

XI-081 – PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO BASEADO EM REVISÃO SISTEMÁTICA

João Ferreira da Silva Júnior⁽¹⁾, Gleibson Rodrigo Silva de Oliveira, Sérgio Francisco Tavares de Oliveira Mendonça, Fernanda Maria Ribeiro de Alencar

Mestrando em Engenharia Elétrica pelo Centro de Tecnologia e Geociências (CTG/UFPE). Analista de Tecnologia da Informação (Compesa).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Cruz Cabugá, 1387 – Santo Amaro – Recife – PE – CEP: 50040-000 – Brasil – Tel: (87) 9 9809-6166 – e-mail: joaofferreirape@compesa.com.br

RESUMO

No Brasil os indicadores de desempenho do setor de saneamento mostram uma alta ineficiência, apesar de nos últimos 10 anos ter sido observada uma redução de 6% no total das perdas, cerca de 40% do total de água produzida ainda é desperdiçada, quando, segundo o Banco Mundial, o valor aceitável para os países em desenvolvimento está entre 4% e 8%. Outro ponto a ser observado diz respeito a qualidade das informações disponíveis na grande rede mundial de computadores quando o assunto é “perdas em sistemas de distribuição de água”, com informações dispersas ou apenas sobre ações gerenciais pontuais no monitoramento ou na apresentação de dados históricos sobre as perdas. Problema recorrente de relevância mundial, as perdas são responsáveis por substanciais prejuízos financeiros, sociais e ambientais, tanto às empresas quanto à sociedade, além de inferir em questão ambiental quando forçam à exaustão os mananciais de água no intuito de suprir a demanda de consumo. O objetivo desta pesquisa foi identificar a produção científica e literatura cinza disponível a fim de encontrar quais são os métodos, técnicas ou tecnologias utilizadas para detectar e mitigar os efeitos das perdas em sistemas de distribuição de água. O trabalho foi executado em duas etapas. Na primeira, realizou-se uma revisão de literatura e, posteriormente, um mapeamento sistemático da literatura a fim de identificar evidências publicadas na área de estudo. Dos estudos realizados podemos destacar uma importante contribuição, em função de perdas em sistemas de distribuição de água, identificando como são detectadas, quais são estratégias utilizadas para combater as perdas, e quais são as ferramentas ou métodos que auxiliam durante este processo.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, indicador de desempenho, perdas de água, sistema de distribuição de água, revisão sistemática.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado e seu consumo descontrolado leva à exaustão dos mananciais, ocasionando questões de ordem ambiental e agravando questões de ordem social quando da ocorrência de desabastecimentos ou impossibilidade de fornecimento de água para a população. Considerando as recomendações da (WHO, 2011) o acesso aos serviços de saneamento básico devem englobar o fornecimento da água tratada de forma ampla e irrestrita à população, no intuito de prover qualidade de vida por meio da promoção à saúde.

Em face à escassez de água vivida nos últimos anos a boa gestão dos recursos hídricos assume um papel prioritário nas definições de políticas públicas, pois impactam severamente nos diversos setores econômicos da sociedade, no meio ambiente e na qualidade de vida da população. (EPA, 2010).

Um dos aspectos importantes observados no setor de saneamento são as perdas de água, que ocorrem durante todos os processos operacionais do sistema de abastecimento de água. Apesar de sua menor representatividade no consumo, em média 30% do consumo total, as maiores perdas de água são encontradas com maior frequência nas redes de distribuição urbanas que fornecem água para os setores da indústria e comércio e para o consumo residencial.

As perdas são de fato inerentes, mas indesejáveis, aos sistemas de abastecimento de água. Constituem o índice de perdas, um dos principais indicadores de desempenho das empresas do setor de saneamento. Reduzir as perdas, em todo o sistema de abastecimento, se mostra como um grande desafio do setor, na medida que afeta

diretamente os aspectos social, financeiro e ambiental quando da disponibilidade de água para captação e posterior oferta. Por isto se faz necessário o devido controle através da gestão das perdas, possibilitando o melhor aproveitamento da capacidade hídrica. Este trabalho teve como objetivo geral realizar um mapeamento sistemático da literatura, no intuito de identificar quais métodos, estratégias e ferramentas são utilizadas para detectar e combater as perdas em sistemas de distribuição de água. Foi realizado um mapeamento sistemático da literatura que avaliou a literatura cinza disponível e a produção científica de empresas e pesquisadores da área de saneamento;

O trabalho foi executado em duas etapas. Na primeira, realizou-se uma revisão de literatura, comumente um passo inicial em qualquer pesquisa empreendida, utilizada para confirmar a escolha da área de pesquisa a ser trabalhada e para identificar evidências publicadas na área de estudo. Também fornece uma concepção inicial sobre o corpo de conhecimento. Posteriormente, investigou-se através de um mapeamento sistemático da literatura, um tipo de investigação científica considerado como estudo observacional de trabalhos anteriores ou estudo de recuperação e análise crítica da literatura. Amplamente são utilizadas as recomendações propostas por (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) que dividem o processo de conduzir um mapeamento sistemático em 3 passos: a) planejamento; b) condução; e, c) relato. O planejamento tem como saída o protocolo do mapeamento contendo o escopo e as questões de pesquisa que levam à construção de uma expressão geral de busca. Na condução da pesquisa os trabalhos são identificados e os dados são extraídos, neste momento também é feita a síntese e análise dos dados. Por fim, no relato é produzido um relatório final de resultados que encerra o processo de mapeamento tendo como saída o resultado final e discussão dos dados.

Dos estudos realizados podemos destacar uma importante contribuição, em função de perdas em sistemas de distribuição de água, identificando como são detectadas as perdas, quais estratégias para combater as perdas são utilizadas, e quais são as ferramentas ou métodos que auxiliam durante este processo.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão da literatura pode ser sintetizada como o processo de perquirir, analisar e representar o corpo do conhecimento em torno de um tema de pesquisa específico, através da análise do material disponível à consulta e de conteúdo relevante, apresentado sob a forma de livros, artigos científicos, teses e dissertações, relatório e manuais.

Não devendo, entretanto, negligenciar a importância do conteúdo conhecido como literatura cinza, material amplamente produzido por empresas ou órgãos governamentais e disponível à consulta, mas por vezes não indexado em motores de busca.

Dentre os métodos utilizados para realizar uma revisão de literatura existe o Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), bastante difundido e utilizado na academia é projetado para ser metódico, formal e auditável, permitindo a fácil replicação por outros pesquisadores. Na Figura 1 é ilustrada uma visão expandida dos processos de mapeamento sistemático da literatura contendo um resumo de atividades e saídas.

Amplamente são utilizadas as recomendações propostas por (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) que dividem o processo de conduzir um mapeamento sistemático em 3 fases:

- a) planejamento, tem como saída o protocolo do mapeamento contendo o escopo e as questões de pesquisa que levam à construção de uma expressão geral de busca;
- b) condução da pesquisa, os trabalhos são identificados e os dados são extraídos, neste momento também é feita a síntese e análise dos dados;
- c) relatório de resultados, encerra o processo de mapeamento tendo como saída o resultado final e discussão dos dados.

