram avaliados os primeiros 100 artigos publicados em periódicos, dos quais 48 foram relacionados com o tema abordado. Os resultados apresentam uma análise abrangente das técnicas para gestão das perdas, mostrando as principais ações/métodos para eficiência dos sistemas de distribuição, métodos de otimização e os custos e impactos energéticos associados aos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Perdas de água, Vazamentos, Otimização, Revisão sistemática.

INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios enfrentados pelas empresas de abastecimento de água é o alto nível de perdas de água nos sistemas de distribuição. As perdas são influenciadas por diversos fatores infraestruturas e operacionais. Estas dependem basicamente das características das redes de distribuição e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos (BEZERRA & CHEUNG, 2013).

O combate efetivo das perdas de água é um dos problemas mais desafiadores para os gestores das companhias de saneamento. As empresas prestadoras de serviço de saneamento devem buscar continuamente níveis elevados de eficiência e estarem aptas a fornecer o melhor serviço aos usuários. Além de impactar diretamente no faturamento, as perdas afetam a imagem das empresas junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e ao poder público.

O desenvolvimento de técnicas direcionadas especificamente para a gestão de perdas é, relativamente, novo. Atualmente, o tema “perdas de água” está sendo objeto de estudos realizados em diversas instituições de pesquisa e companhias de saneamento, que visam quantificar, classificar e determinar padrões para os processos das empresas. Apesar dos estudos empíricos serem importantes, o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias que empregam princípios baseados em conhecimentos predominantemente científicos, como, por exemplo, teorias da engenharia hidráulica, sistemas de suporte à decisão, e modelos de gestão (planejamento estratégico), é imprescindível.

As perdas de água são classificadas em aparentes e reais. As perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas e perdas comerciais, correspondem ao volume de água consumido, mas que não é contabilizado pela companhia de abastecimento, ou seja, é a parte da água distribuída que não foi “fisicamente perdida”, mas não gerou receita a empresa. As perdas aparentes são causadas por ligações clandestinas (chamadas popularmente de “gatos”), roubo ou uso ilegal (por exemplo, retirada de água em válvulas de descargas de adutoras), fraudes nos hidrômetros, erros de leituras dos hidrômetros e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, registro de inatividade em ligação ativa) (BEZERRA & CHEUNG, 2013).

As perdas reais representam o volume efetivamente perdido no sistema. As perdas reais são decorrentes de vazamentos que ocorrem nas tubulações das adutoras e nas redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas estações de tratamento de água e nos extravasamentos de reservatórios. A quantidade de água perdida devido a vazamentos nas redes de distribuição representa um dos maiores desafios para os gerentes das empresas, não só por causa do custo, mas também porque implica impactos na sociedade e no meio ambiente.

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo geral realizar uma revisão sistemática sobre a gestão de perdas de água em sistemas de distribuição de água. Os objetivos específicos são:

- Identificar pesquisas relevantes que, através dos parâmetros obtidos, possam conduzir a revisão sistemática; e
- Destacar as principais ações para o aumento da eficiência dos sistemas de abastecimento e o uso de otimização nas pesquisas.

METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em aplicar uma revisão sistemática, a partir de estudos encontrados na literatura, sobre gestão de perda de água em redes de distribuição de água, através da análise dos métodos empregados na redução e controle das perdas.

A finalidade de uma revisão sistemática é localizar os estudos mais relevantes existentes com base em questões de pesquisa formuladas anteriormente para avaliar e sintetizar suas conclusões através do desenvolvimento da metodologia associada (SAMPAIO, 2007).

Conforme Khan *et al.* (2003) a preparação e manutenção de uma revisão sistemática da literatura envolve cinco etapas: (i) desenvolvendo questionamentos para uma revisão sistemática, (ii) identificando pesquisas relevantes para o estudo, (iii) avaliando a qualidade dos estudos, (iv) resumindo os dados e (v) interpretando os resultados.

O processo anteriormente citado foi utilizado neste trabalho e será analisado detalhadamente a seguir.

Etapas 1 – Desenvolvendo questionamentos para uma revisão

Segundo Khan *et al.* (2003), os problemas a serem abordados pela revisão devem ser especificados na forma de perguntas claras, não ambíguas e estruturadas antes de iniciar o trabalho de revisão. Uma vez feita as questões, o primeiro passo consiste em apresentar os inquéritos a serem avaliados no estudo. Para o trabalho em questão,

foi definida a seguinte pergunta para guiar a revisão sistemática: **“Quais as principais pesquisas relacionadas à gestão de perdas de água em sistemas de distribuição de água?”**

Etapa 2 – Identificando pesquisas relevantes para o estudo

A busca por estudos deve ser extensa, é necessário a certificação de que todos os artigos importantes e que possuem algum impacto na conclusão da revisão estejam incluídos. Os critérios de seleção do estudo devem fluir diretamente das perguntas de revisão e ser especificadas a priori. Como critério de inclusão e exclusão de uma pesquisa, foram formulados questionamentos que são relevantes para o estudo. Os questionamentos (Q) a serem analisados nos estudos selecionados estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Descrição dos quesitos analisados.

Q1 – Os objetivos do estudo estão expostos de forma nítida?
Q2 – São apresentadas as problemáticas do estudo em análise?
Q3 – Os métodos/ações utilizados para redução das perdas são descritos?
Q4 – São apresentados e analisados índices ou indicadores de perdas?
Q5 – O estudo avalia as perdas como reais e aparentes, separadamente?
Q6 – O estudo considera o impacto econômico das ações de combate as perdas?
Q7 – O estudo considera o impacto energético das perdas?
Q8 – O estudo foi aplicado em um sistema real?

Etapa 3 – Avaliando a qualidade dos estudos

Como critério de inclusão e exclusão de uma pesquisa, foram formulados questionamentos que são relevantes. Para os questionamentos foram dadas respostas como “sim” e “não”, obtendo como retorno o valor 1 e 0 respectivamente. Cada pesquisa analisada teve seu percentual final com relação as respostas obtidas, os estudos que estiveram entre 60% e 100% foram considerados como “bom” e aqueles com percentual menor que 60% considerados como “ruim”.

Etapa 4 – Resumindo os dados

Nesta etapa é necessário a síntese dos dados, evidenciando as características do estudo, qualidades e efeitos. Silva (2018) propõe que os estudos selecionados sejam analisados criticamente, apontando as diferentes problemáticas encontradas pelos autores e também os dados qualitativos apresentados.

Etapa 5 – Interpretando os resultados

Nesta última etapa da metodologia, todos os detalhes das pesquisas foram explorados, determinando assim a confiabilidade do estudo. É aconselhável também propor novos estudos para desenvolver os pontos que ainda não estão totalmente desenvolvidos na literatura.

