

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**SETORIZAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: uma revisão  
bibliográfica sistemática**

**Tomás Fortes Giffoni**

**Itajubá  
2021**

Tomás Fortes Giffoni

**SETORIZAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: uma revisão  
bibliográfica sistemática**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

**Área de concentração:** Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

**Coorientador:** Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares

**ITAJUBÁ**

**2021**

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado ao meu avô “Tião Forte”,  
mais uma vítima da Covid-19.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e todos os santos que sempre nos guiam, nos protegem, nos dão forças e coragem para lutar diariamente.

Aos meus pais, Delsia e Giffoni, pelo amor e carinho, dedicação e esforço, formação e educação, que me possibilitaram alcançar todos meus objetivos e minhas conquistas.

Aos professores e orientadores Dr. Fernando das Graças Braga da Silva e Dr. Alexandre Kepler Soares, pela disponibilidade, confiança e paciência durante nosso tempo de trabalho juntos.

À UNIFEI, seu corpo, direção, administração e funcionários que fizeram possível esta oportunidade de crescimento profissional. Em específico ao Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos (NUMMARH), como também os técnicos dos laboratórios.

Agradeço ao Projeto REDECOPE Finep – MCT (Ref. 0983/10) Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da FAPEMIG pelo PPM - 00755-16.

À CAPES pelas bolsas de estudos concedidas, número 430036, durante o período de estudo.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Devido à atual conjuntura econômica dos países e a necessidade crescente de garantir a sustentabilidade dos serviços, as companhias de abastecimento estão desenvolvendo técnicas para a otimização dos recursos disponíveis. Entre as diversas falhas identificadas em sistemas de distribuição de água, destaca-se o elevado nível de perdas de água. Este problema está sendo minimizado, por meio da combinação da setorização das redes com o gerenciamento da pressão. A setorização consiste na sua divisão em setores de menor dimensão (Distritos de Medição e Controle — DMC's), de modo, a reduzir a complexidade presente no gerenciamento da rede, garantindo uma maior confiabilidade e melhora na vida útil para as tubulações e dispositivos do sistema. Deste modo, esta pesquisa tem por objetivo reunir de forma sistemática, o conhecimento científico sobre a setorização aplicada em redes de distribuição de água, considerando artigos acadêmicos publicados e três bases de dados de grande relevância na literatura científica. A abordagem metodológica do presente trabalho foi uma revisão sistemática de literatura sobre o tema. Foram identificados e revisados sistematicamente um total de 37 *papers*, que por meio dos quais foi possível identificados os artigos de maior relevância. E extraído as principais metodologias aplicadas para o processo de setorização, algoritmos adotados e os principais benefícios resultantes da aplicação do seccionamento da rede.

**Palavras chave:** setorização, redes de distribuição de água, perdas de água, revisão de literatura.

## **ABSTRACT**

Due to the current economic situation in the countries and the growing need to guarantee the sustainability of services. Supply companies are developing techniques to optimize available resources. Among the several failures identified in water distribution systems, the high level of water losses stands out. This problem has been minimized by combining the sectorization of networks with pressure management. The sectorization consists of its division into smaller sectors (Measurement and Control Districts - DMC's). In order to reduce the complexity present in the management of the network, ensuring greater reliability and improving the useful life of the pipes and devices of the system. In this way, this research aims to systematically gather all scientific knowledge about the sectorization applied in water distribution networks. Considering published academic articles and three databases of great relevance in the scientific literature. The methodological approach of the present work was a systematic review of the literature on the topic. A total of 37 papers were systematically identified and reviewed, through which it was possible to identify the most relevant articles. The main methodologies applied to the sectorization process are extracted, algorithms adopted and the main benefits resulting from the application of the sectioning of the network.

**Keywords:** sectorization, water distribution networks, water losses, literature review.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água .....	19
Figura 2 - Esquema de rede ramificada .....	21
Figura 3 - Esquema de rede ramalhada .....	23
Figura 4 - Problemática do Gerenciamento dos Recursos Hídricos .....	24
Figura 5 - Estratégias para a redução das perdas reais. ....	28
Figura 6 - Medidas de combate às perdas em redes de distribuição.....	30
Figura 7 - Setor de Abastecimento típico.....	32
Figura 8 - Ciclo de desenvolvimento da pesquisa.....	36
Figura 9- Fluxograma dos procedimentos da Fase de Processamento.....	38
Figura 10 – Interface do software StArt .....	39
Figura 11 - Protocolo da ferramenta StArt .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 12- Resultado da busca de artigos .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 13– Resultado busca primária .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 14 - Aplicação dos critérios de Inclusão e Exclusão.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 15 - Resultado dos filtros de leitura e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 16 - Representação de uma rede setorizada.....	48
Figura 17 - Etapas de particionamento da rede de água: (a) Procedimentos gerais, (b) etapas para agrupamento, e (c) etapas para otimização.....	54
Figura 18 - Procedimentos do seccionamento de redes de distribuição de água. ....	54
Figura 19 - Diagrama de busca em profundidade (DFS) e busca em largura (BFS) .....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Balanço Hídrico proposto pela IWA .....	26
Quadro 2 - Perdas reais por subsistema: Origem e Magnitude .....	29
Quadro 3 - Análise comparativa entre softwares de modelagem hidráulica .....	34
Quadro 4 - Etapas da Primeira Fase da RBS .....	37
Quadro 5- Etapas da Fase Saída .....	39
Quadro 6- Componentes da Pergunta da Pesquisa .....	41
Quadro 7 - Processo de construção das Strings de busca .....	43
. Quadro 8 - Principais vantagens e desvantagens dos DMC's .....	51
Quadro 9 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Teoria de Grafos .	57
Quadro 10 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Detecção de Comunidade .....	60
Quadro 11 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Modularidade.....	62
Quadro 12 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados no Particionamento Multinível .....	64
Quadro 13 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados no Agrupamento Espectral .....	67
Quadro 14 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados em Sistemas Multiagentes .....	69



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Índice de perdas na distribuição de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018.....	30
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
DMC	Distrito de Medição e Controle
VRP	Válvulas Redutoras de Pressão
IA	Inteligência Artificial
IWA	Associação Internacional da Água

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Contextualização .....	13
1.2 Justificativa .....	16
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 Objetivo geral .....	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
3. REVISÃO DA LITERATURA - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ....	18
3.1. Sistema de abastecimento de água .....	18
3.2 Redes de distribuição de água .....	20
3.3 Perdas de água em redes de distribuição de água .....	23
3.4. Ferramentas computacionais e Inteligência Artificial - IA aplicados em recursos naturais .....	31
3.5. Modelagem e Simulação hidráulica de redes de distribuição de água .....	34
4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA .....	35
4.1. Considerações Iniciais .....	35
4.2 Revisão Bibliográfica Sistemática — RBS .....	35
4.2.2 Planejamento da RBS .....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
5.1. Premissas do processo de setorização de redes .....	48
5.2. Fase de agrupamento .....	55
5.2.1. Teoria de Grafos .....	55
5.2.2. Detecção de Comunidade .....	59
5.2.4. Particionamento Multinível .....	63
5.2.5. Agrupamento Espectral .....	66
5.2.6. Sistemas Multiagentes .....	68

5.3. Fase de Otimização.....	70
5.3.1. Otimização de objetivo único .....	71
5.3.2. Otimização de Multiobjetivo .....	72
5.3.3. Otimização com abordagem Iterativa .....	74
5.4. Avaliação do desempenho da setorização .....	74
6. CONCLUSÃO .....	77
REFERÊNCIAS .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

A perda de água em sistema de abastecimento é um tema de grande importância por se tratar de um problema de ordem mundial. A crise hídrica, decorrente das mudanças climáticas e crescimento exponencial da população, atrelada as atuais tendências globais de proteção ao meio ambiente e eficiência econômica, destaca a importância da redução dos níveis de perda de água. Sendo o controle das mesmas um dos maiores desafios das operadoras de abastecimento no século XXI (WANG; ZHOU, 2017) (SANTI, 2018) (MELGAREJO-MORENO; LÓPEZ-ORTIZ; FERNÁNDEZ-ARACIL, 2019) (YAN et al., 2019).

Há uma grande variação nos índices de perdas, visto que fatores como: país, região e idade do sistema, influenciam diretamente nesse indicador. Em países desenvolvidos, encontra-se valores baixíssimos de 3% a 7% como é o caso da Holanda. Países como EUA e o Reino Unido apresentam índices de 10% a 30%, entretanto, em há relatos que essa porcentagem atinge 70% em algumas nações subdesenvolvidas (BEUKEN et al., 2008) (PUUST et al., 2010) (SANTI, 2018).

Dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, apontaram um discreto aumento no índice de perdas nos sistemas de distribuição de água brasileiro. O último estudo divulgado, apresentou dados do ano de 2017, onde o país apresentava um índice médio de perdas igual a 38,5%, havendo um discreto aumento em relação ao diagnóstico de 2016, no qual indicava uma perda de água tratada igual a 38,3% (BRASIL, 2019).

Caso fosse possível restringir estes níveis de perdas para 15% (padrão de referência), o país apresentaria uma grande redução na pressão sobre os seus recursos hídricos. Perde-se atualmente cerca de 6 bilhões m<sup>3</sup> de água tratada por ano, volume este suficiente para abastecer em um ano cerca de 98 milhões de pessoas, considerando o consumo médio *per capita* de 59,1 m<sup>3</sup> (BRASIL, 2019).