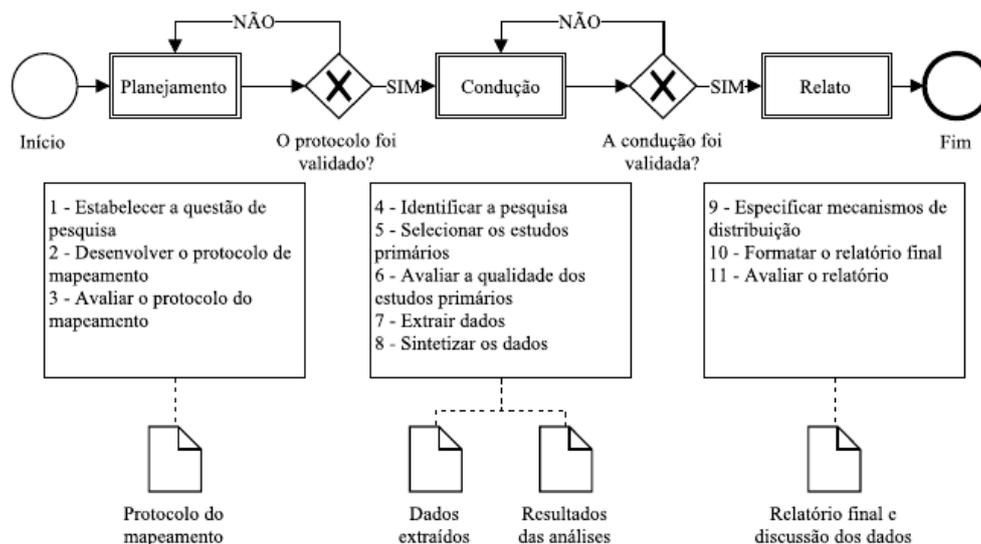


Figura 1: Visão expandida dos processos de MSL

Existe muito material a respeito do tema deste trabalho que não é acessível através dos motores de busca, por este motivo foram incluídos manualmente no mapeamento sistemático.

Para documentos classificados como literatura cinza, manual ou relatório técnico, foram executadas buscas manuais nos repositórios de documentos digitais das principais associações internacionais da área de saneamento e nos repositórios do Ministério das Cidades do Governo Federal do Brasil.

- Ministério das Cidades do Governo Federal do Brasil:
 - SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental;
 - PMSS – Programa de Modernização do Setor de Saneamento;
 - SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
- EPA – United States Environmental Protection Agency;
- ILMSS Ltd – International Leakage Management Support Services.

A SNSA tem como missão assegurar à população seus direitos humanos fundamentais de acesso à água potável em qualidade e quantidade suficientes e tem como objetivo promover o avanço do setor de saneamento rumo à universalização do abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, gestão dos resíduos sólidos urbanos, além do adequado manejo das águas pluviais urbanas, com o consequente controle de enchentes.

O PMSS é um instrumento permanente de apoio à gestão das políticas de saneamento do Governo Federal do Brasil, tem suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor de saneamento no país. (FRANGIPANI, 2007)

O SNIS é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro. O sistema possui uma base de dados que contém informações e indicadores sobre a prestação de serviços de água e esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos.

A agência EPA trata nos Estados Unidos de questões ambientais e consequentemente do uso da água, possui um corpo científico voltado, entre outros temas, a estudos sobre sustentabilidade no uso da água.

A organização ILMSS Ltd foi criada para promover estudos e melhorias sobre as práticas de gestão das perdas de água. Possui membros em diversos países, inclusive no Brasil.

Para os trabalhos classificados como dissertações, teses, artigos científicos, livros e capítulos de livro, foram executadas buscas nos indexadores de trabalhos científicos recuperados a partir da busca por base no portal

Periódicos CAPES¹ para as áreas de engenharias e subáreas engenharia elétrica, eletrônica e telecomunicações. Na Tabela 1 é apresentada a relação de fontes de pesquisa utilizadas neste trabalho.

A partir destas fontes de pesquisa especificadas foram recuperados trabalhos nos idiomas inglês e português produzidos ou publicados nos últimos 10 anos, de 2006 a 2016, que são de interesse devido a estes apresentarem conceitos e estratégias mais atuais e diretamente relacionados ao tema da pesquisa. Entretanto houveram alguns trabalhos além deste período devido ao grau de reconhecimento que lhes é conferido.

QUESTÕES DE PESQUISA

As seguintes questões de pesquisa foram levantadas no intuito de prover conhecimento acerca do tema de perdas em sistemas de distribuição de água:

- Q1 – Como são detectadas as perdas em sistemas de abastecimento de água?
 – esta questão objetiva identificar quais são as propostas estudadas pela academia para solução do problema de perdas.

Tabela 1: Fontes de pesquisa

Tipo	Fonte	Endereço
Literatura cinza	SNSA	http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades
	PMSS	http://www.pmss.gov.br
	SNIS	http://www.snis.gov.br
	EPA	https://www.epa.gov
	ILMSS	http://www.leakssuite.com
Indexadores	ACM Digital Library	http://dl.acm.org
	Engineering Village	https://www.engineeringvillage.com
	Emerald	http://www.emeraldinsight.com
	IEEE Xplore digital Library	http://www.emeraldinsight.com
	ProQuest	http://search.proquest.com
	ScieELO	http://search.scielo.org
	ScienceDirect	http://www.sciencedirect.com
	Scopus	https://www.scopus.com
	Taylor & Francis Online	http://www.tandfonline.com
	Web of Science	https://www.webofknowledge.com
Wiley Online Library	http://onlinelibrary.wiley.com	

- Q2 – Que estratégias são utilizadas para combater as perdas em sistemas de distribuição de água?
 – com esta questão se busca conhecer quais são as ações executadas para gestão das perdas ou de maneira preventiva identificar e evitar que elas ocorram.

- Q3 – Existem ferramentas ou métodos que auxiliam no processo? Quais são?
 – por fim esta questão tem como objetivo identificar quais são as ferramentas computacionais ou aplicação de modelos matemáticos que são utilizados para apoiar a detecção das perdas.

EXPRESSÃO DE BUSCA

O processo que leva à construção de uma expressão geral de busca inicia pela definição das palavras-chave a partir de estudos primários.

¹ <http://www.periodicos.capes.gov.br>

Consultando a literatura disponível sobre o tema deste trabalho foram elencadas as principais palavras-chave, ou *keywords*, que referenciam perdas em sistemas de distribuição de água. Na Tabela 2 estão relacionadas palavras-chave elencadas para este trabalho.

A expressão de busca foi determinada com base em refinamento das palavras-chave no intuito de cobrir ao máximo a ocorrência de sinônimos e variações linguísticas. A seguir são exibidas as expressões de busca para os idiomas determinados, cada expressão foi posteriormente adaptada para as peculiaridades dos buscadores nas respectivas fontes de pesquisa.

Expressão de busca em inglês

((control OR detect) AND (losses OR leak OR leakage) AND water AND ((distribution OR supply) AND (network OR system)))

Expressão de busca em português

((controlar OR detectar) AND (perdas OR vazamento) AND ((rede OR sistema) AND (abastecimento OR distribuicao OR fornecimento)) AND agua)

Tabela 2: Palavras-chave de pesquisa

Idioma principal (inglês)	Idioma secundário (português)
water losses	perdas de água
leak or leakage on transmission and distribution mains	vazamento nas adutoras e redes
leak or leakage on service connections	vazamento nos ramais
control water losses	controlar perdas de água
detect water losses	detectar perdas de água
water (distribution or supply) network	rede de (abastecimento ou distribuição ou fornecimento) de água
water (distribution or supply) system	sistema de (abastecimento ou distribuição ou fornecimento) de água

PROCEDIMENTOS PARA BUSCA DE PUBLICAÇÕES

Foram executadas buscas em mecanismos digitais a partir de seus respectivos websites, de acordo com a segmentação:

- a) para documentos classificados como literatura cinza, documentação ou relatório técnico, executada busca manual pelo tema perdas em sistemas de distribuição de água:
 - nos “websites” das associações internacionais especializadas na área de saneamento;
 - nos repositórios de documentos digitais do Ministério das Cidades do governo federal brasileiro;
- b) para trabalhos de dissertações, teses, artigos científicos, livros e capítulos de livro:
 - indexadores de trabalhos científicos.