RESULTADOS

Para esta revisão sistemática, inicialmente, foi realizada a busca das pesquisas através do Portal Periódicos-CAPEs, usando como palavras-chave os termos: “*water loss*” e “*water distribution*”. Caso os trabalhos escritos em português apresentem relevância internacional, estes provavelmente seriam incluídos nos resultados, pois os termos buscados estão presentes no *abstract*. A busca resultou em 1660 artigos. Inicialmente, foram avaliados os primeiros 100 artigos publicados em periódicos, dos quais 48 foram relacionados com o tema abordado. Grande parte das pesquisas obtiveram percentual maior que 60%, sendo descartadas aquelas que não alcançaram esse valor. Na Tabela 2 encontram-se as avaliações das pesquisas quando aplicado os quesitos.

Tabela 2: Resultado dos quesitos aplicados as pesquisas.

ID	Autores e ano de publicação	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Resultado	(%)
1	Zyoud <i>et al.</i> (2016)	1	1	1	0	0	1	1	1	6	75
2	Hunaidi & Wang (2006)	1	1	1	1	0	0	0	1	5	63
3	Christodoulou & Agathokleous (2012)	1	1	1	1	0	0	0	1	5	63
4	Hunaidi & Chu (1999)	0	1	1	0	0	0	0	1	3	38
5	Kettler & Goulter (1985)	1	1	1	1	0	0	0	1	5	63
6	Tabesh <i>et al.</i> (2008)	1	0	0	1	1	1	0	1	5	63
7	Alkaseh <i>et al.</i> (2013)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	100
8	Diao <i>et al.</i> (2013)	1	0	1	0	0	0	0	1	3	38
9	Nicolini <i>et al.</i> (2011)	1	1	1	0	1	0	0	1	5	63
10	Campisano <i>et al.</i> (2012)	1	1	1	1	1	0	0	0	5	63
11	Gomes <i>et al.</i> (2011)	1	1	1	1	1	0	0	0	5	63
12	Karadirek <i>et al.</i> (2012)	1	1	1	1	1	0	0	1	6	75
13	Ye & Fenner (2011)	1	1	1	1	0	0	0	1	5	63
14	Buchberger & Nadimpalli (2004)	1	1	1	0	0	0	0	0	3	38
15	Almandoz <i>et al.</i> (2005)	1	1	0	0	1	0	0	0	3	38
16	Fontana <i>et al.</i> (2012)	1	1	1	1	0	1	1	1	7	88
17	Peréz <i>et al.</i> (2011)	1	1	1	0	0	1	0	1	5	63
18	Mutikanga <i>et al.</i> (2013)	1	1	1	1	1	1	1	0	7	88
19	Mutikanga <i>et al.</i> (2011)	1	1	1	0	1	1	0	1	6	75
20	Alvisi & Franchini (2009)	1	1	1	0	1	1	0	1	6	75
21	Cheung <i>et al.</i> (2010)	1	1	0	1	1	0	0	1	5	63
22	Nicolini & Zovatto (2009)	1	0	1	0	1	0	0	0	3	38
23	Peréz <i>et al.</i> (2009)	1	0	1	0	0	0	0	1	3	38
24	Giustolisi <i>et al.</i> (2008)	1	0	1	0	1	0	0	0	3	38
25	Gungor <i>et al.</i> (2017)	1	1	1	0	1	1	1	1	7	88
26	Kanakoudis & Tsitsifli (2010)	1	1	0	1	1	1	0	1	6	75
27	Britton <i>et al.</i> (2013)	1	1	1	1	0	1	0	1	6	75
28	Ozdemir (2018)	1	1	1	1	1	1	0	1	7	88
29	Peters & Balfour (2014)	1	1	1	1	0	1	1	1	7	88
30	Christodoulou <i>et al.</i> (2010)	1	0	1	0	0	0	0	1	3	38
31	Peréz <i>et al.</i> (2014)	1	0	1	0	0	0	0	1	3	38
32	Ponce <i>et al.</i> (2014)	1	1	0	0	0	0	0	1	3	38
33	Sarrate <i>et al.</i> (2014)	1	1	0	0	0	0	0	1	3	38
34	Marques & Monteiro (2013)	1	1	1	1	1	0	0	1	6	75
35	Fontana & Morais (2013)	1	1	1	0	1	1	0	0	5	63
36	Martini <i>et al.</i> (2014)	1	1	1	0	1	0	0	1	5	63
37	Khulief <i>et al.</i> (2012)	1	1	0	0	0	0	0	0	2	25
38	Hieu <i>et al.</i> (2010)	1	1	1	0	0	0	0	0	3	38
39	Fontana & Morais (2016)	1	1	1	0	1	1	0	0	5	63
40	Wasserkrug <i>et al.</i> (2014)	1	1	1	0	0	1	1	1	6	75
41	De Paola <i>et al.</i> (2017)	1	1	1	0	1	0	0	1	5	63
42	Tabesh <i>et al.</i> (2018)	1	1	0	1	1	1	0	1	6	75
43	Malm <i>et al.</i> (2015)	1	1	1	0	1	1	0	1	6	75
44	Sivakumar & Prasad (2015)	1	1	1	0	1	0	0	1	5	63
45	Gumier & Junior (2016)	1	1	1	0	1	0	0	1	5	63
46	Trojan & Morais (2012)	1	1	1	0	1	1	0	0	5	63
47	Stokes <i>et al.</i> (2013)	1	1	1	0	1	1	1	1	7	88
48	Babic <i>et al.</i> (2014)	1	1	1	0	1	1	0	1	6	75

Trinta e cinco artigos foram selecionados para o desenvolvimento da revisão sistemática. Dentre os quais, foram encontrados um estudo nacional e três estudos de autores brasileiros publicados em revistas internacionais. A Tabela 3 detalha a pesquisa quanto à sua caracterização e destaca quais ações para controle de perdas reais são citadas ou utilizadas nos estudos. Todas as pesquisas selecionadas são artigos publicados em periódicos internacionais. Quanto às principais ações para um efetivo controle das perdas reais, na literatura, teve principal destaque o controle de pressão, sendo seguido pelo controle ativo de vazamentos.

Tabela 3: Pesquisas selecionadas para a revisão sistemática.