Um sistema de distribuição de água é o conjunto de tubulações, acessórios, reservatórios e bombas que tem como função levar aos consumidores, água em condições sanitárias, de vazão e pressão, ou seja, qualidade e quantidade suficientes. Cada rede é única e possui características próprias tais como topografia local,

disponibilidade hídrica, regime de chuvas e crescimento populacional; portanto, a dimensão da rede e a complexidade do dimensionamento desta são grandezas diretamente proporcionais, o que resulta no desafio aos órgãos competentes (PORTO, 2006) (ANDRADE 2016).

Como a maioria dos componentes que compõe estes complexos sistemas ficam enterrados, a sua construção, manutenção, operação e gerenciamento necessitam de um alto investimento. Considerado um componente crucial de infraestrutura, as redes de distribuição de água são vitais para o desenvolvimento urbano, sendo o controle de perdas na distribuição o grande desafio das concessionárias de abastecimento em todo o mundo (MARQUES; CUNHA; SAVIĆ, 2015) (MALA-JETMAROVA; SULTANOVA; SAVIC, 2018).

Desafio este que se torna ainda maior quando confrontado com os problemas comumente encontrados em redes em operação, como instalações antigas e deterioradas, e gerenciamento ineficiente de perdas (MARQUES; CUNHA; SAVIĆ, 2018) (ZHANG et al., 2019).

O incremento da eficiência e eficácia do fornecimento para uma demanda com o menor custo, é considerado um objetivo crítico de operação e gerenciamento por parte das concessionárias de abastecimento. Especificamente, a eficácia requer a redução de vazamentos e água não lucrativa, sendo possível a partir do controle da pressão, visando a uniformidade e quantidade suficiente em todo o sistema (MALA-JETMAROVA; SULTANOVA; SAVIC, 2018).

A setorização das redes de distribuição de água, é descrita como uma consagrada metodologia utilizada no controle operacional. A técnica, implica na definição de áreas que podem ser parcialmente isoladas do restante da rede.

O seccionamento de uma rede, em pequenas redes chamadas de distritos medição e controle — DMC's, tem sido proposta como uma estratégia para a redução de vazamentos, sendo realizada, a partir da instalação de medidores de vazão ou válvulas em determinados locais, permitindo que o fluxo dentro de cada distrito seja monitorado (BURROWS; CROWDER; ZHANG, 2000) (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (HAJEBI et al., 2013) (PROCTOR; HAMMES, 2015) (CAMPBELL et al., 2016) (ZHANG et al., 2019).

A maioria dos pesquisadores concorda, que seccionar a rede em setores (DMC's) proporciona uma série de benefícios, como: substancial redução da água perdida por vazamento ativo; simplificação do gerenciamento de pressão, através do

acionamento das válvulas redutoras de pressão — VRP's; isolamento dos setores, proporcionado segurança ao sistema contra eventos de contaminação acidental ou criminosa; e potencial para criação de DMC's independentes abastecidos por uma única fonte, melhorando assim a qualidade do produto (não há combinação de água de fontes diferentes) (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (DI NARDO; DI NATALE; DI MAURO, 2013) (SALDARRIGA et al., 2019) (DI NARDO et al., 2014).

Nos estudos apresentados por Ilaya-Ayza et al. (2017) e Ciaponi et al. (2019), além dos benefícios da setorização para o monitoramento de eventos de contaminação, a técnica apresentou grande eficácia para o posicionamento ideal de válvulas de medidores de vazão.

Entretanto, apesar das inúmeras vantagens, os autores apontam como resultado negativo, como consequência da redução no número de conectividade da rede e rebaixamento da pressão do sistema, o despreparo da rede frente a eventos de emergência, como, combate a incêndios e suspensão de fornecimento devido a rupturas na tubulação (ILAYA-AYZA et al., 2017) (CIAPONI et al., 2019).

Sendo ainda uma preocupação adicional, a deterioração da qualidade do produto (aumento da idade da água) resultado a redução de caminhos disponíveis (GRAYMAN; MURRAY; SAVIC, 2009) (SCARPA; LOBBA; BECCIU, 2016).

A tarefa de dividir uma rede original em setores adequados, é um grande desafio para as concessionárias de abastecimento, devido principalmente à complexidade intrínseca na rede. No passado, antes da matemática, essa atividade era realizada de acordo com os limites dos municípios, estradas, número de habitantes, nível econômico e localização de reservatórios, desprezando totalmente as perspectivas globais (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (DI NARDO; DI NATALE; DI MAURO, 2013).

Todavia, com o advento de modelos matemáticos, os solucionadores hidráulicos simplificaram o processo fornecendo várias abordagens para a otimizar a geração de DMC's ao mesmo tempo, em que considera as restrições e objetivos operacionais impostos (DI NARDO; DI NATALE; DI MAURO, 2013) (SALDARRIGA et al., 2019).

Atualmente, o seccionamento da rede é um processo heurístico controlando por duas fases: agrupamento e otimização. Na fase de agrupamento, ocorre a pré-formação dos DMC's baseado na conectividade e topologia da rede. Realizada através da implementação de vários algoritmos, visando a formação de setores viáveis

como o menor número de conexões entre si (DI NARDO; DI NATALE; DI MAURO, 2013) (SALDARRIGA et al., 2019).

Feito isso é realizada a otimização do modelo para a locação dos medidores e válvulas, objetivando sempre a maximização da confiabilidade da rede e minimização dos custos econômicos (DI NARDO et al., 2014).

## **1.2 Justificativa**

A propícia concepção e delimitação dos Distritos de Medição e Controle — DMC's, na elaboração de projetos de rede de distribuição de água, é vista comumente, como atividade secundária. Entretanto, com a crescente preocupação do uso racional da água, e a cobrança por redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água por parte dos órgãos reguladores e financiadores. Essa etapa começou a ser considerada em projetos de setorização de redes.

Os distritos de medição e controle, inevitavelmente, passaram a ser devidamente considerados na elaboração dos projetos e na execução das redes de distribuição, visto que não é possível realizar um controle eficaz das perdas de água, sem a existência de distritos de medição e controle corretamente planejados, implantados e operados.

Diversos autores já apresentaram estudos sobre a aplicação da setorização em redes de distribuição de água. Contudo, não foram encontrados estudos que permitissem uma visão panorâmica do assunto, possível a partir de uma revisão bibliográfica sistemática. Aspecto que adequadamente justifica a condução da dissertação.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é reunir, de forma sistemática, o conhecimento científico sobre a setorização aplicada em redes de distribuição de água, fornecendo uma revisão abrangente sobre o tema, bem como todos os processos envolvidos para tomadas de decisão e estratégias de suporte.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos que contribuirão para atingir o objetivo da pesquisa são:

- a) Identificar os estudos de maior relevância na aplicação do processo de setorização em redes;
- b) Classificar as principais metodologias propostas em estudos recentes nas duas fases do processo de setorização (agrupamento e otimização);
- c) Identificar os principais indicadores de desempenho para aferição da eficácia das metodologias propostas;

### **3. REVISÃO DA LITERATURA - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

A seguir serão expostos os principais temas e conceitos relacionados ao assunto, utilizadas para a condução e compreensão desta pesquisa.

#### **3.1. Sistema de abastecimento de água**

Para Azevedo Netto et al. (1998), um sistema de abastecimento de água — SAA, pode ser definido como sendo: conjunto de obras e equipamentos empregados no fornecimento de água potável aos núcleos populacionais em suas diversas finalidades de uso: doméstico, industrial, serviços públicos e outros.

Complementando essa caracterização, Tsutiya (2006), afirma um SAA, engloba todos os componentes: manancial, captação, adutoras, estações de tratamento de água e elevatórias, reservatórios e redes de distribuição.

Sendo de extrema importância um projeto criterioso, para que seja possível a manutenção e operação hábil, visando sempre a proteção dos consumidores contra os riscos à saúde (BEZERRA; CHEUNG, 2013).

Em virtude destes fatores, um SAA é, considerado a parte mais onerosa de um projeto global de abastecimento, na qual merece atenção especial do projetista, em todos os parâmetros relacionados ao sistema, hipóteses de cálculo assumidas e metodologias empregadas, visando sempre alcançar uma planta eficiente (PORTO, 2006).

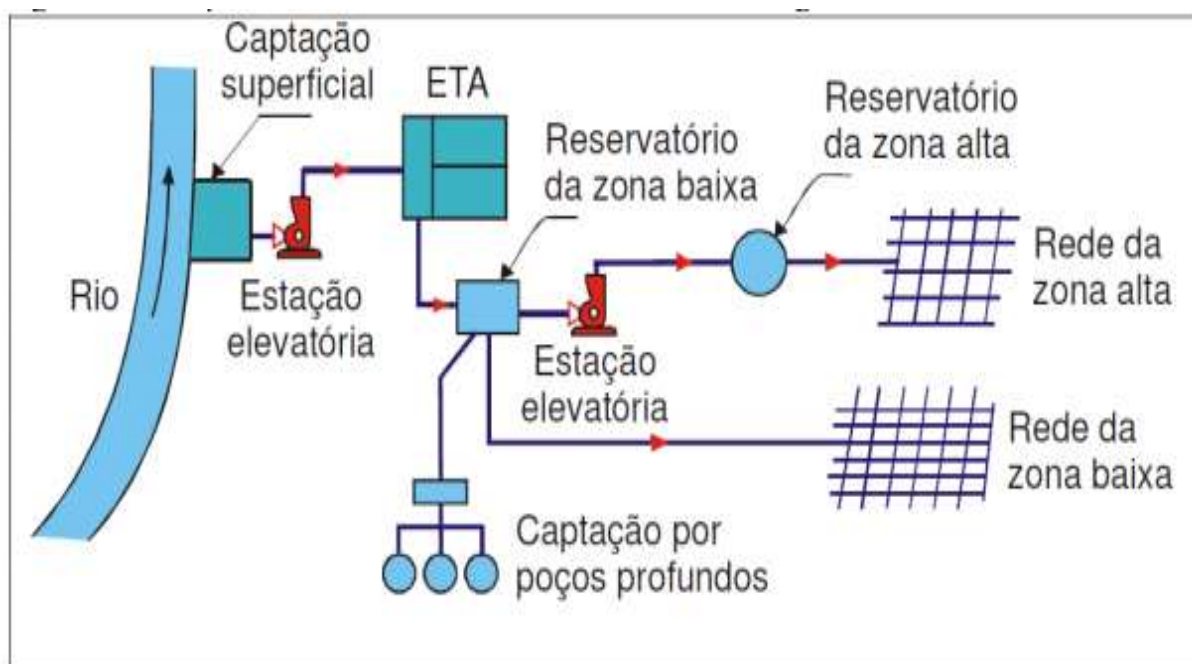
A Associação Brasileira de Normas Técnicas — ABNT coloca à disposição dos projetistas um número expressivo de diretrizes, proporcionando um bom estudo de concepção para sistemas de abastecimento de água público e suas diversas unidades. As principais normas da ABNT são:

- a) NBR 12211/1992 – estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água;
- b) NBR 12212/2017 – projeto de poço para captação de água subterrânea;
- c) NBR 12213/1992 – projeto de captação de água de superfície para abastecimento público;

- d) NBR 12214/2020 – projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;
- e) NBR 12215/2017 – projeto de adutora de água para abastecimento público;
- f) NBR 12216/1992 – projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público;
- g) NBR 12217/1994 – projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;
- h) NBR 12218/2017 – projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Acrescenta-se às normas da ABNT a Portaria MS nº 518/2004, na qual trata da qualidade da água para consumo humano, onde fornece importantes diretrizes para a concepção e o projeto de instalações de abastecimento de água. A Figura 1 apresenta os principais elementos que compõe um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água



Fonte: Orsini (1996).

### 3.2 Redes de distribuição de água

As redes de distribuição constituem o elemento final de um sistema de abastecimento de água, consideradas um dos mais complexos problemas de gerenciamento urbano. Trata-se de uma infraestrutura crítica e de extrema importância para o desenvolvimento dos centros urbanos. Sendo um dos principais desafios das companhias de abastecimento, o mantimento do suprimento de água, frente à rápida urbanização, redução dos recursos hídricos e o grande volume de perdas que ocorrem na distribuição. Os projetos de redes, visam sempre a minimização de quatro objetivos: déficit de pressão, demanda não entregue, custos de construção e energia elétrica (MARQUES; CUNHA; SAVIĆ, 2018) (RAHMAN; WU, 2018).

Rede de distribuição de água é caracterizada por Heller e Pádua (2010) como sendo a unidade do sistema de abastecimento, formada por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos. Tem como finalidade o fornecimento em regime contínuo de água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas a múltiplos consumidores (residenciais, comerciais, industriais e de serviços) localizados em uma cidade, vilas ou qualquer outra categoria de aglomeração urbana.

A designação “rede de distribuição” é oriunda da forma como as suas tubulações são instaladas, formando uma trama de condutos interligados entre si, propiciando diversas derivações para a entrega de água potável aos pontos de consumo (HELLER; PÁDUA, 2010).

De acordo com Heller e Pádua (2010), a grande importância das redes de distribuição está relacionada com duas características relevantes a elas associadas:

a) Garantir como última unidade do sistema de abastecimento, que toda a água produzida e veiculada pelas unidades anteriores. Chegue até os seus consumidores finais, sem a deterioração de sua qualidade, com a quantidade, pressão e continuidade suficientes, estabelecidas pela boa técnica e s normas aplicáveis;

b) Constituir-se geralmente como a mais extensa unidade do sistema, responsável pelo maior custo de implantação.

Segundo Porto (2006), a concepção geométrica do sistema depende diretamente do porte da cidade a ser abastecida, bem como de características viárias e topográficas da região. De acordo com suas características, os condutos da rede de distribuição podem ser classificados em dois tipos segundo a ABNT/NBR 12218/2017:

a) Conduitos Principais (também denominados troncos ou mestres) — tubulação de maior diâmetro responsável pela alimentação dos condutos secundários;

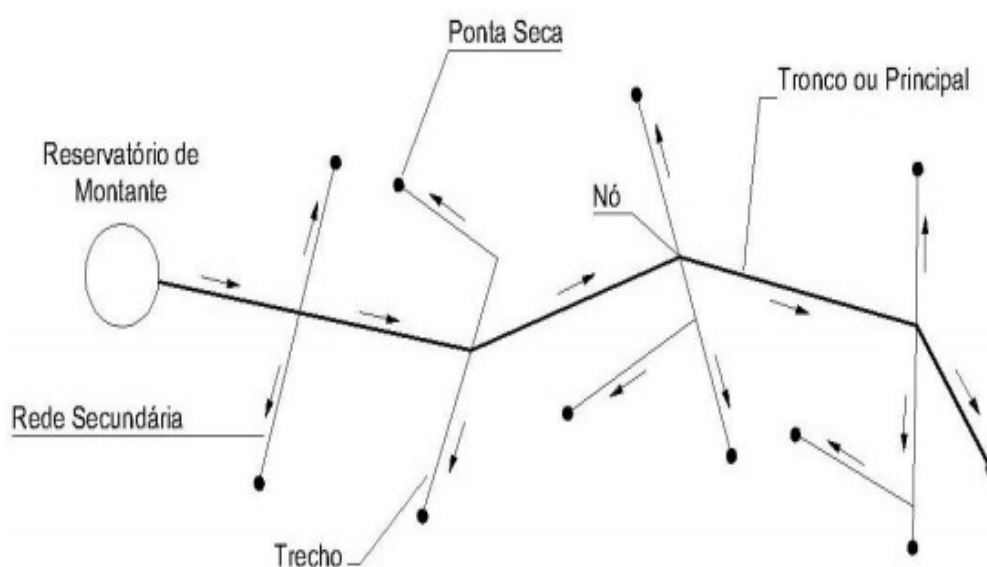
b) Conduitos Secundários — tubulação de menor diâmetro responsável pelo abastecimento dos pontos de consumo. Conforme a distribuição espacial dos condutos principais e o sentido de escoamento nas tubulações secundárias, as redes podem ser classificadas como malhadas e ramificadas. Sendo as tubulações dispostas em forma de malhas e de ramos, respectivamente (PORTO, 2006) (GOMES, 2009).

Já no traçado misto, apresenta uma combinação dos dois tipos, sendo uma parte em forma de malha e outra ramificada ou aberta, normalmente posicionada nas periferias ou áreas de expansão do sistema de abastecimento (PORTO, 2006).

Porto (2006) estabeleceu que a rede tem sua classificação como ramificada, quando o abastecimento se dá através de uma tubulação tronco, na qual ela é alimentada por um reservatório de montante ou sob pressão de um bombeamento. A distribuição nesta configuração, é feita diretamente para os condutos secundários.

Desta forma, a orientação da vazão em qualquer trecho é sempre conhecido, havendo um único sentido para o escoamento. A principal vantagem presente nesta configuração, é seu custo de implantação, muito mais barato que o de uma rede malhada de mesmo porte. A Figura 2 ilustra a configuração de uma rede ramificada.

Figura 2 - Esquema de rede ramificada



Fonte: Adaptado de Porto (2006)

Esta configuração, apresentam inconvenientes na manutenção, visto que para se executar um reparo em um trecho todo o ramal a jusante ficará sem água. Assim, o emprego dessa categoria rede tem sido descartado em locais onde o abastecimento de água não pode sofrer nenhuma forma de paralisação, como nos centros urbanos de médio e grande porte (GOMES, 2009) (BEZERRA; CHEUNG, 2013).

Tais redes são empregadas principalmente no abastecimento de sistemas de irrigação pressurizados, em pequenas comunidades e em urbanizações particulares (GOMES, 2009) (BEZERRA; CHEUNG, 2013).

De acordo com Gomes (2009) as metodologias existentes para o dimensionamento de redes, utilizam uma nomenclatura específica, na qual suas partes são nominadas por:

a) trecho: compreende cada um dos caminhos da rede de distribuição onde a vazão pode permanecer constante;

b) nó: ponto de união entre dois trechos. Nos nós se produzem modificações na vazão circulante;

c) nó de derivação: elo que conecta três ou mais trechos;

d) ramal: trechos conectados em série sem nenhum nó de derivação;

e) artérias: trajetos principais da rede de distribuição formados por ramais agrupados em série;

f) traçado da rede: configuração da distribuição das tubulações com a definição da situação topográfica de todos os componentes do sistema;

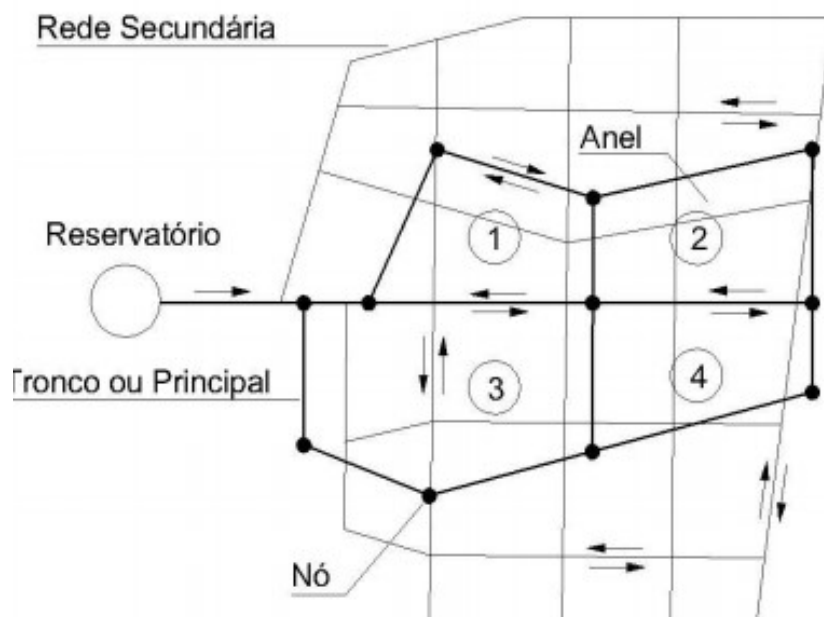
g) alimentação ou cabeceira: origem da rede de distribuição.