CRITERIOS PARA SELECAO DAS FONTES DE PESQUISA

Com relação a literatura cinza é tácito o conhecimento dos repositórios de documentos digitais das principais associações nacionais e internacionais da área de saneamento, há também os repositórios do Ministério das Cidades do Governo Federal do Brasil que são abertos e de livre consulta. Quanto aos indexadores de trabalhos científicos, foi necessário atentar para que:

- a) o indexador deve ser acessível através de redes vinculadas à CNPQ/CAPES;
- b) o indexador deve retornar trabalhos científicos disponíveis para leitura na íntegra, acessados através de redes vinculadas à CNPQ/CAPES;
- c) o indexador deve aceitar *strings* de busca compostas por operadores lógicos, conforme a seção EXPRESSÃO DE BUSCA, e adaptadas de acordo com as regras estabelecidas por cada mecanismo de busca;
- d) o indexador deve exportar o resultado da consulta no formato *bibtex* ou disponibilizar outro formato semelhante; e,

- e) o indexador deve estar escrito e retornar trabalhos em algum dos idiomas definidos.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Esta etapa é composta pela seleção de trabalhos com base em critérios de inclusão e exclusão, seleção dos estudos primários e finalmente pela catalogação dos trabalhos relevantes com base nos critérios estabelecidos:

- a) o trabalho deve estar relacionado ao escopo desta pesquisa;
- b) o trabalho deve estar escrito em algum dos idiomas definidos;
- c) o trabalho deve estar disponível na íntegra para leitura, acessado através de redes vinculadas à CNPQ/CAPES;
- d) quando recuperado a partir de indexadores de trabalhos científicos deverá ser:
 - – um artigo publicado em periódico, revista ou anais de conferência, *article* ou *inproceedings*;
 - – livro, *book* ou *booklet*;
 - – capítulo de livro, *inbook* ou *incollection*;
 - – teses e dissertações, *masterthesis* ou *phdthesis*;
- e) quando recuperado a partir de repositórios de literatura cinza:
 - – documentação técnica, manual;
 - – relatório técnico, *techreport*;
- f) o trabalho de ter sido produzido dentro do período de 10 anos, de 2006 até 2016.

CONDUÇÃO

A identificação e seleção dos estudos foram executadas de acordo com o protocolo estabelecido.

Tabela 3: Resultado do mapeamento sistemático

Fonte de busca	Aceitos	Duplicados	Fase 1	Fase 2	Incluídos
ACM	71	21	35	17	8
Engineering Village	302	90	148	74	37
Emerald Insight	34	10	16	8	4
IEEE	185	55	91	45	22
ProQuest	195	58	95	47	23
Scielo	6	1	3	1	0
Science Direct	378	113	185	92	46
Scopus	768	230	376	188	94
Taylor & Francis Online	40	12	19	9	4
Web of Science	127	38	62	31	15
Wiley Online Library	72	21	35	17	8
Total	2178	649	1065	529	261

Foi utilizada ferramenta StArt2 para apoiar o processo de condução, organização e análise dos estudos primários na primeira fase de seleção. Na segunda fase foi utilizado o Microsoft Excel para organizar e analisar os dados.

Após execução de busca nas fontes de pesquisa relacionadas, foram recuperados inicialmente 2.178 estudos, após a aplicação dos critérios de seleção através da análise do título e do resumo restaram 1.065 trabalhos. Dos quais após nova aplicação dos critérios de seleção, restaram 529 trabalhos, conforme resumido na Tabela 3.

Por fim após a aplicação dos referidos filtros 261 trabalhos foram selecionados para inclusão, como pode ser observado na Tabela 3. Destes 261 estudos incluídos foram identificados 16 que tiveram maior aderência à esta pesquisa, relacionados na Tabela 4.

A Figura 3 exibe o gráfico da quantidade de trabalhos incluídos por ano e apresenta uma linha de tendência que demonstra um crescimento no interesse da comunidade em pesquisar soluções para o problema de ineficiência no sistema de distribuição de água. Comparando os gráficos da Figura 3 e da Figura 2 nota-se que o número de trabalhos científicos aumenta ao passo que o índice de perdas na distribuição cai.

Tabela 4: Relação dos estudos incluídos de maior aderência

ID do Estudo	Autor(es)	Ano
1	Goulet, Coutu e Smith	2013
2	Gong et al.	2016
3	Arsene, Gabrys e Al-Dabass	2012
4	Perelman e Amin	2014
5	Meseguer et al.	2014
6	Quevedo et al.	2012
7	Rosich e Puig	2013
8	Yang, Wen e Li	2012
9	Gertler et al.	2010
10	Li, Li e Zhao	2011
11	Allen et al.	2013
12	Prodon, Denegre e Liebling	2010
13	Mounce, Boxall e Machell	2010
14	Nazif et al.	2010
15	Zhonghua He e Zhao	2011
16	Ghazali et al.	2012

RELATO

Baseado na análise dos estudos incluídos foi produzido este relato de pesquisa, apresentando a seguir as principais considerações sobre os trabalhos de maior aderência e em qual contexto para cada questão de pesquisa se aplica.

Q1 – Como são detectadas as perdas em sistemas de distribuição de água?

Dentre os trabalhos incluídos de maior aderência, após análise, foram identificados os meios utilizados para detecção das perdas em sistemas de distribuição de água. Nas linhas a seguir é apresentada uma síntese sobre a forma de detecção das perdas identificada em cada trabalho.

No estudo 1, (GOULET; COUTU; SMITH, 2013), é proposta uma metodologia para posicionamento de sensores e detecção de vazamentos com base na refutação de cenários de vazamento. A abordagem inclui modelagem e medição de incertezas durante o processo de detecção do vazamento a partir da análise de dados acústicos. O desempenho da metodologia proposta é testado em uma rede de distribuição de água em grande escala usando dados simulados. No contexto da detecção de vazamentos, a hipótese testada é de que um vazamento está ocorrendo em um ponto específico na rede. Tal hipótese é parametrizada no modelo do sistema como um cenário de vazamento.