Pesquisa	Autores e ano de publicação	Controle de pressão	Rapidez e qualidade dos reparos	Gestão da infraestrutura	Controle ativo de vazamentos
1	Zyoud <i>et al.</i> (2016)	X		X	
2	Hunaidi & Wang (2006)	X	X	X	X
3	Christodoulou & Agathokleous (2012)		X	X	X
4	Kettler & Goulter (1985)			X	
5	Tabesh <i>et al.</i> (2008)				
6	Alkassseh <i>et al.</i> (2013)	X			
7	Nicolini <i>et al.</i> (2011)	X			
8	Campisano <i>et al.</i> (2012)	X			
9	Gomes <i>et al.</i> (2011)	X			
10	Karadirek <i>et al.</i> (2012)	X	X	X	X
11	Fontana <i>et al.</i> (2012)	X			
12	Mutikanga <i>et al.</i> (2013)	X			X
13	Mutikanga <i>et al.</i> (2011)	X	X	X	X
14	Alvisi & Franchini (2009)			X	X
15	Cheung <i>et al.</i> (2010)				
16	Gungor <i>et al.</i> (2017)			X	
17	Kanakoudis & Tsitsifli (2010)				
18	Britton <i>et al.</i> (2013)				X
19	Ozdemir (2018)	X		X	
20	Peters & Balfour (2014)	X			
21	Marques & Monteiro (2013)	X	X	X	X
22	Fontana & Moraes (2013)		X	X	X
23	Fontana & Moraes (2016)	X	X	X	X
24	Ye & Fenner (2011)	X	X	X	X
25	Martini <i>et al.</i> (2014)				X
26	Peréz <i>et al.</i> (2011)	X			X
27	Wasserkrug <i>et al.</i> (2014)	X			
28	De Paola <i>et al.</i> (2017)	X		X	X
29	Tabesh <i>et al.</i> (2018)				
30	Malm <i>et al.</i> (2015)	X	X	X	X
31	Sivakumar & Prasad (2015)	X			
32	Gumier & Junior (2016)				X
33	Trojan & Moraes (2012)	X	X	X	
34	Stokes <i>et al.</i> (2013)	X		X	X
35	Babic <i>et al.</i> (2014)	X			

Nos artigos selecionados para análise, é unânime o conhecimento das ações para o controle das perdas reais. A redução das perdas reais é vista na diminuição de custos com a produção de água, redução de produtos químicos, consumo de energia e serviços de terceiros, possibilitando uma maior oferta de água sem a necessidade de aumento do sistema de abastecimento. Muitos dos artigos selecionados mencionam essas ações sejam apenas de forma introdutória ou como foco principal do estudo.

Em sua pesquisa Mutikanga et al. (2013), revisa e discorre sobre as principais ferramentas e metodologias atuais aplicadas para quantificar a perda, monitorar, detectar, localizar e reparar vazamentos e gerenciamento de pressão. Desta forma, os resultados da revisão indicam que várias ferramentas e métodos de gerenciamento de perda de água foram desenvolvidos e aplicados. Estes variam de ferramentas gerenciais simples, como indicadores de desempenho, a métodos de otimização altamente sofisticados, como algoritmos evolutivos. No entanto, sua aplicação em sistemas reais de distribuição de água no mundo foi geralmente limitada. Os autores observaram que oportunidades de pesquisa futuras existem através da colaboração de instituições de pesquisa e provedores de serviços de água para fechar a lacuna entre teoria e aplicações.

Das pesquisas, 75% foram aplicados em sistemas reais de distribuição de água. Estudos como os de Karadirek et al. (2012) e Peters & Balfour (2014) utilizaram Distritos de Medição e Controle – DMCs de cidades de países como Turquia e Trinidad e Tobago respectivamente, para aplicação de métodos e ações para gestão de perdas de água. Para Peters & Balfour (2014), o DMC é uma área de um sistema de distribuição, totalmente desconectada das demais redes ou fechada por válvulas cuja quantidade de água que entra e sai do sistema é contabilizada.

Alguns estudos mencionam o impacto energético da perda de água nos sistemas de abastecimento, por exemplo, Zyoud et al. (2016); Alkassseh *et al.* (2013); Fontana *et al.* (2012); Mutikanga *et al.* (2013); Gungor *et al.* (2017); Peters & Balfour (2014), Wasserkrug et al. (2014) e Stokes et al. (2013).

Dentre os 35 estudos selecionados, apenas 4 deles apresentaram alguma composição de custo da aplicação de ações voltadas para a eficiência dos sistemas de abastecimento (MALM et al., 2015; GUNGOR et al., 2017; FONTANA et al., 2012, BRITTON et al., 2013). O estudo de Fontana & Moraes (2013) utilizam valores reais de custos de manutenção de redes, em um sistema hipotético, sendo esse custo um dos critérios de avaliação multicriterial.

As problemáticas encontradas para o desenvolvimento da pesquisa estão relacionadas à escassez de estudos na literatura que contemplem o impacto energético das perdas de água, muito delas apenas mencionando sua relevância, isentando-se de detalhes, tanto quanto uma reduzida quantidade de dados de custos relativos as variadas ações e ferramentas para controle e redução de perdas.

Por fim, destaca-se os pontos que podem ser estudados posteriormente e que irão auxiliar em pesquisas futuras:

- Estudos que contemplem o impacto energético das ações de combate as perdas de água, mostrando sua importância na diminuição do desperdício de energia.
- Análise de custos dos processos para controle e redução das perdas. Sua ausência dificulta a análise da viabilidade econômica das mesmas.

DISCUSSÕES

O objetivo dessa sessão é a análise mais detalhada dos estudos selecionados através do método de Khan et al. (2003) descrito anteriormente. Contudo, se lançou mão de tópicos cujos temas se mostraram relevantes durante a avaliação das pesquisas.

- Características gerais

Neste tópico será discutido, de forma geral, aspectos das pesquisas selecionadas que possam indicar sua relevância no presente trabalho, como o local e ano em que foi publicado e a existência de citações em outros projetos. Na Figura 1, é possível ver a quantidade de citação de cada publicação. Dando-se destaque aos artigos brasileiros, em dois, cujos autores são os mesmos em ambas publicações, diferem apenas o ano. No

primeiro, Fontana & Morais (2013), possui 30 citações e aborda o uso de um modelo multicriterial para auxiliar na tomada de decisão na seleção de um conjunto de alternativas viáveis para a reabilitação de um maior número de pontos de vazamentos em uma rede, visando minimizar os custos uma vez que as empresas de abastecimento possuem orçamentos limitados.

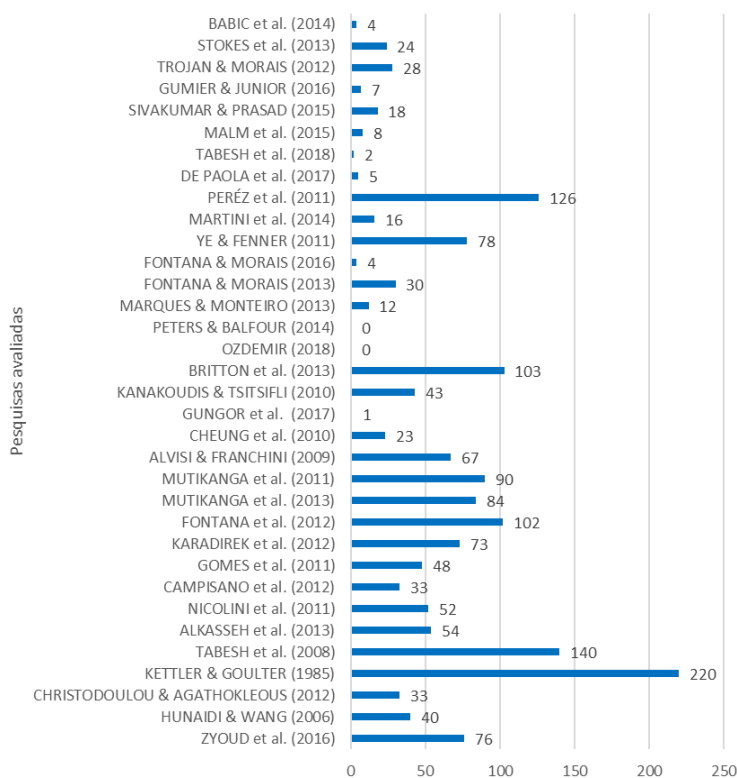


Figura 1: Número de citações por artigo.