Normalmente o ponto inicial do sistema, é onde se localiza o reservatório de distribuição ou o bombeamento direto. Algumas redes são alimentadas diretamente por mais de um reservatório. Diferentemente das redes ramificadas que possuem apenas uma única tubulação tronco, as redes malhadas, são formadas por tubulações troncos que formam anéis ou malhas. Possibilitando assim a reversibilidade no sentido das vazões, em função das solicitações de demanda (GOMES, 2009).

Desta forma, é possível abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho, permitindo uma melhor flexibilidade para satisfazer a demanda, e maior facilidade na manutenção da rede com o mínimo de interrupção no fornecimento de água (PORTO, 2006).

O esquema geométrico de uma rede malhada, conforme ilustrado pela Figura 3 é o mais comum na maioria dos centros urbanos.

Figura 3 - Esquema de rede ramalhada



Fonte: Adaptado de Porto (2006)

### 3.3 Perdas de água em redes de distribuição de água

A escassez de hídrica devido ao aumento da demanda, o crescimento populacional ocasiona uma pressão atópica no meio ambiente, sendo considerado um dos principais problemas enfrentados por sociedades e pelo mundo no século XXI (DA SILVA, 2019).

Cerca de 1,0 bilhão de pessoas vivem em áreas afetadas pela falta de água, as perdas mundiais atingem a casa dos 45 bilhões de m<sup>3</sup>. Para se ter a noção da grandeza desse desperdício, esse volume seria capaz de atender 200 milhões de habitantes (SILVA, 2019).

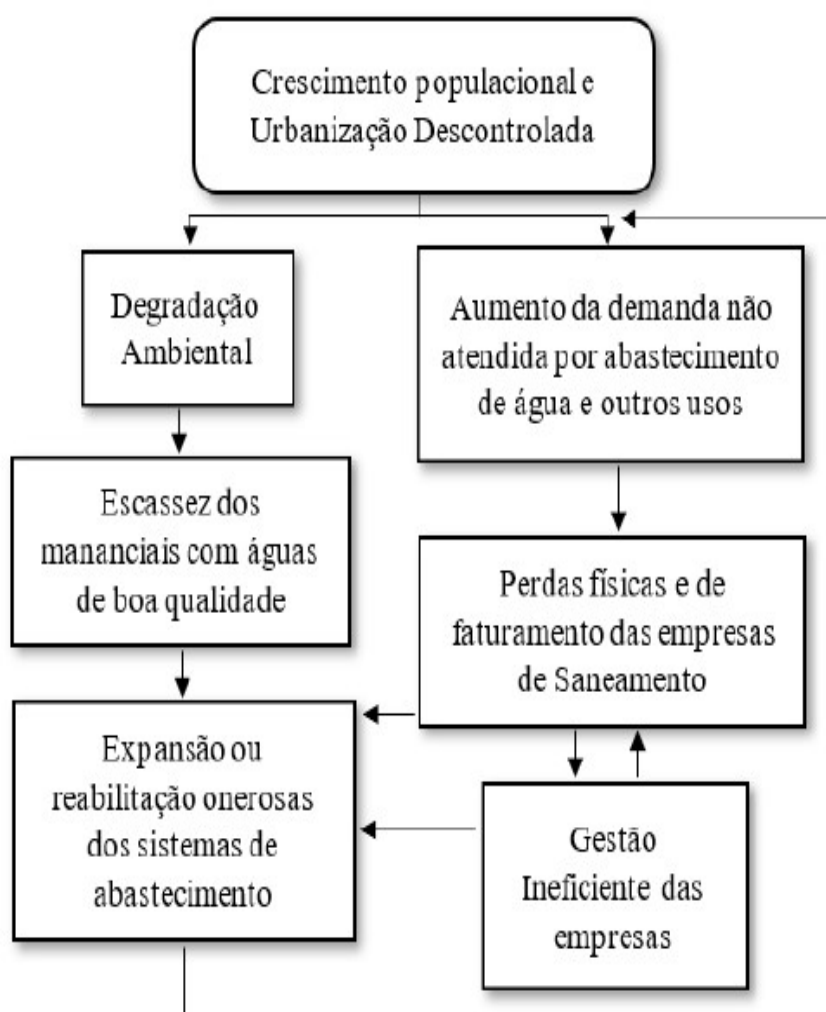
Por ser um sistema onde em sua maioria está enterrado, ocasiona um negligenciamento até que os vazamentos ou falhas se tornem aparentes. Estudos apontam, que as perdas no sistema de distribuição representam cerca de 30 a 40% da água produzida, ocasionado pela deterioração de seus componentes temporalmente, devido à ausência de manutenção constante (FONTANA; GIUGNI;

PORTOLANO, 2012) (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2013) (DA SILVA, 2019), (SILVA, 2019).

Considerado um recurso estratégico, a conservação da água vem sendo fonte de preocupação entre os gestores, principalmente para as companhias de abastecimento onde a solução está na melhoria da eficiência do sistema de distribuição (KANAKOUDIS; MUHAMMETOGLU, 2014) (MOLINOS-SENANTE; MOCHOLÍ-ARCE; SALA-GARRIDO, 2016) (CHINI; STILLWELL, 2018) (DA SILVA, 2019), (SILVA, 2019).

A Figura 4 ilustra a problemática do gerenciamento dos recursos hídricos.

Figura 4 - Problemática do Gerenciamento dos Recursos Hídricos



Fonte: Venturini (2003)



Segundo Bezerra e Cheung (2013), perda de água é caracterizada como sendo a quantidade de água prevista para a realização de um ou mais usos, mas que não é utilizada devido a deficiências técnicas, operacionais e econômicas.

Em seu estudo, Soares et al. (2004) consideram que não existem sistemas totalmente estanques, ou seja, toda rede de distribuição de água apresenta alguma perda por vazamento.

De acordo Galvão (2007), a maior parte das perdas ocorre na infraestrutura de distribuição, compreendendo tanto a rede como as ligações prediais. Tais perdas, são influenciadas por inúmeros fatores infraestruturais e operacionais. Dependem diretamente das características da rede hidráulica e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível tecnológico do sistema e da experiência dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos.

Diante das inúmeras nomenclaturas e denominações dadas as diversas categorias de perdas existentes, a International Water Association — IWA tentou padronizar a terminologia utilizada pelos técnicos das companhias de saneamento de todo o mundo. Desta forma, foi elaborado um balanço hídrico para os sistemas de distribuição de água em que se explicitavam as componentes das perdas (ALEGRE 2005).

Segundo Farley e Trow (2003), as novas denominações “reais” (antes denominadas físicas) e aparentes (não físicas ou comerciais). Sendo, distinção entre elas de extrema importância, visto que as ferramentas utilizadas para o gerenciamento e combate a cada uma das tipologias diferenciam significativamente.

De acordo com Bezerra e Cheung (2013), internacionalmente, o balanço hídrico é conhecido como uma aplicação *Top-Down*. Pois, a avaliação das perdas é realizada por meio do cálculo do balanço hídrico de “cima para baixo”. Ou seja, pelo volume de água que entrou no sistema subtraindo a quantidade efetivamente consumida.

O esquema proposto pela IWA é conforme ilustrado pelo Quadro 1.

Quadro 1 - Balanço Hídrico proposto pela IWA

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (inclui água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes)	
			Falhas do sistema comercial	
			Submedição dos hidrômetros	
		Perdas Reais (Físicas)	Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição	
			Vazamentos nos ramais prediais	
			Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos	

Fonte: Adaptado de Alegre (2005).

Nessa categoria de metodologia, são efetuadas hipóteses que visam a determinação das perdas aparentes, onde pela diferença, é possível então estimar às perdas reais. As definições dos termos adotados no balanço hídrico da IWA são as seguintes:

a) Volume de entrada no sistema: representa o somatório dos volumes referentes às fontes, podendo elas serem superficiais e/ou subterrâneas acrescidas da quantidade de água importada;

b) Consumo autorizado: refere-se ao volume de água medido e/ou não medido utilizado por consumidores cadastrados nas companhias (cliente registrado sem hidrômetro), acrescido dos volumes implicitamente ou explicitamente autorizados pela empresa. Incluindo-se também os volumes destinados ao combate a incêndio, limpeza de ruas e reservatórios, rega de espaços verdes municipais, abastecimento de caminhões pipas e alimentação de fontes públicas. Alguns consumos apresentados podem ser faturados, dependendo da prática local;

c) Perdas aparentes: também chamadas de perdas não físicas ou comerciais: correspondem aos volumes de água consumido, mas não contabilizado pelas companhias de abastecimento. Ou seja, é a água que não foi “fisicamente perdida”, mas não gerou receita para a empresa. Sendo causadas principalmente por ligações

clandestinas, roubo ou uso ilegal, fraudes em hidrômetros, erros de leituras e falhas cadastrais;

d) Perdas reais: representam o volume efetivamente perdido no sistema. Decorrentes de vazamentos passíveis de ocorrência em todo o sistema: tubulações das adutoras, redes de distribuição, ramais de ligações prediais, ETA's e extravasamentos de reservatórios;

e) Consumo faturado medido: é o volume de água que gera receita para as empresas prestadoras de serviço. Correspondendo ao somatório dos valores arrecadados nas contas emitidas;

f) Consumo faturado não medido: representa o volume estimado pelas companhias de abastecimento relativo à economia onde não há hidrômetro (consumidores de baixa renda);

g) Consumo não faturado medido: é o volume destinado aos clientes que as empresas dispensam o pagamento da conta de água, somado ao consumo interno da companhia;

i) Uso não autorizado: volume que não produz receita. Nesse volume, incluem-se as ligações clandestinas e fraudes;

j) Erros de medição: volume decorrente do erro de aferição, causados por defeitos de fabricação, dimensionamento inadequado e instalação incorreta;

k) Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição: volume de perdas que ocorre ao longo das adutoras e redes de distribuição. É nesse grupo que se concentram as ocorrências de maior intensidade;

l) Vazamentos e extravasamentos em reservatórios: é o volume de perdas decorrentes do extravasamento em reservatórios;

m) Vazamentos em ramais prediais: é o volume de perdas que ocorre entre o colar de tomada e o cavalete residencial. Sendo as principais causas: instalações inadequadas, qualidade do material, pressões atuantes e/ou à movimentação do solo.