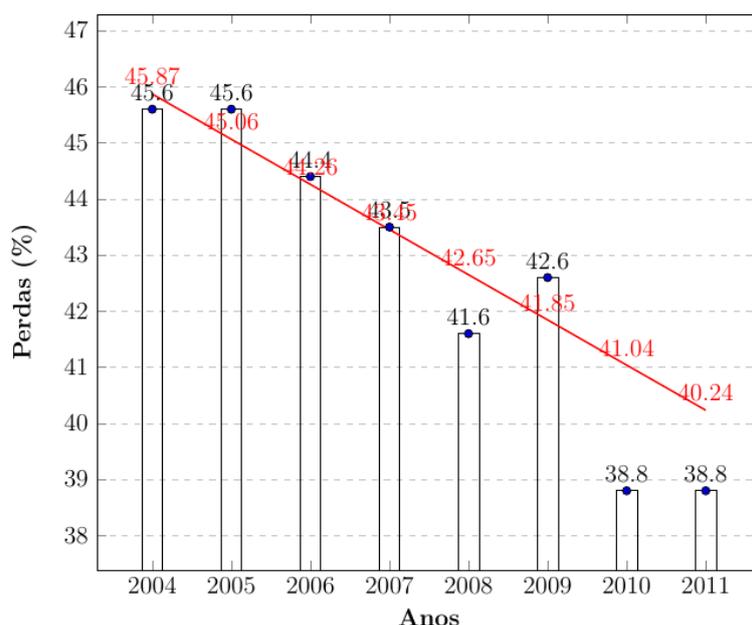


Figura 2: Evolução histórica do indicador de perdas na distribuição

Um cenário de vazamento é refutado se diferenças entre a vazão prevista e medida na rede não forem maiores que o erro máximo plausível, determinado por processo gerenciais específicos, para qualquer local de medição. O modelo utiliza o algoritmo de deleção reversa (*reverse-delete algorithm*), utilizado em teoria dos grafos para redução da árvore de probabilidades, com intuito de otimizar a localização e quantidade de sensores pela rede de distribuição, de modo que se configure maior assertividade com menor custo do algoritmo.

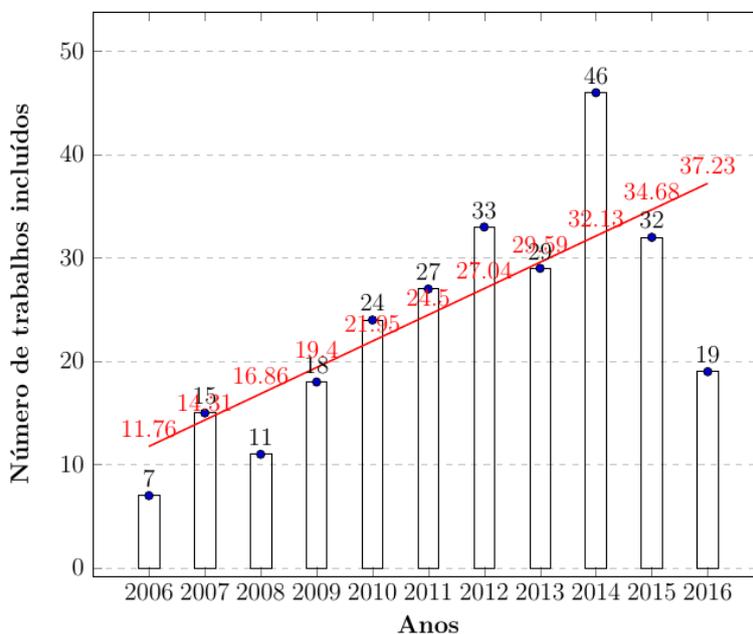


Figura 3: Gráfico do número de trabalhos incluídos por ano

Diversos modelos de sistema com cenários de vazamento são refutados no intuito de prever a localização de vazamentos a partir da inferência de dados. Nos cenários de vazamento candidatos à prova são realizados exames locais com técnicas como detecção acústica com intuito de refinar a localização do vazamento.

No estudo 2, (GONG et al., 2016), é proposta a criação de uma rede composta por pontos de controle, conhecidos por *beacons*², no intuito de recuperar informação da vazão de água transmitida por sensores inseridos dentro da tubulação. Estes sensores seguem livremente o fluxo da água e sinalizam sua passagem aos pontos de controle, ou *beacons*, distribuídos pela tubulação. Os vazamentos e refluxos são monitorados através dos dados recuperados pelos sensores

No estudo 3, (ARSENE; GABRYS; AL-DABASS, 2012), são propostas técnicas para simulação de uma rede de distribuição onde são inseridos vazamentos aleatórios a partir de um algoritmo e estes são identificados. A rede de distribuição, já plenamente conhecida, é modelada sob a forma de uma árvore de dispersão e submetida ao algoritmo *General Fuzzy Min-Max Neural Network* para classificação do estado da rede a partir de um estimador de vazão pelo método dos mínimos quadrados. Quando são detectadas anomalias como mudança na demanda entre dois nós de rede conhecidos é identificado o vazamento.

No estudo 4, (PERELMAN; AMIN, 2014), é proposto modelar a rede de água utilizando uma função potencial definida sobre os nós da rede, representando as conexões e pontos de consumo, e uma função de fluxo definida sobre os arcos, representando as tubulações. Em particular, a diferença de função potencial entre dois nós é caracterizada por uma função não linear do fluxo sobre a ligação entre os dois nós. A ocorrência de um evento infere sobre a demanda causando mudança na pressão e níveis de água na rede.

No estudo 5, (MESEGUER et al., 2014), utiliza uma rede de distribuição segmentada em DMA e composta por sensores de pressão localizados em pontos específicos distribuídos pela rede. O procedimento de detecção de vazamentos é realizado comparando dados de pressão medidos em certos pontos internos definidos no DMA com a sua estimativa baseada em dados históricos. O valor residual calculado pela diferença entre a pressão medida e a pressão estimada indica uma potencial ocorrência de vazamento.

No estudo 6, (QUEVEDO et al., 2012), é proposta uma metodologia para isolar a ocorrência de vazamentos de água de acordo com o volume disponibilizado e o volume de fato faturado. A ideia básica da metodologia é combinar a análise histórica do consumo mensal de duas formas: a) a primeira é chamada de consumo econômico e representa a razão entre o volume de água disponibilizado para o DMA e o total de água faturado para consumo; b) a segunda forma se baseia em utilizar o consumo noturno como referência de consumo para o DMA. Um estudo comparativo entre as duas formas demonstra a ocorrência de distúrbios na rede.

No estudo 7, (ROSICH; PUIG, 2013), é utilizado um modelo padrão para rede de distribuição muito utilizado em estudos acadêmicos da área, chamado de *Hanoi water distribution network*. Este modelo de rede é fornecido contendo dados distribuídos entre 32 nós de rede, representando conexões, e 34 arcos, representando as tubulações. O princípio do diagnóstico de falhas proposto é baseado em modelos no intuito de verificar a consistência do comportamento observado em cada nó de rede. A consistência é tipicamente realizada por meio de cálculo residual verificando a diferença entre o dado de volume fornecido ao nó de rede e o dado de volume informado pelo nó seguinte.

No estudo 8, (YANG; WEN; LI, 2010), é simulada uma rede do tipo *Elman Network* onde cada nó da rede representa uma conexão da rede de distribuição de água. A proposta é utilizar uma rede de propagação de duas camadas com uma conexão de retroalimentação a partir da saída da camada oculta para a entrada da rede e assim estimar a geração de padrões temporais. Com este método são identificados os distúrbios de rede que provavelmente indiquem a ocorrência de vazamentos.

No estudo 9, (GERTLER et al., 2010), é proposta uma abordagem baseada em PCA5 para detecção e isolamento de vazamentos em sistemas de distribuição de água. O modelo PCA foi elaborado a partir de dados simulados. A reposta aos vazamentos é identificada na ocorrência de dispersão entre os dados de cada nó de rede.