O segundo artigo dos autores brasileiros Fontana & Morais (2016), possui 4 citações, justificado pela sua ordem mais recente, teve como objetivo a apresentação de um modelo de decisão integrando um método de valor de vários atributos, SMARTER, com uma abordagem de programação linear inteira na análise de um subconjunto de ações de manutenção preventiva para controle das perdas de água.

O estudo dos brasileiros Cheung et al. (2010) possui 23 citações e adotou duas técnicas para estimar vazamentos: Análise de fluxo mínimo noturno e processo de calibração (EPANET Calibrator). Como resultado da aplicação em redes de água no Sul do Brasil, ambos os métodos apresentaram resultados bastante semelhantes.

No único artigo publicado em revista nacional, Gumier & Junior (2006) aplicaram um modelo computacional de simulação e otimização para localização de fugas de água em uma rede da cidade de Jundiaí-SP.

A pesquisa de publicação mais antiga é o estudo realizado por Kettler & Goulter (1985), que analisou as taxas de quebra da tubulação de cimento amianto e de ferro fundido com o aumento do diâmetro e do tempo, avaliando a influência da gestão das infraestruturas no controle das perdas de água. Esse estudo, além de ser o mais antigo contido na amostra, é também o mais citado dentre as pesquisas, possuindo um total de 220 citações.

Em suma, a maioria dos estudos são artigos com mais de 5 anos de publicação, havendo apenas 2 que não possuem nenhuma citação até o momento, um deles do ano de 2018, sendo justificado por ser uma publicação de cunho bem recente. Em toda a amostra, os anos de 2010 a 2015 foram os que apresentaram o maior número de estudos sobre o tema, totalizando 24 pesquisas (Figura 2).

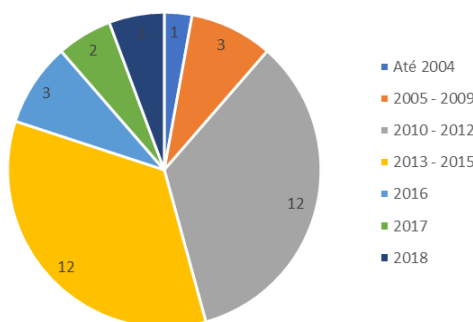


Figura 2: Número de artigos publicados por ano.

Em sua maioria, os estudos analisados neste trabalho concentram-se na Europa, Ásia, mais especificamente países do lado asiático da Turquia, América do Sul e América do Norte, nos demais continentes o contingente de pesquisas é baixo. A Figura 3 aponta os números de estudos de cada continente, com destaque para a Europa, que apresentou, aproximadamente 43% dentre os estudos, sendo estes desenvolvidos em países como: Itália, Espanha, Grécia, Chipre, Suécia, Servia e Portugal.

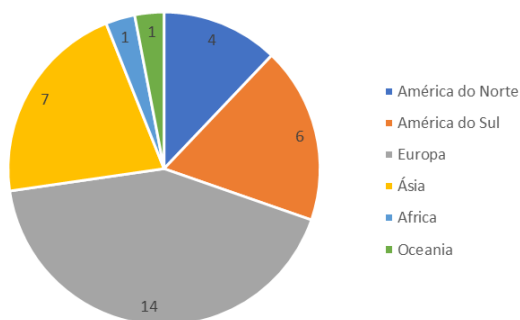


Figura 2: Continentes avaliados nas pesquisas.

Quanto aos países a amostra foi bem variada, apresentado em sua maioria países desenvolvidos já mencionados acima, mas também países subdesenvolvidos como Uganda, Trinidad e Tobago e Brasil.

- Ações para o aumento da eficiência dos sistemas de abastecimento

Existem diversas opções de redução de perdas de água. Decidir sobre qual opção escolher entre vários critérios conflitantes e interesses diferentes das partes é uma tarefa desafiadora. Para o auxílio na tomada de decisão de problemas complexos com incertezas inerentes, estudos como o de Zyoud et al. (2016); Mutikanga et al. (2011), Fontana & Morais (2013, 2016) e Trojan & Morais (2012) utilizaram os métodos multicritérios para suporte à decisão.

Em seu estudo usando o método multicritério Fuzzy AHP, Zyoud et al. (2016) mostraram que a estratégia de gestão e controle de pressão foi a ação mais prevalente para redução das perdas, seguida pelo emprego de técnicas avançadas e estabelecimento de DMCs. Para a cidade de Kampala, Uganda, a pesquisa de Mutikanga et al. (2011) adotou o método multicritério PROMETHEE II, resultando na priorização das alternativas de redução da perda de água, como: substituição de redes e linhas de serviço, seguida pelo gerenciamento de pressão e melhor velocidade e qualidade dos reparos. No trabalho de Fontana & Morais (2013), que utilizou o método multicritério SMARTER, foram adotadas restrições de limitações financeiras das empresas de abastecimento, resultando na seleção de um conjunto de alternativas para diminuição das perdas, dentre elas, a utilização de geofones eletrônicos para a detecção de vazamentos, o controle da pressão e o uso de campanhas publicitárias.

O problema da infraestrutura de envelhecimento das redes de distribuição de água urbana e a perda de água associada a isso tem sido um dos maiores problemas de infraestrutura nas áreas urbanas. O método multicritério

PROMETHEE V foi utilizado por Fontana & Morais (2013) no auxílio às empresas de abastecimento, que devido ao orçamento limitado têm de escolher pontos de rede a serem reabilitados. No estudo foram simulados cinco vazamentos, sendo ofertadas três medidas de reabilitação com cinco critérios para avaliar as alternativas, no caso simulado o método PROMETHEE V conseguiu obter uma medida de reabilitação para cada ponto de perda de água, respeitando as restrições impostas.