Desta forma, pode-se afirmar que, as perdas de água tanto reais quanto aparentes, constituem uma grande ineficiência no abastecimento de água (ABES,2013) (KINGDOM; LIEMBERGER; MARIN, 2006) (KANAKOUDIS; MUHAMMETOGLU, 2014) (SELA PERELMAN et al., 2015).

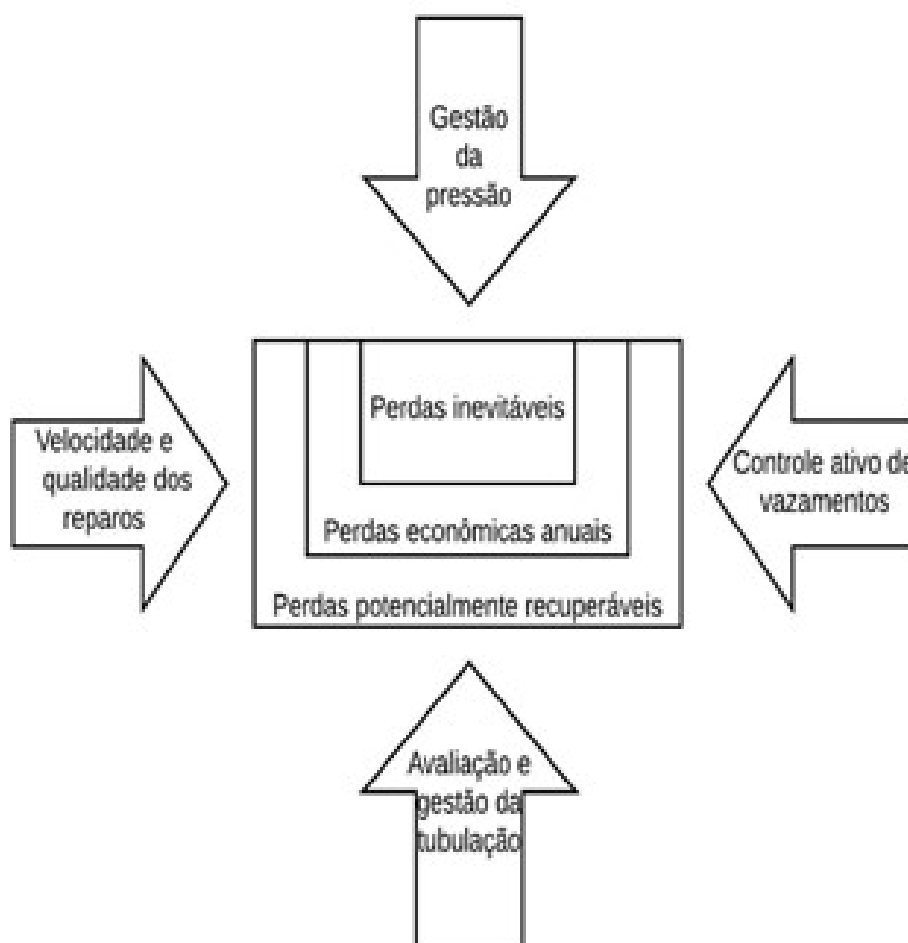
Ainda segundo Kanakoudis e Muhammetoglu (2014), para o controle das perdas aparentes, é indicado a utilização de medidores mais precisos, uma maior

fiscalização e legalização de ligações clandestinas e automatização da contabilização do consumo de água.

Já para a redução das perdas reais, o gerenciamento de pressões na rede é vista como uma boa estratégia. Reduzindo as mesmas para valores que não causem danos nas redes e permitindo o adequado fornecimento de água para o horário de pico e para serviços de hidrante (KANAKOUDIS; MUHAMMETOGLU, 2014).

Além de utilizar a manutenção baseada em um controle ativo de vazamentos, a avaliação das tubulações e o gerenciamento das pressões na rede através de modelagem fazem parte do conjunto de estratégias para a redução das perdas reais, conforme exposto na Figura 5.

Figura 5 - Estratégias para a redução das perdas reais.



Fonte: Adaptado de Kanakoudis e Muhammetoglu (2014).

De acordo com Marcka (2004), tratando-se de perdas reais, é possível afirmar que ela é passível ocorrer em todas as etapas de um sistema de abastecimento de água. Como apresentado no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 - Perdas reais por subsistema: Origem e Magnitude

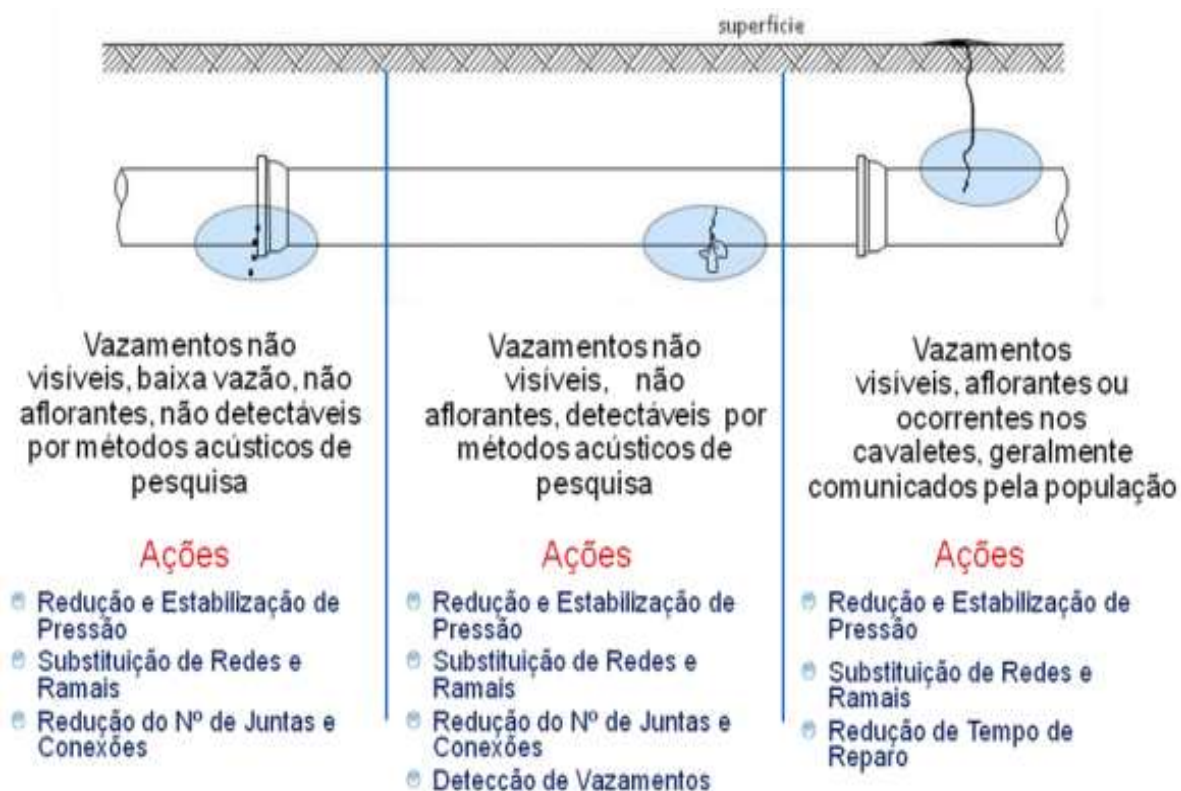
PERDAS REAIS	Local	Origem	Magnitude
	Adução de água bruta	Vazamento na tubulação Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Tratamento	Vazamentos nas estruturas Lavagem dos filtros* Descarga de lodo*	Significativa, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamento nas estruturas Extravasamento Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Adução de água tratada	Vazamento na tubulação Descargas Limpezas (volumes além do necessário)*	Variável, função do estado de conservação e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamento nos ramais Descargas	Significativa, função do estado de conservação e da eficiência operacional

Fonte: Adaptado de Marcka (2004).

Observando o quadro, é possível perceber que a magnitude de perdas nas redes de distribuição é significativa e possuindo grande influência da pressão. Sendo a administração desta, uma importante ação mitigadora no controle de perdas reais do sistema (FREIRE, 2017).

Tardelli Filho (2006) em seu estudo apresentou os pontos de ocorrência de perdas reais na distribuição e suas principais ações de combate, como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Medidas de combate às perdas em redes de distribuição.