No estudo 10, (LI; LI; ZHAO, 2011), é proposta a simulação de uma rede no intuito de identificar os melhores pontos para posicionamento de sensores. A rede de distribuição de água avaliada é obtida a partir de simulação utilizando técnicas de inteligência artificial. Utilizando algoritmo genético a rede simulada é otimizada em seus pesos iniciais aplicando o algoritmo *backpropagation* no intuito de minimizar os erros e assim completar

² *Beacons*: dispositivos que transmitem sinais por ondas de rádio de baixo alcance.

o treino da rede. Com esta rede simulada é possível otimizar a disponibilidade dos pontos de monitoramento pela rede real e com isso detectar a ocorrência de vazamentos.

No estudo 11, (ALLEN et al., 2013), é descrita a utilização de uma rede de sensores sem fio com o propósito de monitorar continuamente dados acústicos e hidráulicos, de vazão e pressão. Os dados sensorizados são transmitidos via Internet para um central onde são analisados em busca de identificar a ocorrência de transientes. É identificado o vazamento quando são detectadas transientes em vários sensores próximos distribuídos pela rede, o agrupamento dessas transientes forma uma grade representando a provável localização de um vazamento

No estudo 12, (PRODON; DENEGRE; LIEBLING, 2010), é proposta uma abordagem, baseada em teoria dos grafos, para otimização de conectividade entre nós de rede. O trabalho descreve a utilização de transdutores eletroacústicos posicionados sobre hidrantes hidráulicos espalhados pela cidade, cada transdutor transmite um sinal acústico único que é captado pelos demais sensores. Nessa abordagem cada hidrante representa um nó de rede. Os dados sensorizados são transmitidos pela Internet para uma central de processamento. A solução proposta é otimizar o reconhecimento dos vazamentos na rede a partir dos dados acústicos sensorizados utilizando o algoritmo *branch and bound* no intuito de encontrar soluções ótimas para que demonstrem a localização de um distúrbio acústico.

No estudo 13, (MOUNCE; BOXALL; MACHELL, 2010), é proposta a aplicação de algoritmos de inteligência artificial para detecção de vazamentos identificados sobre os dados históricos de vazão de água e pressão na rede. O primeiro passo da abordagem é segmentar a rede de distribuição em DMA para a partir dessa definição analisar dados históricos de uma determinada área. O intuito é verificar a existência de anormalidades na rede a partir da identificação de *bursts* que poderiam sinalizar a ocorrência de vazamentos.

No estudo 16, (GHAZALI et al., 2012), é proposta análise comparativa sobre técnicas de Análise de Frequência Instantânea (AFI) com base nos dados de pressão na rede em busca de identificar a ocorrência de transientes. A frequência instantânea dos sinais de pressão é analisada utilizando a transformada de Hilbert (H), a transformada de Hilbert normalizada (|H|), a quadratura direta (QD), *Teager Energy Operator* (TEO) e *Cepstrum*. Este trabalho demonstra a eficácia da análise de frequência instantânea na detecção de vazamentos e outras características dentro da rede.

Verificou-se que a aplicação da |H| e QD permitiram a identificação aproximada da localização de vazamentos, enquanto que o desempenho do TEO foi considerado moderado, tendo o *Cepstrum* apresentado o pior desempenho entre os métodos avaliados. Considerando que dos 16 trabalhos de maior aderência 3 tratavam, além da detecção, de estratégias para evitar as perdas já identificadas sendo que 2 desses trabalhos tratavam exclusivamente deste assunto, então restaram 14 trabalhos que apresentaram formas para detecção prematura das perdas, estes foram discutidos nesta seção e estão resumidos na Tabela 5.

A forma de detecção mais utilizada pelos estudos selecionados se dá por meio da análise de dados sobre a vazão da água. Citado por 8 trabalhos (estudos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11 e 13), o que representa 57,1% do total de trabalhos destacados.

A utilização de sensores, foi citada por 6 trabalhos destacados (estudos 5, 6, 8, 10, 11 e 12), isto representa 42,9% de utilização desta abordagem e mostra a importância da obtenção de dados confiáveis para análises. De igual importância segue a análise dos dados sobre a pressão de água na tubulação, também sendo citada por 6 trabalhos (estudos 3, 5, 9, 10, 11 e 16).

A segmentação da rede em DMA foi citada por 5 dos trabalhos (estudos 5, 6, 7, 9 e 13), o que representa 35,7% dos trabalhos destacados. É importante destacar que a utilização de DMA visa reduzir a complexidade da rede segmentando-a em áreas menores, isto é salutar pois quanto mais áreas reduzidas da rede existirem, mais fácil se dará a detecção de perdas, entretanto a utilização dos DMAs esbarra nos altos custos e transtornos sociais envolvidos na execução das obras de engenharia necessárias para instalação de válvulas de manobra e adição de nova tubulação.

A modelagem e simulação de redes e sensores foi citada por 5 trabalhos (estudos 1, 2, 7, 9 e 16), também representando 35,7% dos trabalhos destacados, visa a criação de modelos de cenários e comparação de dados, geralmente vazão (estudos 1, 2 e 7) ou pressão (estudos 9 e 16), também esteve associada à análise de dados

acústicos (estudo 1), se mostrando uma boa abordagem adicional para incremento na precisão da detecção de perdas. A modelagem e simulação estava ligada à utilização dos algoritmos de teoria dos grafos, com foco em otimização e minimização de erros. Os dados de vazão e pressão eram submetidos a comparação de seu valor real, quando sensoriado, ou valor simulado com seu valor estimado através de dados históricos.

Tabela 5: Como são detectadas as perdas

Detecção	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	%
Simulação	x	x					x		x							x	35,7
Setorização DMA					x	x	x		x				x				35,7
Rede de Sensores					x	x		x		x	x	x					42,9
Balanco Hídrico					x	x											14,3
Análise Acústica	x							x			x	x					28,6
Análise da Vazão	x	x	x	x		x	x				x		x				57,1
Análise da Pressão			x		x				x	x	x					x	42,9
Totais	3	2	2	1	4	4	3	2	3	2	4	2	2	-	-	2	-

Os trabalhos também faziam uso de algoritmos de inteligência artificial e algoritmos genéticos, como análise de dados utilizando lógica *fuzzy*, *backpropagation* e *branch and bound*. Também se mostraram os modelos matemáticos que compreendem a aplicação de função potencial, as transformadas de Hilbert (H) e a transformada de Hilbert normalizada (|H|), a quadratura direta (QD), *Teager Energy Operator* (TEO), *Cepstrum* e o método dos mínimos quadrados. Dois trabalhos destacados utilizaram a Análise de Frequência Instantânea (AFI) para identificar a ocorrência de transientes nos dados de pressão da rede.

Outra forma de detecção utilizada foi a análise de dados acústicos, sendo citada por 4 trabalhos (estudos 1, 8, 11 e 12), isto representa 20,0% do total de trabalhos. Por fim a análise sob a metodologia do balanço hídrico, descrita na subseção 3.2.1, é citada por 2 trabalhos (estudos 5 e 6), o que representa 14,3% dos trabalhos destacados, cada trabalho utilizou o balanço hídrico de forma particular, mas de modo geral a aplicação se resume em análises de dados sobre a vazão da água, ou volumes, em pontos de distribuição e consumo.

Q2 – Que estratégias são utilizadas para combater as perdas em sistemas de distribuição de água?