O modelo de decisão em grupo proposto por Trojan e Morais (2012) visou priorizar alternativas de manutenção de redes de distribuição de água, considerando critérios relevantes para analisar o problema e diferentes preferências dos gestores de diferentes setores, que vão desde o setor de manutenção ao comercial. O uso do método ELECTRE II para analisar as preferências individuais, em conjunto com o método COPELAND para agregar preferências individuais se mostrou eficiente, pois a partir dele foi desenvolvido um software para priorizar alternativas, dando aos tomadores de decisão uma visão mais abrangente das alternativas e elucidando as preferências dos membros do grupo de diferentes áreas.

A chamada água sem receita, que é a considerável diferença entre a água fornecida às redes e a quantidade de água faturada, é um dos principais problemas que afetam as concessionárias de água em países em desenvolvimento, visando isso, uma análise de sensibilidade com base na definição de risco e Fuzzy Inference Systems (FIS) foi utilizado por Tabesh et al. (2018) para calcular e descobrir quais fatores têm mais impacto nas águas sem receita, dos 41 parâmetros, “má gestão”, “Má formação de trabalhadores e especialistas”, “falta de substituição de dispositivos” e “seleção inadequada da qualidade de tubos e dispositivos” são de maior prioridade na avaliação de risco de água sem receita.

As perdas de água são inerentes a todos os sistemas de abastecimento de água. Problemas relacionados a vazamentos são comuns, sendo este um dos principais motivos das perdas de água. Além da perda de água, os vazamentos acarretam perda de energia, além de danos consideráveis nas propriedades. Segundo Fahmy et al. (2009), não são todos os vazamentos que podem ser detectados, devido ao alto custo de detecção do mesmo. A gestão de vazamentos pode ser melhorado se eles puderem ser detectados e corrigidos de forma eficaz e eficiente.

Equipamentos acústicos são comumente usados para localizar vazamentos em tubulações. Nestes estão incluídos resgistradores de ruído, despositivos de escuta simples e correlatores de ruídos. A eficiência da detecção de vazamentos com registradores de ruído é questionável, sendo os correlacionadores de ruído mais eficazes (HUNAIDI et al., 2004). Desta forma, em seu estudo Hunaidi & Wang (2006) apresentaram um novo sistema de correlação de ruído de vazamento, incorporado com vários novos desenvolvimentos, sendo o mais importante o aprimoramento do método de correlação que melhora a eficácia da localização de vazamentos em todos os tipos de tubo, incluindo os tubos de plástico, que são tradicionalmente mais difíceis. Outro aspecto relevante é o baixo custo associado e uso de computadores pessoais como plataforma para registrar e analisar os sinais de vazamento, eliminando os hardwares usuais.

Tabesh et al. (2008) apresentaram um modelo de vazamento integrado que é capaz de calcular e avaliar os componentes das perdas de água. Uma nova metodologia foi desenvolvida utilizando as estimativas de vazamento e os modelos hidráulicos (EPANET), baseando-se em dados de entrada reunidos em uma abrangente investigação de campo. Além disso, um novo procedimento foi introduzido, podendo determinar o vazamento nodal e do tubo usando um modelo de simulação hidráulica. Os resultados de saída podem ser exportados e analisados por um modelo GIS, onde neste, os dados do mapa e do atributo da rede são vinculados e os fatores que afetam o vazamento da rede são identificados.

O vazamento pós medidor tem um efeito importante no consumo doméstico de água. Sabendo disso, Britton et al. (2013) examinaram em Hervey Bay (Queensland, Austrália) até que ponto a divulgação em estágios de informações genéricas e personalizadas sobre vazamentos resultaria em reparos e/ou economia de água. As residências identificadas com vazamento pós medidores e que fazem uso de medição inteligente, tendo esta função de armazenar e transmitir medições em intervalos frequentes, foram submetidas a informações sobre perdas de água. A estratégia resultou em 70% dos vazamentos reparados por chefes de família e uma redução de 89% nos fluxos mínimos noturnos no período de duração do estudo em contraste com o grupo que não recebeu comunicação, que aumentou o consumo em 52%.

As investigações preliminares de um projeto de detecção de vazamentos em tubulações de distribuição de água usando vibrações foram apresentadas no estudo de Martini et al. (2014). O experimento foi realizado em um equipamento de teste e em um tubo de serviço real induzindo artificialmente vazamentos de ruptura. Os primeiros resultados se mostraram positivos, servindo para implementação de um algoritmo prototípico, necessitando este de melhorias adicionais. A longo prazo o projeto visa o desenvolvimento de um sistema de detecção automática de vazamentos de ruptura ocorridos em tubulações de serviço, devendo fornecer alertas antecipados em caso de ocorrência de explosão e ter integração com o sistema de leitura automática de medidores, ou seja, ambos devem compartilhar a mesmas fontes de alimentação e rede de transmissão de dados.

Stokes et al. (2013) apresentaram uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) que foi usada para quantificar a energia incorporada, as emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais evitados pela redução de vazamentos com o gerenciamento de pressão em duas empresas nos EUA, concluindo-se que incorporada a economia de energia está a redução de emissões de gases do efeito estufa, com boa relação custo-benefício, sendo está uma vantagem para áreas onde a água e energia são escassas.

A redução da pressão é um dos métodos mais aplicados para redução de vazamentos. A relação da pressão na redução dos vazamentos é bem documentada e possui métodos comprovados para reduzir as perdas, no que tange a influência da pressão no consumo de água, Babic et al. (2014) afirmaram que há necessidade de desenvolvimento de métodos mais precisos para prever a economia de água devido a redução da pressão, assumindo sua particular importância para empresas de países em desenvolvimento, cujas pressões são excessivas e uso de água irracional são observados. Métodos como: (i) método baseado nos cálculos do índice de vazamento, (ii) o modelo PRESMAC e (iii) um método recém desenvolvido que se baseia no pressuposto de que tanto a vazão quanto o consumo dependem da pressão, foram descritos e testados e concluiu-se uma maior precisão na aplicação do terceiro método.

A metodologia utilizada por Gomes et al. (2011) foi baseada em várias abordagens de avaliação de vazamentos da literatura e na modelagem de redes de distribuição de água. O estudo analisou através de simulações de rede as relações – pressão/ vazamento e pressão/ consumo durante a vazão mínima noturna para estimar a redução das perdas de água, que podem ser alcançadas a partir da gestão de pressão em DMCs.

Peters & Balfour (2014) utilizaram as medições de fluxo mínimo noturno para estimar as perdas nos DMCs de Moloney e Maraval, Trinidad e Tobago, 37% a 77% respectivamente. Através da simulação de redução de pressão de pelo menos 20 m nos pontos altos do DMC, foi considerado pelo estudo uma possível redução em mais de 70% das perdas, reduzindo de forma direta a frequência de ruptura dos canos em mais de 40%. De forma semelhante Cheung et al. (2010) utilizaram os dados do método de vazão mínima noturna (FMN) para estimar as perdas de água e comparar com o método de calibração, também mostrado no estudo. Ambos deram resultados de perdas parecidos 49,53 m³ para o FMN e 52,53 m³ para a calibração. Contudo, o estudo concluiu que a técnica de calibração é considerada interessante, visto que a modelagem de rede realizada antes da calibração permite a visualização global de toda a rede com suas pressões, vazões, demandas e picos de consumo. Por outro lado, o FMN requer medições preliminares em vários pontos da rede. Se o protocolo for cuidadoso e bem gerenciado, é um método simples e muito eficaz para estimar perdas reais.