Fonte: Tardelli Filho (2006)

A tabela 1, apresenta números referentes a perdas no sistema de distribuição brasileiro. Onde, segundo dados do ano de 2018, o Brasil apresentou um total de perdas de 38,5%. Implicando em um discreto aumento em relação ao diagnóstico de 2017, no qual indicava uma perda de água tratada de 38,3% (BRASIL, 2019).

Tabela 1 - Índice de perdas na distribuição de água dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018.

<b>Região</b>	<b>Total (%)</b>
Norte	55,5
Nordeste	46,0
Sudeste	34,4
Sul	37,1
Centro-Oeste	35,7
Brasil	38,5

Fonte: adaptado de Brasil, 2019.

A Norma Técnica NBR n.º 12.218/2017, estabelece o limite mínimo de pressão dinâmica igual a 100 kPa (cerca de 10 m.c.a.) e o limite máximo de pressão estática de 500 kPa (cerca de 50 m.c.a.). Há leis que restringem a pressão mínima de operação, de modo a evitar problemas de retorno, carga de incêndio insuficiente e contaminação por intrusão.

Entretanto, valores que extrapolarem essa faixa determinada por norma, poderão ser admitidos desde que apresentem justificativas técnicas e econômicas. Em locais de grande variação topográfica a ocorrência de rompimentos da rede devido a elevadas pressões ainda é uma realidade.

### **3.4. Aspectos da setorização de redes de distribuição de água – Distritos de Medição e Controle (DMC's)**

Com as informações levantadas sobre perdas de água em redes de distribuição percebe-se uma necessidade crescente de se investigar novas soluções no que tange a manutenção eficiente das redes em prol da minimização e gestão eficiente das perdas. Contudo, não se pode falar em manutenção adequada das redes sem uma correta setorização para manobra destas.

De acordo com Giustolisi e Savic (2010), as interrupções programadas (manutenção preventiva) e não programadas (manutenção corretiva) ocorrem regularmente em redes de distribuição de água, tornando-se necessário isolar os trechos de tubulações e um fracionamento da rede pode tornar mais fácil qualquer atividade de manutenção.

O setor de abastecimento é a unidade básica operacional de um sistema distribuidor de água que corresponde às linhas primárias e secundárias de uma determinada área.

A área pode ser abastecida diretamente a partir de uma derivação de adutora ou, indiretamente, através de um reservatório setorial.

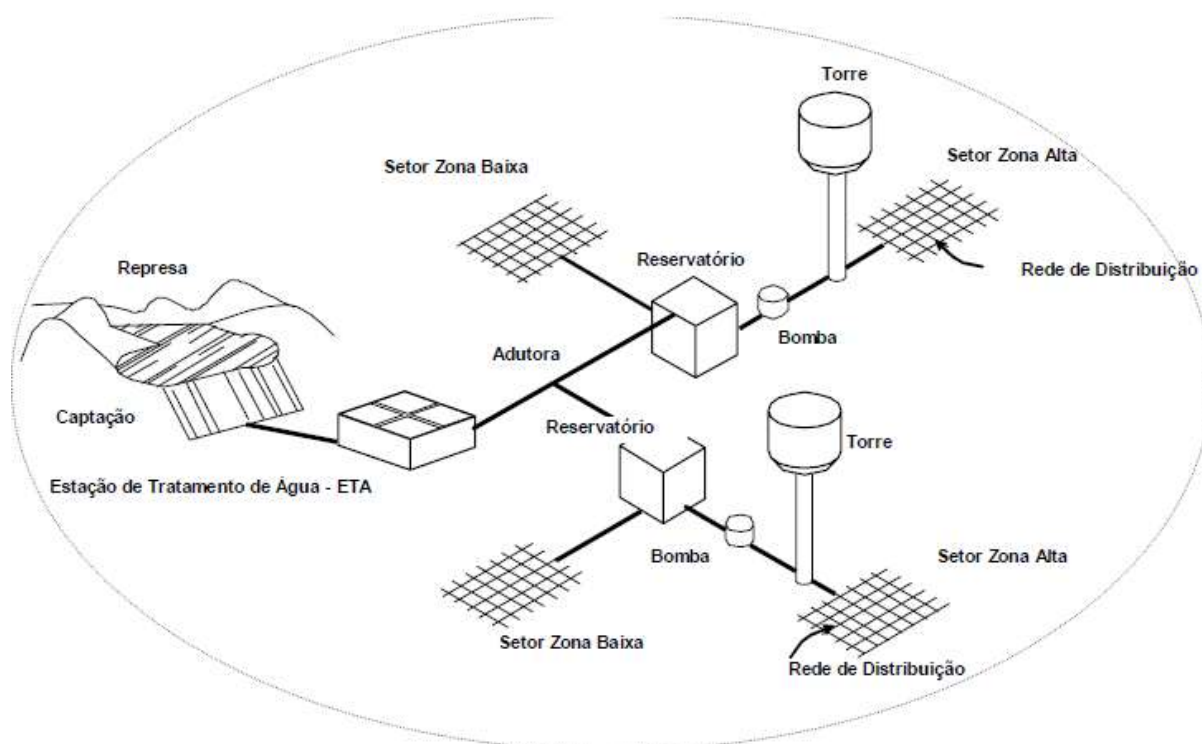
A concepção dos setores de abastecimento tem como diretriz principal a definição das zonas de influência das principais unidades que atendem o setor (reservatórios, elevatórias e bombas).

Para definir um setor de abastecimento é necessário levar em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores na área a ser

atendida. Definidos esses parâmetros será possível posicionar os reservatórios, dimensionar as linhas de distribuição e definir todos os acessórios necessários ao abastecimento.

Os setores de abastecimentos podem ter uma ou mais zonas de pressão que serão determinadas conforme a configuração topográfica da área ser abastecida. A Figura 7 a seguir apresenta um setor de abastecimento típico.

Figura 7 - Setor de Abastecimento típico



Fonte: Souza (2004).

A posição do ponto de alimentação dos setores irá definir o plano piezométrico do setor, ou seja, as pressões máximas e mínimas a que o setor estará submetido, considerando-se a topografia e o consumo na área atendida.

Nos locais onde as condições de pressões máximas e mínimas não sejam satisfeitas, deve-se lançar mão de equipamentos acessórios para garantir o abastecimento satisfatório, sejam:

- Bombas para atender os pontos mais elevados do setor, localizados acima do plano piezométrico;



- Válvulas Redutoras de Pressão para reduzir a pressão nos pontos onde estas superam os valores de pressão máxima estabelecida em normas.

Atualmente, a maioria dos sistemas de abastecimento de água está implantada. Embora as normas e a boa prática disciplinem a implantação dos setores de abastecimento, na prática os sistemas de distribuição são frequentemente ampliados sem respeitar critérios técnicos rígidos. Em muitos centros urbanos, que experimentaram crescimento populacional acelerado, as redes de distribuição avançam para atender às novas ocupações sem preocupação com a setorização dos sistemas de água.

Em sistemas existentes, mesmo que a implantação tenha sido precedida de um adequado projeto de engenharia, as ampliações da distribuição para atender as áreas de expansão nem sempre ocorrem de modo organizado.

As ocupações periféricas ocorrem, geralmente, nos fundos de vale e nas encostas, o que para a distribuição de água gera regiões com pressões elevadas ou com pressões insuficientes para o abastecimento, respectivamente. Essa condição hidráulica é bastante favorável à ocorrência das perdas reais de água.

Portanto, a necessidade dos sistemas públicos de abastecimento é a organização da distribuição de água em setores controlados que permitam maior eficiência e controle dos volumes de água distribuídos e ações mais eficazes de controle de perdas.

A adequação e setorização de sistemas existentes não é uma tarefa simples e às vezes envolve custos elevados. A implantação deve ser iniciada pelo isolamento de áreas, a partir das quais, por aproximações sucessivas, vai se configurando a setorização mais conveniente (CONEJO; LOPES; MARCKA, 1999).

Para adequação de sistemas existentes é necessária a investigação de campo e monitoramento de pressões dinâmicas na distribuição. Esses dados são fundamentais para definir as ações para setorização.

Além disso, pode-se lançar mão da utilização da modelagem matemática através da utilização de programas computacionais como ferramenta para simulação hidráulica do comportamento dos setores existentes e o resultados das intervenções nos setores propostos.

### 3.5. Modelagem e Simulação hidráulica de redes de distribuição de água

Os modelos hidráulicos, quando calibrados representam o comportamento real dos componentes do sistema (condutos sob pressão, bombas, válvulas e reservatórios). O funcionamento dos simuladores é baseado em conceitos de conservação de massa e energia. Esses modelos, auxiliam no processo de otimização das adutoras, na escolha da bomba ideal e proporcionam redução no tempo de cálculo (SANTOS, 2017) (SILQUEIRA, 2019).

Muitos programas de modelagem hidráulica, foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar a elaboração de projetos de rede de distribuição de água. Rego (2007) fez uma análise comparativa entre *softwares* de modelagem hidráulica mais utilizadas atualmente, dando origem ao Quadro 3 apresentado a seguir. No qual estão expostos os principais *softwares* bem como suas respectivas funcionalidades analisadas.