No estudo 11, (ALLEN et al., 2013), é descrita a utilização de uma rede de sensores sem fio com o propósito de monitorar continuamente dados hidráulicos e acústicos a fim de controlar a abertura e fechamento de válvulas e o bombeamento da água, administrando desse modo a pressão na rede. Os dados hidráulicos fornecem informações sobre a pressão e sentido do fluxo de água e transdutores eletroacústicos captam ruídos oriundos da tubulação de água.

Devido ao monitoramento constante é possível administrar a abertura e fechamento de válvulas e otimizar o bombeamento da água de acordo com a demanda de consumo, o sistema provê uma otimização do bombeamento com previsão de até 24 horas de antecedência, isso favorece uma melhor gestão da pressão na rede e armazenamento da água.

No estudo 14, (NAZIF et al., 2010), é proposta uma técnica para redução de vazamentos pela gestão da pressão na rede utilizando otimização por algoritmo genético. Cada nó da rede é identificado como um ponto de interconexão ou consumo onde se posicionam os sensores. Os sensores têm por objetivo captar dados sobre a variação de pressão mínima e máxima em cada nó da rede.

É aplicado o algoritmo genético para desenvolver o histórico das variações horárias otimizadas da pressão na rede a fim de prover dados para uma melhor gestão baseada em pressão mínima.

No estudo 15, (ZHONGHUA HE, 2011), é proposto um modelo de previsão baseado na análise sobre a frequência de vazamentos utilizando dados sobre perdas anuais, frequência de vazamentos e dados de consumo relacionando-os com a idade dos canos subterrâneos a partir da curva da banheira. O modelo de previsão objetiva encontrar o tempo ideal para substituição de canos subterrâneos. Consequentemente o modelo também se propõe a prever o momento de ruptura da tubulação.

A curva da banheira apresentada no trabalho estima que mais de 80% das ocorrências de rupturas na tubulação ocorrem no primeiro ano de instalação ou próximo ao final do tempo de vida médio proposto pelo fabricante da tubulação. Para determinar a otimização do modelo são criadas duas taxas: a) uma que estabelece a previsão para a taxa média de ruptura da tubulação; e, b) outra que estabelece a taxa máxima de rupturas identificadas na rede.

Através da combinação da taxa média estipulada para ruptura da tubulação e a taxa máxima de ruptura identificada, foi estabelecido um modelo de previsão para o tempo de substituição de tubos de água e o método de determinação para o tempo de substituição ótimo. Com base na previsão de perda de água e na incorporação do custo de valor presente, um modelo ótimo de intervalo de detecção é estabelecido pela análise do custo de perda de água e controle de vazamento.

Nesta seção foi apresentada uma síntese dos trabalhos destacados que tratavam de estratégias para combate às perdas, o resumo pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6: Estratégias para combate às perdas

Ferramenta	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
Controle do fluxo											x					
Controle da pressão											x			x		
Previsão histórica															x	

As estratégias para combater as perdas basicamente se estruturam na análise de dados de vazão e pressão em busca de valores ótimos para controle do fluxo da água pela rede e otimização da menor pressão possível na tubulação. As estratégias destacadas buscavam ainda isolar a ocorrência de problemas na rede, promovendo desvios em caso de vazamento.

Q3 – Existem ferramentas ou métodos que auxiliam no processo? Quais são?

Dentre os trabalhos de maior aderência foram identificadas as ferramentas ou métodos utilizados para apoio ou desenvolvimento das respectivas soluções para detectar e combater as perdas, como pode ser observado na Tabela 7. Em 4 dos trabalhos destacados (estudos 3, 6, 8 e 15) não foi possível identificar qual ferramenta havia sido utilizada, restando, portanto, 12 trabalhos que serão apresentados nas linhas a seguir.

O EPANET é um software, desenvolvido e mantido sob licença de domínio público pela EPA, que permite simular comportamento hidráulico de uma rede de distribuição e tubulação de água. Foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e qualidade da água para consumo humano.

O FlowSim é uma ferramenta desenvolvida por (SURESH et al., 2013) como extensão do EPANET com a finalidade de adicionar um recurso exclusivo de movimentação de sensores dentro de uma tubulação modelada no EPANET. Adicionalmente é também utilizada a cidade virtual Micropolis desenvolvida por (BRUMBELOW et al., 2007) contendo 5.000 residentes e dados simulados distribuídos em 130 anos sobre um modelo hidráulico baseado no EPANET.

A *Hanoi Water Distribution Network* é um modelo de rede de distribuição de água para ser inserido no EPANET, contém 32 nós de rede e 34 arcos, cada nó de rede representa uma interconexão ou um ponto de entrada ou saída do fluxo de água, já os arcos representam a tubulação da rede de distribuição. O modelo apresenta dados de elevação topográfica e tubulação com diâmetros variando entre 12, 16, 20, 24, 30 e 40 polegadas. Esta rede é bastante utilizada em modelos acadêmicos de simulação para redes de distribuição e eficiência hidráulica.

O MATLAB, acrônimo de MATrix LABoratory, é um ambiente de programação de alto nível, desenvolvido pela empresa MathWorks, que ao mesmo tempo representa uma linguagem de programação para computação numérica envolvendo vetores e matrizes e um conjunto de ferramentas extensíveis chamadas de toolbox que acrescentam função das mais diversas áreas da ciência, como química, biologia, bioinformática ou processamento de imagens.

É muito utilizado no processamento de algoritmos de otimização, inteligência artificial e redes neurais. Já o Simulink é um ambiente de modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos baseado em diagrama de blocos, também desenvolvido pela empresa MathWorks, funciona integrado ao MATLAB.

De acordo com (ALLEN et al., 2013) o WaterWiSe é uma plataforma que gerencia e analisa dados de uma rede de nós de sensores sem fio, monitorando continuamente parâmetros hidráulicos, acústicos e de qualidade de água. WaterWiSe suporta muitas aplicações, incluindo previsões de demanda de água e estado hidráulico, detecção on-line de eventos como burst de tubos e mineração de dados para identificação de tendências de longo prazo.

O LORNO é uma ferramenta proposta em (PRODON; DENEGRE; LIEBLING, 2010) utilizada para detecção de vazamentos a partir do sensoriamento de dados acústicos pela tubulação de água através de sensores localizados sobre hidrantes de água distribuídos pela cidade e uma central remota de processamento.

Nesta seção foi apresentada uma síntese das ferramentas ou métodos identificados nos trabalhos destacados, o resumo pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7: Ferramentas ou métodos que auxiliam no processo

Ferramenta	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	%
EPANET	x	x		x	x		x							x			50,0
MATLAB Toolbox										x			x	x		x	33,3
Simulink									x								8,3
FlowSim		x															8,3
Micropolis		x															8,3
Hanoi Network							x										8,3
WaterWiSe											x						8,3
LORNO												x					8,3
Totais	1	3	-	1	1	-	2	-	1	1	1	1	1	2	-	1	-

A ferramenta EPANET foi utilizada por 6 trabalhos (estudos 1, 2, 4, 5, 7 e 14), o que representa 50,0% dos trabalhos destacados que possuíam ferramentas de apoio. Juntamente com o MATLAB, que foi citado por 4 trabalhos (estudos 10, 13, 14 e 16), representando 33,3% dos trabalhos destacados, o EPANET e o MATLAB são ferramentas que foram utilizadas nestes trabalhos para simulação de modelos e execução de cálculos de otimização e predição.