As perdas de água em sistemas de abastecimento de água são influenciadas por diversos fatores infraestruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características da rede hidráulica e de fatores relacionados às práticas de operação e do nível de tecnologia do sistema. Kettler & Gouter (1985) foram um dos primeiros pesquisadores a examinar em detalhes as alterações nas taxas de falhas das tubulações de ferro fundido e cimento-amianto para os vários modos de falhas.

No estudo de Gungor et al. (2017), taxas quase nulas de falha espontâneas foram diagnosticadas após conclusão da reabilitação das redes na cidade de Denizli, Turquia, onde cerca de 340 km de novos tubos foram implantados em substituição dos antigos, que já haviam completado sua vida útil perdendo assim sua força de pressão. A redução da taxa de falhas como resultado da renovação da rede diminuiu significativamente o custo operacional do sistema, sendo possível minimizar efeitos indiretos, como custo de mão-de-obra e custo de material de tubulação. Com isso, entende-se que com taxas de falhas decrescentes há uma diminuição das perdas de água.

- Otimização

O gerenciamento de pressão atrelada ao uso de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) é de grande eficácia na redução da quantidade de perdas de água, e é uma das abordagens mais utilizadas quando se trata de gerenciamento de vazamentos em redes de distribuição. A pressão das redes é projetada para demandas de pico, de forma que sob condições normais, a pressão atende à demanda nodal, continuando excessiva quando o consumo é baixo, gerando assim grande vazamento devido ao excesso de pressão. Com tudo, grandes são as quantidades de pesquisas que usam métodos de programação ou otimização matemática relacionadas à condição de deficiência de pressão, bem como a localização ótima, o número e os valores de ajustes de pressão das VRPs.

Sivakumar & Prasad (2014) analisaram a condição de deficiência de pressão através do método de algoritmo modificado, observando que 90 m de pressão pode ser reduzida por VRP em situações de baixa demanda em um sistema real de Itanagar na Índia. No estudo de De Paola et al. (2017), o gerenciamento de pressão através de VRPs foi abordado com referência particular às técnicas de otimização meta-heurísticas, utilizando o algoritmo Harmony-Search (HS) na determinação da localização e ajuste ideal do número de VRPs, visando a diminuição da pressão excedente nas redes. A abordagem se provou eficaz, produzindo bons resultados e reduzindo o tempo computacional. Os autores acima citados, aplicaram seus estudos em uma rede em Nápoles, Itália e uma conhecida rede teste de literatura de Jowitt e Xu, que também foi utilizado por Campisano et al. (2012) na apresentação de um método para calibrar os controladores para o Controle em Tempo Real (CTR) de válvulas de pressão motorizadas em redes de distribuição visando reduzir o vazamento durante o período de operação normal.

O equilíbrio entre reduzir demais a pressão para controle das perdas e do uso da eletricidade, mantendo a pressão alta o suficiente para manter o nível de serviço, é um desafio para as empresas de abastecimento de água, com isso Wasserkrug et al. (2014) criaram um algoritmo de otimização que pode fornecer recomendações sobre como definir as VRPs de maneira ideal, considerando os detalhes da rede e os variados objetivos.

Nicolini et al. (2011) aplicaram duas metodologias de otimização a uma rede de Buja (Udini, Itália). O primeiro envolve a calibração do modelo, enquanto o segundo aborda o problema do gerenciamento ideal de vazamentos. Problemáticas como localização ótima e regulação das VRPs e o uso mínimo das mesmas, atreladas ao custo de implantação e minimização de vazamentos foram resolvidas. Também na Itália, Alvisi & Franchini (2009) apresentaram em seu estudo um procedimento de programação ótima, cujo otimizador utilizado foi o algoritmo genético multiobjetivo NSGA II utilizado para detecção de intervenções de vazamento e substituição de tubulação em um sistema de distribuição de água, levando em conta os recursos alocados em cada ano.

Segundo Gumier & Junior (2006), os modelos computacionais de simulação hidráulica de sistemas de distribuição têm como objetivo reproduzir, através de um equacionamento matemático o comportamento real da rede que representa. Utilizando o município de Jundiaí, São Paulo, os autores aplicaram um modelo matemático-computacional de simulação e otimização de fugas. O modelo conduziu a resultados esperados na detecção de fugas simuladas, em grande parte a boa qualidade do cadastro técnico da rede, visto que nem sempre está é uma realidade na maioria das companhias de água. O método ainda se mostrou relevante nas campanhas de investigações de fuga, reduzindo, substancialmente, a área a ser pesquisada com aparelhos acústicos.

- Impacto energético das perdas de água

As perdas de água proporcionam desperdícios de energia elétrica. A água deve ser transportada desde sua origem até o usuário final, resultando em grande consumo de energia, uma vez que uma grande demanda de energia é solicitada para extrair, tratar e bombear água potável.

Estudos como o de Alkassseh *et al.* (2013) citaram o custo energético desperdiçado no bombeamento de vazamentos e a importância da reparação do mesmo, levando em conta que a média mundial de perda de água está estimada em 30%, sendo a mesma proporção de energia perdida e os níveis de vazamentos responsáveis

por mais de 25% da energia total utilizada. Por sua vez, Mutikanga et al. (2013) mencionaram que o vazamento geralmente leva à interrupção do serviço de abastecimento, sendo dispendioso em termos de perdas de energia. É citado o gerenciamento de pressão como forma não apenas de reduzir o vazamento, mas também prolongar a vida útil das infraestruturas, reduzir os custos de manutenção e operação através da redução de frequência de interrupções e do consumo de energia.

Fontana et al. (2012) após apresentar uma breve revisão de literatura sobre Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) e a aplicação de turbinas ou bombas operando como turbina para geração de energia, avaliaram as receitas potenciais da recuperação de energia, em vez de dissipar o excesso de pressão, de uma rede de distribuição na cidade de Nápoles (Itália). Um modelo de simulação utilizando algoritmos genéticos foi desenvolvido para avaliar a localização ótima de VRPs para reduzir perdas. Em uma fase seguinte, alguns ou todos os VRPs foram substituídos por bombas operando como turbina para geração de energia hidrelétrica. As receitas potenciais e a redução da perda de água foram estimadas para o estudo de caso, concluindo que uma recuperação de energia relativamente grande poderia ser acoplada a uma redução significativa na perda de água.