Quadro 3 - Análise comparativa entre *softwares* de modelagem hidráulica

Item avaliado	EPANET	HIDROCAD	STRUMAP	SYNERGEE	WATERCAD
Custo	Muito bom	Bom	Não satisfaz	Não satisfaz	Não satisfaz
Facilidade de uso	Muito bom	Muito bom	Bom	Não satisfaz	Bom
Operacionalidade e flexibilidade	Bom	Não satisfaz	Muito bom	Bom	Bom
Robustez do modelo	Bom	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Bom
Velocidade de processamento	Bom	Não satisfaz	Muito bom	Muito bom	Muito bom
Componentes representadas	Muito bom	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Muito bom
Interface com o usuário	Muito bom	Bom	Bom	Não satisfaz	Bom
Características do modelo de qualidade	Bom	Não satisfaz	Não satisfaz	Não satisfaz	Muito bom
Integração com bases de dados CAD, SIG e SCADA	Bom	Bom	Bom	Bom	Muito bom

Fonte: adaptado de Rego (2007).

## **4. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Essa sessão da pesquisa, foi faseada de modo a tornar mais clara a condução do método utilizado. Na primeira etapa serão expostos o delineamento e a execução da Revisão Bibliográfica Sistemática — RBS, bem como os critérios adotados a partir dos estudos selecionados na mesma. Posteriormente, foram estabelecidos os parâmetros para a sistematização e por fim os resultados obtidos na revisão.

### **4.1. Considerações Iniciais**

Visando a investigação e compreensão da “Setorização em Redes de Distribuição de Água” bem como a identificação dos trabalhos relacionados com essa pesquisa, uma RBS foi elaborada e executada, objetivando a identificação de conceitos, técnicas e processos desenvolvidos para setorização de sistemas de distribuição de água.

### **4.2 Revisão Bibliográfica Sistemática — RBS**

Essa pesquisa utilizou-se como método principal a RBS, por permitir que outros pesquisadores recorram aos resultados obtidos com maior confiabilidade, devido à exatidão com que as etapas são conduzidas. A revisão sistemática, é uma metodologia empregada para a prática da revisão bibliográfica de maneira organizada. Permitindo uma condução bem elaborada, além de tornar sólida a base do trabalho (KITCHENHAM, 2007) (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Segundo Kitchenham (2007), uma RBS “é a maneira de identificar, avaliar e interpretar todos os estudos disponíveis e relevantes para uma questão de pesquisa específica ou área temática, ou fenômeno de interesse”. Além, de afirmar que todos os trabalhos que contribuem para uma revisão sistemática, são chamados de estudos primários. Sendo a revisão sistemática, um estudo secundário, que permite uma visão macro dos estudos primários.

Uma RBS pode ser classificada como narrativa ou sistemática, onde a narrativa é uma descrição simplificada dos estudos e dados sobre os assuntos abordados. Já

a sistemática, utiliza métodos cuidadosos para garantir o rigor científico e aumentar a veracidade das conclusões obtidas (COOK et al., 1997).

Os procedimentos metodológicos utilizados para delinear e executar esse mapeamento, foi baseado nas diretrizes de: Dybâ, Kampenes e Sjoberg (2005), Kitchenham et al. (2007), Travassos(2007) e Conforto, Amaral e Silva (2009). Sendo ela dividida em três fases e subdivididas em quatorze etapas. Conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Ciclo de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Primeira Fase denominada de Entrada é subdividida em sete etapas conforme exposto no Quadro 4.

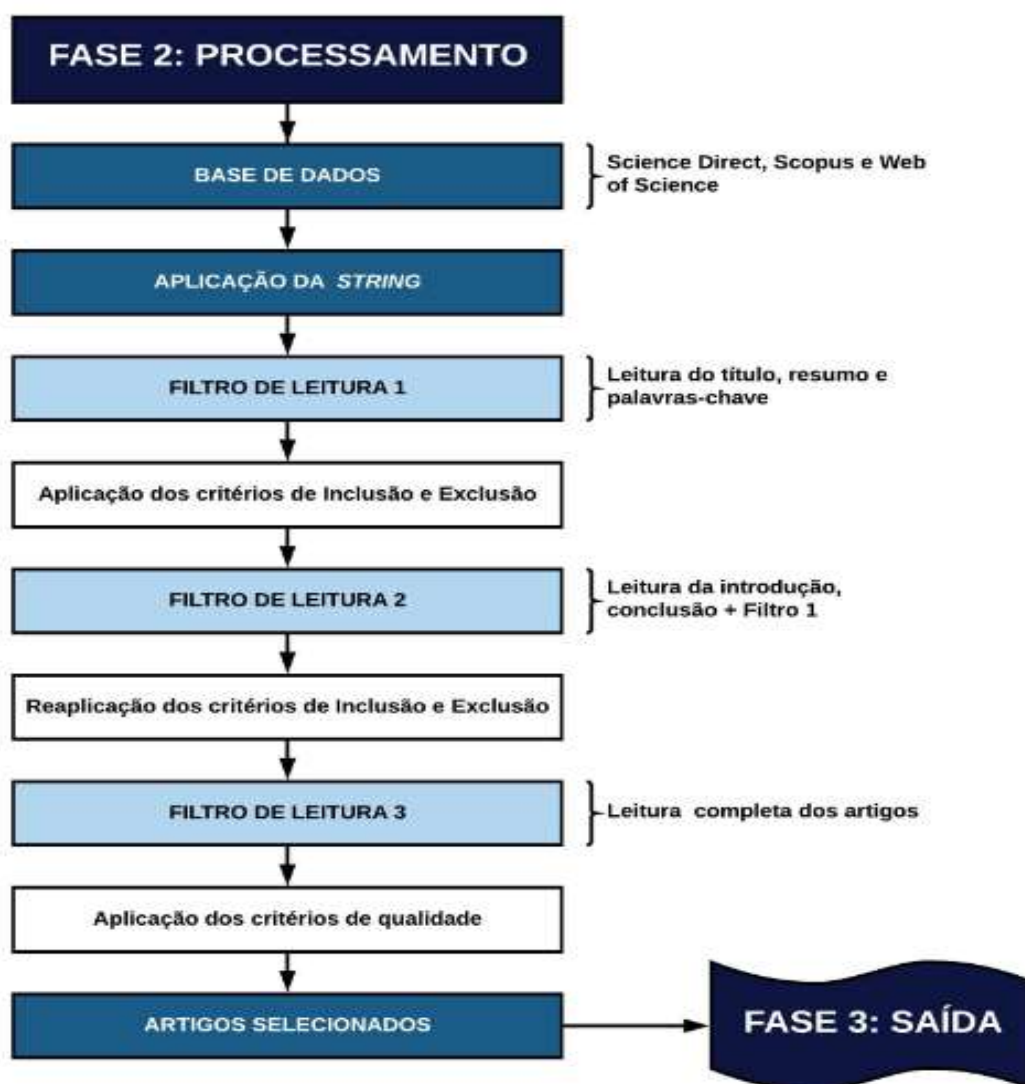
Quadro 4 - Etapas da Primeira Fase da RBS

<b>Etapa</b>	<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aspectos relevantes</b>
1	Definição do problema	É o ponto inicial da pesquisa, onde busca responder uma ou mais perguntas com a RBS.	O problema deve ser formulado em modo de pergunta, de forma clara sendo passível de solução.
2	Delineamento dos objetivos	Devem ir ao encontro de modo claro.	Deve-se ter um cuidado no rigor da definição dos objetivos, pois, é a partir dele que será possível traçar os critérios de inclusão dos artigos.
3	Estratégia de busca	A <i>string</i> deverá ser elaborada a partir de palavras e termos referentes ao objeto de estudo.	Para a determinação das palavras-chave e termos, aconselha-se realizar um estudo preliminar para posterior adaptação e teste da mesma.
4	Fontes de pesquisa	As fontes de pesquisa poderão ser artigos, periódicos ou bases de dados que auxiliarão na definição de palavras-chave, autores relevantes entre outros.	Pode-se consultar pesquisadores da área para coletar informações sobre principais publicações e/ou efetuar uma pesquisa preliminar sem o rigor exigido em uma RBS.
5	Crítérios de inclusão e exclusão	Os critérios de inclusão e exclusão devem estar atrelados ao objetivo da pesquisa.	É necessária uma delimitação do que se se objetiva, para que os critérios sejam coerentes e atendam às necessidades.
6	Crítérios de qualidade	Os critérios de qualificação são importantes para a avaliação do grau de relevância do artigo selecionado.	É possível determinar os critérios de qualificação a partir do método de pesquisa, da quantidade de citação do artigo, do fator de impacto da revista de publicação.
7	Métodos e ferramentas	Serão necessários para a etapa de execução da busca dos artigos, com a definição dos filtros que serão adotados.	O método deverá ser cíclico para que as pesquisas sejam refinadas, permitindo o cruzamento de informações coletadas.

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2009)

A Segunda Fase, chamada de Processamento, é subdividida em três etapas e juntas contemplam sete passos interativos para a condução da RBS de maneira sistemática. A Figura 9 ilustra a dinâmica que deverá ser seguida nesta Fase.