As demais ferramentas, Simulink, FlowSim, Micropolis, Hanoi Water Distribution Network, WaterWise e LORNO, cada uma, foi citada por 8,3% dos trabalhos destacados.

FRAGILIDADE DOS TRABALHOS INCLUÍDOS

Dentre as principais fragilidades encontradas nos estudos primários incluídos de maior aderência elencamos algumas, descritas nas linhas a seguir e apresentadas em síntese na Tabela 8.

No trabalho de (GOULET; COUTU; SMITH, 2013) (estudo 1) foi proposta uma metodologia para posicionamento de sensores e detecção de vazamentos com base na refutação de cenários de vazamento. A fragilidade está tanto na imprecisão do sensoriamento acústico quanto no uso dados simulados através de algoritmo para geração de números aleatórios.

No trabalho de (GONG et al., 2016) (estudo 2) foi proposta a criação de uma rede composta por pontos de controle que recuperavam dados de sensores introduzidos na tubulação. A fragilidade está tanto no uso de dados simulados através de algoritmo para geração de números aleatórios quanto na validação da proposta feita por simulação em software.

No trabalho de (ARSENE; GABRYS; AL-DABASS, 2012) (estudo 3) foram propostas técnicas para simulação de uma rede de distribuição onde foram inseridos vazamentos aleatórios a partir de um algoritmo. A fragilidade está no uso de dados simulados através de algoritmo para geração de números aleatórios.

No trabalho de (PERELMAN; AMIN, 2014) (estudo 4) foi proposta a modelagem de uma rede utilizando função potencial sobre os nós, representando as conexões e pontos de consumo, e uma função de fluxo sobre os arcos, representando as tubulações. Apesar de utilizar uma rede de distribuição de água real para modelar os nós e arcos da rede simulada, os dados de pressão e níveis de água na rede, bem como a ocorrência de vazamentos, são simulados via algoritmo para geração de números aleatórios.

No trabalho de (MESEGUER et al., 2014) (estudo 5) foi descrita a utilização de uma rede segmentada em DMA e composta por sensores de pressão localizados em pontos distribuídos pela rede. Apesar de utilizar uma rede de distribuição de água real para modelar os nós e arcos da rede simulada, a ocorrência de vazamentos é simulada via algoritmo para geração de números aleatórios.

No trabalho de (QUEVEDO et al., 2012) (estudo 6) foi proposta uma metodologia para isolar a ocorrência de vazamentos de água de acordo com o volume disponibilizado e o volume de fato faturado. A fragilidade está em considerar o volume faturado ao invés do volume real consumido.

No trabalho de (ALLEN et al., 2013) (estudo 11) foi proposta a utilização de uma rede de sensores sem fio que monitoram dados hidráulicos e acústicos. A fragilidade está em identificar vazamentos analisando a qualidade de água na rede de esgoto e na baixa precisão do sensoriamento acústico.

No trabalho de (NAZIF et al., 2010) (estudo 14) foi proposta uma técnica para redução de vazamentos a partir da gestão da pressão na rede. A fragilidade está em simular em software o cálculo de índices a partir de dados também simulados.

O volume faturado comumente difere daquele que realmente fora consumido, a exemplo das regras atualmente em vigência no Estado de Pernambuco, caso um cliente consuma 3m^3 (volume real) de água em sua fatura será considerado 10m^3 (volume faturado) e isto pode levar a análises incorretas. Vide Regulamento Geral do Fornecimento de Água e Coleta de Esgoto no Estado de Pernambuco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada a metodologia utilizada para realizar a pesquisa deste trabalho. Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura através do método de mapeamento sistemático que identificou 2.178 trabalhos através da busca nos indexadores de trabalhos científicos, após processos de exclusão dos trabalhos duplicados e seleção através de leitura do título, resumo e conclusão restaram 261 trabalhos que passaram para a fase de extração de dados.

Como resultado indireto desta pesquisa, pode-se identificar uma tendência de crescimento no interesse da comunidade em pesquisar soluções mais eficientes para o problema de perdas no sistema de distribuição de água, quando comparada à redução gradual do índice de perdas observado no Brasil nos últimos anos nota-se que o número de trabalhos científicos aumenta ao passo que o índice de perdas na distribuição cai.

Foi identificado a partir dos estudos destacados que, em resumo, as respostas para as questões de pesquisa são:

Q1 – Como são detectadas as perdas em sistemas de abastecimento de água?

- a forma de detecção mais utilizada pelos estudos selecionados se dá por meio da análise de dados sobre a vazão da água; seguida pela,
- utilização de rede de sensores, que mostra a importância da obtenção de dados confiáveis para análises; de igual importância segue,
- a análise dos dados sobre a pressão de água na tubulação;
- a segmentação da rede em distritos de medição e controle, para redução da complexidade da rede e melhor isolamento de ocorrências;
- modelagem e simulação de redes de distribuição e sensores, utilizando algoritmos de teoria dos grafos, inteligência artificial e algoritmos genéticos;
- análise de dados acústicos em busca de transientes que identificassem vazamentos; e por fim,
- adaptações sobre o modelo de balanço hídrico proposto pela IWA, cada trabalho utilizou o balanço hídrico de forma particular, mas de modo geral a aplicação se resume em análises de dados sobre a vazão da água, ou volumes, em pontos de distribuição e consumo.

Tabela 8: Síntese das fragilidades dos trabalhos incluídos

ID	Autor(es)	Ano	Fragilidade
1	Goulet, Coutu e Smith	2013	Imprecisão da medição acústica e validação simulada
2	Gong et al.	2016	Dados e validação obtidos por simulação
3	Arsene, Gabrys e Al-Dabass	2012	Dados gerados por algoritmo
4	Perelman e Amin	2014	Dados gerados por algoritmo
5	Meseguer et al.	2014	Vazamentos gerados por algoritmo
6	Quevedo et al.	2012	Considera volume faturado
7	Rosich e Puig	2013	Dados e validação obtidos por simulação
8	Yang, Wen e Li	2010	Imprecisão da medição acústica
9	Gertler et al.	2010	Dados e validação obtidos por simulação
11	Allen et al.	2013	Imprecisão nas medições acústica e da qualidade da água
12	Prodon, Denegre e Liebling	2010	Imprecisão da medição acústica
14	Nazif et al.	2010	Dados e validação obtidos por simulação

Q2 – Que estratégias são utilizadas para combater as perdas em sistemas de distribuição de água?

- monitoramento constante de dados sobre volume, vazão e pressão; no intuito de,
- promover o bombeamento de água eficiente por meio da análise de dados históricos; além de,
- administrar a pressão da água na tubulação através da abertura e fechamento de válvulas para desvio de fluxo; que também servem para,
- isolar a rede no caso de detectada a ocorrência de eventos que identifiquem perdas.

Q3 – Existem ferramentas ou métodos que auxiliam no processo? Quais são?