- Impacto econômico das ações de combate as perdas

Para a determinação da viabilidade econômica de um processo é preciso não só analisar os benefícios trazidos por este, mas também comparar com os recursos necessários para a implantação do sistema. Através de uma análise custo benefício combinada (CBC) e análise de incerteza, Malm et al. (2015) em seu estudo, apresentaram um novo método para suporte à decisão no gerenciamento do controle de vazamentos. Os custos considerados no estudo foram os da concessionária de Gotemburgo na Suécia, sendo os custos sociais, ambientais e de emissão de carbono retirados, devido ao seu baixo valor monetário. Após avaliação dos custos envolvidos em cada alternativa, o estudo de caso mostrou que a alternativa de realizar reparos locais de vazamentos de forma reativa foi mais econômico do que substituir de forma proativa os canos antigos, apesar da alta taxa de vazamentos.

Em seu estudo de ciclo de vida, Stokes et al. (2013) concluíram que os custos de gestão de pressão são baixos devido a simplicidade e vida relativamente longa do sistema (50 anos), e que pressões baixas prolongam a vida dos tubos, de modo que para um setor composto por milhares de metros de tubulação, qualquer aumento na vida útil do tubo pode resultar em economias significativas, permitindo assim investimento em outras áreas.

Fontana et al. (2012) estimaram a ordem de magnitude do período de retorno do investimento para instalações de bombas operando como turbina para controle de perdas e produção de energia. Os custos de bombas foram estimados em 1.500 € por kW, o trabalho civil e os custos com dispositivos foram estimados em 30% dos custos de bombas, o custo de manutenção foi estimado em 15% do total. O custo de instalação as receitas foram calculadas de acordo com a Lei Italiana Financeira, com um preço de venda de 220 € por MWh. A análise econômica dos três cenários apresentados no estudo resultou em um atraente período de retorno, igual a aproximadamente 2,5 anos para dois cenários e aproximadamente 3 anos para outro. A análise econômica preliminar apontou que o acoplamento da redução da perda de água com a geração de energia hidrelétrica nas redes de distribuição de água pode fornecer às agências de água uma visão estratégica e uma política inovadora para o desenvolvimento sustentável.

Gungor et al. (2017) examinaram efeitos da renovação de redes da cidade de Denizli, Turquia, na gestão de perdas de água. Os autores observaram a quase ausência de falhas espontâneas na região onde houve a reabilitação. Diminuir a taxa de falha para cerca de zero na região resultou na redução de custos e de vazamentos por falhas, bem como aumentou a qualidade do serviço, fornecendo condições normais de operação ao sistema. Desta forma, foi concluíram que o custo de investimento do trabalho de renovação de rede se amortiza em curto período de tempo quando se considera: custos de operação, manutenção e reparo da rede, custos para pesquisas de novas fontes de água, taxas de perda de água e perdas econômicas e custos de energia.

Britton et al. (2013) analisaram um sistema de Queensland (Austrália), estimaram os custos envolvidos em reparos de vazamentos. Segundo os autores, quase 70% dos vazamentos foram avaliados em AUD\$ 200 ou menos, apenas 6 vazamentos (5%) tiveram custos variando de AUD\$ 1501 a AUD\$ 4000, justificadas por ser vazamento de água quente, consideravelmente mais caro, pois envolve escavação de concreto/parede e substituição de tubulações internas de cobre. O custo médio de reparação doméstica foi de AUD\$ 272,85.

CONCLUSÕES

Conclui-se, com base nos resultados, que a literatura avançou significativamente no desenvolvimento de novos métodos e/ou instrumentos para o controle de perdas de água em sistemas de distribuição de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALKASSEH, M. A.; ADLAN, M. N.; ABUSTAN, I.; AZIZ, H. A. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: A case study in Kinta Valley, Malaysia. *Water Resources Management*, v. 27, n. 5, p. 1439-1455, 2013.
2. ALMANDOZ, J.; CABRERA, E.; ARREGUI, F.; JUNIOR, E. C.; COBACHO, R. Leakage assessment through water distribution network simulation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 131, n. 6, p. 458-466, 2005.
3. ALVISI, S.; FRANCHINI, M. Multiobjective optimization of rehabilitation and leakage detection scheduling in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 135, n. 6, p. 426-439, 2009.
4. BABIC, B.; DUKIC, A.; STANIC, M. Managing water pressure for water savings in developing countries. *Water SA*, v. 40, n. 2, p. 221-232, 2014.
5. BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. *Perdas de água: Tecnologias de controle*. 1. ed. João Pessoa: Ed. UFPB, 2013.
6. BRITTON, T. C.; STEWART, R. A.; O'HALLORAN, K. R. Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management. *Journal of Cleaner Production*, v. 54, p. 166-176, 2013.
7. BUCHBERGER, S. G.; NADIMPALLI, G. Leak estimation in water distribution systems by statistical analysis of flow readings. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 130, n. 4, p. 321-329, 2004.
8. CAMPISANO, A.; MODICA, C.; VETRANO, L. Calibration of proportional controllers for the RTC of pressures to reduce leakage in water distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 138, n. 4, p. 377-384, 2012.
9. CHEUNG, P. B.; GIROL, G. V.; ABE, N.; PROPATO, M. Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system. *Integrating Water Systems*, p. 509-513, 2010.
10. CHRISTODOULOU, S.; AGATHOKLEOUS, A. A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 12, n. 4, p. 523-530, 2012.
11. CHRISTODOULOU, S.; AGATHOKLEOUS, A.; KOUNOUEDES, A.; MILIS, M. Wireless sensor networks for water loss detection. *European Water*, v. 30, p. 41-48, 2010.
12. CUNHA MARQUES, R.; MONTEIRO, A. J. Application of performance indicators to control losses: results from the Portuguese water sector. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 3, p. 127-133, 2003.
13. DE PAOLA, F.; GIUGNI, M.; PORTOLANO, D. Pressure management through optimal location and setting of valves in water distribution networks using a music-inspired approach. *Water Resource Management*, v. 31, p. 1517-1533, 2017.
14. DIAO, K.; ZHOU, Y.; RAUCH, W. Automated creation of district metered area boundaries in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 139, n. 2, p. 184-190, 2013.
15. FAHMY, M.; MOSELHI, O. Detecting and locating leaks in underground water mains using thermography. In: *Proceedings of the 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2009.
16. FARLEY, M.; TROW, S. *Losses in water distribution networks: A practitioners' guide to assessment, monitoring and control*. IWA publishing, v. 4, 2005.

17. FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Decision model to control water losses in distribution networks. *Production*, v. 26-4, p. 688-697, 2016.
18. FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Using Promethee V to Select Alternatives so as to Rehabilitate Water Supply Network with Detected Leaks. *Water Resources and Management*, 2011.
19. FONTANA, N.; GIUGNI, M.; PORTOLANO, D. Losses reduction and energy production in water-distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 138, n. 3, p. 237-244, 2012.
20. GIUSTOLISI, O.; SAVIC, D.; KAPELAN, Z. Pressure-driven demand and leakage simulation for water distribution networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 134, n. 5, p. 626-635, 2008.
21. GOMES, R.; MARQUES, A. S.; SOUSA, J. Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. *Urban Water Journal*, v. 8, n. 2, p. 65-77, 2011.
22. GUMIER, C. C.; JUNIOR, E. L. Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de distribuição. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 32-41, 2007.
23. GÜNGÖR, M.; YARAR, U.; FIRAT, M. Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, p. 498, 2017.
24. HUNAIDI, O.; CHU, W. T. Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes. *Applied Acoustics*, v. 58, n. 3, p. 235-254, 1999.
25. HUNAIDI, O.; WANG, A. A new system for locating leaks in urban water distribution pipes. *Management of Environmental Quality: An International*, v. 17, n. 4, p. 450-466, 2006.
26. HUNAIDI, O.; WANG, A.; BRACKEN, M.; GAMBINO, T.; FRICKE, C. Acoustic methods for locating leaks in municipal water pipe networks. *International Water Demand Management Conference*, p. 1-14, 2004.
27. KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S. Results of an urban water distribution network performance evaluation attempt in Greece. *Urban Water Journal*, v. 7, n. 5, p. 267-285, 2010.
28. KARADIREK, I. E.; KARA, S.; YILMAZ, G.; MUHAMMETOGLU, A. MUHAMMETOGLU, H. Implementation of hydraulic modelling for water-loss reduction through pressure management. *Water Resources Management*, v. 26, n. 9, p. 2555-2568, 2012.
29. KETTLER, A. J.; GOULTER, I. C. An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 12, n. 2, p. 286-293, 1985.
30. KHAN, K.S.; KUNZ, R.; KLEIJNEN, J.; ANTES, G. Five steps to conducting a systematic review. *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 96, n. 3, p. 118-121, 2003.
31. KHULIEF, Y. A.; KHALIFA, A.; MANSOUR, R. B.; HABIB, M. A. Acoustic Detection of Leaks in Water Pipelines Using Measurements inside Pipe. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, v. 3, p. 47-54, 2012.
32. MALM, A.; MOBERG, F.; ROSÉN, L.; PETTERSSON, T. J. R. Cost-Benefit analysis and uncertainty analysis of water loss reduction measures: Case study of the Gothenburg drinking water distribution system. *Water Resource Management*, v. 29, p. 5451-5468. 2015.
33. MARTINI, A.; TRONCOSSI, M.; RIVOLA, A.; NASCETTI, D. Preliminary Investigations on Automatic Detection of Leaks in Water Distribution Networks by Means of Vibration Monitoring. *Advances in Condition Monitoring in Non-Stationary Operations*, p. 535-544, 2014.
34. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Methods and tools for managing losses in water distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 139, n. 2, p. 166-174, 2013.
35. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. *Water Resources Management*, v. 25, n. 14, p. 3947, 2011.
36. NICOLINI, M.; GIACOMELLO, C.; DEB, K. Calibration and optimal leakage management for a real water distribution network. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 137, n. 1, p. 134-142, 2011.
37. NICOLINI, M.; ZOVATTO, L. Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 135, n. 3, p. 178-187, 2009.
38. ÖZGÜR, O. Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, p. 182, 2018.
39. PÉREZ, R.; PUIG, V.; PASCUAL, J.; LANDEROS, E.; JORDANAS, L. Pressure sensor distribution for leak detection in Barcelona water distribution network. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 9, n. 6, p. 715-721, 2009.

40. PÉREZ, R.; PUIG, V.; PASCUAL, J.; QUEVEDO, J.; LANDEROS, E.; PERALTA, A. Methodology for leakage isolation using pressure sensitivity analysis in water distribution networks. *Control Engineering Practice*, v. 19, n. 10, p. 1157-1167, 2011.
41. PÉREZ, R.; SANZ, G.; PUIG, V.; QUEVEDO, J.; ESCOFET, M. A. C.; NEJJARI, F.; MESEGUER, J.; CEBRANO, G.; TUR, J. M. M.; SARRATE, R. Leak Localization in Water Networks: A Model-Based Methodology Using Pressure Sensors Applied to a Real Network in Barcelona. *IEEE Control Systems Magazine*, 2014.
42. PETERS, E. J.; BALFOUR, K. D. Water Losses and the Potential of Reducing System Pressure: A Case Study in Trinidad. *The West Indian Journal of Engineering*, v. 37-1, p. 50-57, 2014.
43. PONCE, M. V.; GARZA-CASTAÑÓN, L. E.; CAYUELA, V. P. Model-based leak detection and location in water distribution networks considering an extended-horizon analysis of pressure sensitivities. *Journal of Hydroinformatics*, v. 16-3, 2014.
44. SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.
45. SARRATE, R.; BLESÁ, J.; NEJJARI, F.; QUEVEDO, J. Sensor placement for leak detection and location in water distribution networks. *Water Science & Technology: Water Supply*, v. 14-5, 2014.
46. SILVA, M. A. L. Revisão sistemática sobre o uso de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes. Caruaru, 2018. Trabalho de conclusão de curso-Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
47. SIVAKUMAR, P.; PRASAD, R. K. Extended period simulation of pressure-deficient networks using pressure reducing valves. *Water Resource Management*, v. 29, p. 1713-1730, 2015.
48. STOKES, J. R.; HORVATH, A.; STURM, R. Water loss control using pressure management: Life-cycle energy and air emission effects. *Environmental Science & Technology*, v. 47, p. 10771-10780, 2013.
49. TABESH, M.; ROOZBAHANI, A.; ROGHANI, B.; FAGHIHI, N. R.; HEYDARZADEH, R. Risk assessment of factors influencing non-revenue water using Bayesian networks and Fuzzy logic. *Water Resource Management*, v. 32, p. 3647-3670, 2018.
50. TABESH, M.; ASADIYANI YEKTA, A. H.; BURROWS, R. An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems. *Water Resources Management*, v. 23, p. 477-492, 2009.
51. TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Prioritising alternatives for maintenance of water distribution networks: A group decision approach. *Water SA*, v. 38, n. 4, p. 555-564, July. 2012.
52. WASSERKRUG, S.; TSITKIN, A.; ZADOROJNIY, A. Relieving pressure: Optimizing water distribution pressure management at Valley of the Moon water district. *Interfaces*, v. 44, n. 5, p. 509-524, 2014.
53. YE, G.; FENNER, R. A. Kalman filtering of hydraulic measurements for burst detection in water distribution systems. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, v. 2, n. 1, p. 14-22, 2011.
54. ZYOUD, S. H.; KAUFMANN, L. G.; SHAHEEN, H. SAMHAN, S.; FUCHS-HANUSCH, D. A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, v. 61, p. 86-105, 2016.