- o EPANET se apresenta como principal ferramenta para simulação de redes de distribuição e posicionamento de sensores virtuais; em alguns casos podendo ter suas funcionalidades estendidas por ferramentas como,
- FlowSim, extensão com a finalidade de adicionar um recurso exclusivo de movimentação de sensores dentro de uma tubulação modelada no EPANET; juntamente com,
- Micropolis, cidade virtual modelada dentro do EPANET contendo 5.000 residentes e dados hidráulicos distribuídos por 130 anos; e também pela,
- Hanoi Water Distribution Network modelo de rede de distribuição de água para ser inserido no EPANET; outra ferramenta importante é o,
- MATLAB utilizado na execução de algoritmos de otimização e minimização de erros muito utilizados em teoria dos grafos e inteligência artificial, além de modelos matemáticos utilizados para detecção de anomalias em dados históricos de vazão e pressão da água;
- o Simulink é um ambiente de modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos baseado em diagrama de blocos, funciona integrado ao MATLAB;
- o WaterWiSe é uma plataforma que gerencia e analisa dados de uma rede de nós de sensores sem fio, monitorando continuamente parâmetros hidráulicos, acústicos e de qualidade de água; e por fim,
- O LORNO é uma ferramenta utilizada para detecção de vazamentos a partir do sensoriamento de dados acústicos pela tubulação de água através de sensores localizados sobre hidrantes de água.

Na Tabela 9 é apresentado um quadro resumo relacionando o problema, solução proposta, ferramenta utilizada e fragilidade de cada um dos estudos destacados.

Tabela 9: Quadro resumo

ID	Problema	Solução	Ferramenta	Fragilidade
1	Otimizar posicionamento de sensores por refutação de cenários	Refutação de cenários de vazamentos	EPANET	Imprecisão acústica, validação simulada
2	Otimizar posicionamento de sensores	Identifica melhor posicionamento de sensores	EPANET, FlowSim e Micropolis	Dados e validação obtidos por simulação
3	Demonstrar detecção de vazamentos por algoritmo genético	Detecção de anomalias nos dados de vazão e pressão	Não se aplica	Dados gerados por algoritmo
4	Demonstrar a aplicação de um modelo de rede balanceada	Detecta a ocorrência de eventos na pressão	EPANET	Dados gerados por algoritmo
5	Descreve um sistema de decisão baseado em telemetria	Compara dados de pressão medido com o estimado	EPANET	Vazamentos gerados por algoritmo
6	Detectar vazamentos, volume distribuído vs faturado	Compara o volume distribuído com o volume faturado	Não se aplica	Considera volume faturado
7	Detectar vazamento pelo residual entre nós de rede	Residual entre volume distribuído e medido	EPANET, Hanoi Water Distribution Network	Dados e validação obtidos por simulação
8	Propõe detecção de vazamento por dados acústicos	Detecta transientes nos sinais acústicos	Não se aplica	Imprecisão da medição acústica
9	Detectar vazamento pela pressão em pontos da rede	Identifica dispersão entre os dados de cada nó	Simulink	Dados e validação obtidos por simulação
10	Identificar melhores pontos de sensoria-mento	Otimizando o senso-riamento da pressão	MATLAB Toolbox	Não se aplica
11	Monitoramento de dados acústicos e hidráulicos	Detecta transientes em dados acústicos e hidráulicos	WaterWise	Imprecisão nas medições acústica e da qualidade da água
12	Detecta vazamento por transdutores acústicos	Encontra a locali-zação de distúrbios acústicos	LORNO	Imprecisão da medição acústica
13	Segmenta em DMA e analisa dados históricos	Identifica <i>burst</i> nos dados hidráulicos	MATLAB Toolbox	Não se aplica
14	Gestão da pressão na rede	Algoritmo genético sobre dados históricos	EPANET, MA-TLAB Toolbox	Dados e validação obtidos por simulação
15	Modelo de previsão para ruptura de redes	Dados históricos de vazamento, consumo e idade dos canos	Não se aplica	Não se aplica
16	Detectar vazamentos utilizando AFI em dados de pressão	Identifica transien-tes por meio de transformadas	MATLAB Toolbox	Não se aplica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEN, M. et al. Water Distribution System Monitoring and Decision Support Using a Wireless Sensor Network. 2013 14th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, p. 641–646, 2013.
2. ARSENE, C. T. C.; GABRYS, B.; AL-DABASS, D. Decision support system for water distribution systems based on neural networks and graphs theory for leakage detection. *Expert Systems with Applications*, v. 39, n. 18, p. 13214–13224, 2012.
3. BRUMBELOW, K. et al. Virtual Cities for Water Distribution and Infrastructure System ResearchWorld Environmental and Water Resources Congress 2007. Anais...Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 11 maio 2007
4. EPA, U. S. E. P. A. Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems. United States: [s.n.].
5. FRANGIPANI, M. Macromedição (A. S. G. M. F. de Albuquerque, Ed.): Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Brasília, Brasil: Ministério das Cidades, 2007.
6. GERTLER, J. et al. Leak detection and isolation in water distribution networks using principal component analysis and structured residuals2010 Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol). Anais...2010
7. GHAZALI, M. F. et al. Comparative study of instantaneous frequency based methods for leak detection in pipeline networks. *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 29, p. 187–200, 2012.
8. GONG, W. et al. Mobile sensor networks for optimal leak and backflow detection and localization in municipal water networks. *Environmental Modelling and Software*, v. 80, p. 306–321, 2016.
9. GOULET, J. A.; COUTU, S.; SMITH, I. F. C. Model falsification diagnosis and sensor placement for leak detection in pressurized pipe networks. *Advanced Engineering Informatics*, v. 27, n. 2, p. 261–269, 2013.
10. KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. United Kingdom: Evidence-Based Software Engineering, 2007.
11. LI, X.; LI, G.; ZHAO, X. State Estimation of Municipal Water Supply Network Based on BP Neural Network and Genetic Algorithm. *Internet Computing Information Services (ICICIS)*, 2011 International Conference on, p. 403–406, 2011.
12. MESEGUER, J. et al. A decision support system for on-line leakage localization. *Environmental Modelling & Software*, v. 60, p. 331–345, out. 2014.
13. MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B.; MACHELL, J. Development and Verification of an Online Artificial Intelligence System for Detection of Bursts and Other Abnormal Flows. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, n. 3, p. 309–318, 2010.
14. NAZIF, S. et al. Pressure Management Model for Urban Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, v. 24, n. 3, p. 437–458, 27 fev. 2010.
15. PERELMAN, L.; AMIN, S. A network interdiction model for analyzing the vulnerability of water distribution systems. *Proceedings of the 3rd international conference on High confidence networked systems - HiCoNS '14*, p. 135–144, 2014.
16. PRODON, A.; DENEGRE, S.; LIEBLING, T. M. Locating leak detecting sensors in a water distribution network by solving prize-collecting Steiner arborescence problems. *Mathematical Programming*, v. 124, n. 1–2, p. 119–141, 2010.
17. QUEVEDO, J. et al. Methodology to detect and isolate water losses in water hydraulic networks: Application to Barcelona water networkIFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). Anais...2012
18. ROSICH, A.; PUIG, V. Model-based Leakage Localization in Drinking Water Distribution Networks using Structured Residuals. *Control Conference (ECC)*, 2013 European, p. 410–415, 2013.
19. SURESH, M. A. et al. On Event Detection and Localization in Acyclic Flow Networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, v. 43, n. 3, p. 708–723, maio 2013.
20. WHO, W. H. O. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, Switzerland: [s.n.].
21. YANG, J.; WEN, Y.; LI, P. Approximate entropy-based leak detection using artificial neural network in water distribution pipelinesControl Automation Robotics Vision (ICARCV), 2010 11th International Conference on. Anais...2010
22. ZHONGHUA HE, Y. Y. AND H. Z. Analysis of lifecycle model for water distribution systems. p. 2193–2198, 2011.