Figura 9- Fluxograma dos procedimentos da Fase de Processamento

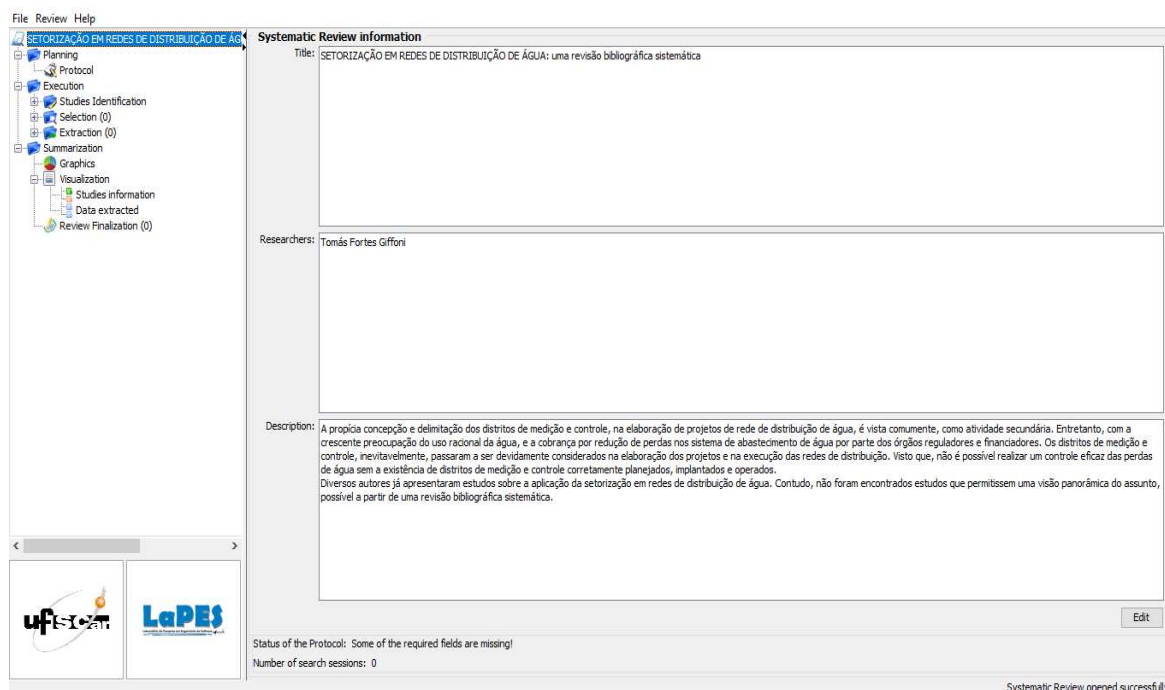


Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Nesta fase, é necessário documentar os passos que foram realizados, sendo de suma importância, a utilização de ferramentas e *softwares* que facilite a execução da RBS. Nesta pesquisa foram adotados as seguintes ferramentas: Mendeley, para o gerenciamento dos artigos e StArt para a condução.

O StArt foi uma ferramenta desenvolvida pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos e disponibilizada gratuitamente. Sua *interface* é apresentada conforme Figura 10.

Figura 10 – Interface do *software* StArt



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

A Terceira e última Fase intitulada pelos autores de Saída é subdividida em quatro etapas conforme expresso no Quadro 5.

Quadro 5- Etapas da Fase Saída

<b>Etapas</b>	<b>Nome</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aspectos relevantes</b>
1	Alertas	Deve-se criar alerta com a string de busca, para o recebimento de atualizações dos periódicos relacionados com a pesquisa.	De extrema importância, uma vez que permite a atualização do repositório mesmo com a pesquisa em andamento.
2	Cadastro e arquivamento	Os artigos selecionados deveram ser armazenados no <i>software</i> Mendeley.	Este software auxilia na organização e utilização dos artigos selecionados.
3	Síntese e Resultados	É necessário escrever um texto sobre o assunto abordado para posterior utilização em capítulos de revisão.	De suma importância nesta etapa elucidar ao leitor o estado atual da pesquisa, principais autores e evolução do conceito, artigos e compilar e avaliar os modelos.

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2009)

#### 4.2.1 Planejamento da RBS

Na primeira etapa, a partir do objetivo definido para a pesquisa iniciou-se a elaboração do protocolo para a coleta de dados da RBS. Esta fase foi conduzida e resumida com o apoio da ferramenta Start.

Uma RBS é composta por várias etapas que devem ser seguidas com rigor, ainda que trabalhosas e repetitivas. Nesse sentido, o *software* StArt proporciona um grande suporte para o pesquisador auxiliando na organização das etapas, facilitando o acesso aos artigos e proporcionando agilidade no uso dos dados coletados, visto que a ferramenta possui um campo específico para cada artigo selecionado. Onde o investigador pode inserir seus comentários, resumos e posteriormente exportar em formato de Excel para a utilização.

##### • Definição do problema

A definição do problema é o ponto de partida da RBS, onde objetiva-se responder uma ou mais perguntas com a revisão bibliográfica. O problema deve ser formulado na forma de pergunta, sendo claro e preciso, empírico, suscetível de solução e delimitando a uma dimensão viável. (GIL, 2007)

É uma etapa crucial para o desenvolvimento da pesquisa, pois, caso ela seja muito restritiva o estudo torna-se limitado e conseqüentemente o trabalho resultará em um número insuficiente de artigos. Deste modo, no início da pesquisa é conveniente evitar especificações excessivas. Entretanto, se a definição do problema for muito ampla e abrangente, resultará em uma quantidade elevada de estudos o que acaba inviabilizando a sistematização.

De modo a decompor o problema e favorecer a busca dos resultados, foi aplicado a estratégia proposta por Petticrew e Roberts (2006), onde se aplicou o acrônimo PICO: população, intervenção, comparação e *Outcome*, conforme exposto no Quadro 6.



Quadro 6- Componentes da Pergunta da Pesquisa

<b>Descrição</b>	<b>Abreviação</b>	<b>Componentes da pergunta</b>
População	<b>P</b>	Redes de Distribuição de Água
Intervenção	<b>I</b>	Utilização de Algoritmos Genéticos
Comparação	<b>C</b>	Técnicas/ Processos utilizados
Outcome	<b>O</b>	Setorização das Redes de Distribuição de Água

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Desta forma, este estudo visa responder como a técnica de setorização tem sido aplicada em redes de distribuição de água.

Para facilitar a extração, análise e síntese dos resultados, as seguintes questões de pesquisa específicas (QPE) foram elaboradas:

QPE1: quais são os processos necessários para a setorização de redes de distribuição de água?

QPE2: quais as técnicas/processos de setorização estão sendo utilizadas atualmente em projetos de redes de distribuição de água?

QPE3: quais são os principais desafios e limitações encontrados na aplicação da setorização em redes de distribuição de água?

#### • Critérios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE)

Os critérios de inclusão e exclusão de artigos visam restringir a variedade de pesquisas obtidas sobre determinado assunto através da leitura do resumo. Quando se aplica a busca de palavras chaves nas bases de dados, muitas vezes são encontrados artigos com pouca relevância no tema em estudo, apesar de apresentarem as palavras-chave.

Os parâmetros de inclusão e exclusão podem ser do tipo metodológico (metodologia aplicada), pelo instrumento utilizado (entrevistas, testes e outros), idioma da publicação e contexto do estudo.

Nesta pesquisa foram selecionados os artigos que se atendessem pelo menos três dos critérios de inclusão (CI) e suprimidos caso os mesmos enquadrassem em um dos critérios de exclusão (CE) propostos.

De acordo com o protocolo definido para a RBS, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão e exclusão. De modo a garantir que os artigos selecionados, pudessem responder à questão de pesquisa. Os critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) definidos foram:

**Critérios de Inclusão (CI):**

CI1. Estudos que abordam a setorização em redes de distribuição de água;

CI2. Estudos que apresentam técnicas para a setorização;

CI3. Estudos com a aplicação da técnica de setorização.

**Critérios de Exclusão (CE):**

CE1. Escrito em um idioma que não seja o Inglês;

CE2. Estudos duplicados ou repetidos;

CE3. Estudos que não apresentem técnicas de setorização em redes de distribuição de água;

CE 4. Estudos incompletos, rascunhos, *slides* ou resumos.

**• Fontes de Busca**

Para a definição das bases de busca, baseou-se em Dieste et al. (2009), que propõem alguns critérios como: a cobertura das publicações, disponibilidade dos estudos primários em conferências relevantes na área de pesquisa.

A busca por estudos no idioma inglês foi adotada por ser a língua priorizada nos periódicos científicos e eventos de maior impacto. As bases de pesquisa utilizadas neste estudo foram: *Science Direct*, *Scopus* e *Web Of Science*. Optou-se pela escolha dessas bases, devido à grande relevância na literatura científica e por serem muito utilizadas para pesquisas na área de engenharia I e ciências ambientais.

**• Estratégia de Busca**

Após a seleção das bases de dados acadêmicas para a busca dos artigos, iniciou-se a construção da string de pesquisa, onde, utilizou-se a definição de Kitchenham (2007), que propõe a identificação das principais palavras-chave decorrentes das questões de pesquisa. Para a abrangência de sinônimos e termos alternativos, utilizaram-se os operadores booleanos OR e AND respectivamente. As palavras-chave extraídas da questão de pesquisa principal foram: setorização e redes

de distribuição de água. Objetivando retornar um número satisfatório de artigos representativos, os termos utilizados para a construção da string, foram somados aos seus respectivos sinônimos. E após inúmeras combinações, as strings que obtiveram o maior número de resultados e conseqüentemente foram adotadas nesta pesquisa, estão expostas no Quadro 7.

Quadro 7 - Processo de construção das *Strings* de busca

Key Words	String Science	String Scopus	String WOS
"sectorization" "district metering área" "water distribution network" "water suply networks" "water distributions systems".	"sectorizati on" AND "water distribution network"	(TITLE-ABS KEY ("sectorization") O R TITLE-ABS- KEY ("district metering área") AND TITLE-ABS- KEY ("water distribution network") OR TITLE- ABS-KEY ("water suply networks") OR TITLE- ABS-KEY ("water distributions systems"))	TÓPICO: ("sectoriz ation") OR TÓPICO: ( "district metering área") AND TÓPICO: ("water distribution network") OR TÓPIC O: ("water suply networks") OR TÓPI CO: ("water distributions systems")

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Resultados do mapeamento sistemático da literatura

O processamento dos resultados obtidos, em cada etapa da condução foram desenvolvidos conforme apresentados abaixo.

#### • Fase 1: Entrada

A primeira etapa do processo, foi o preenchimento do protocolo da pesquisa, nele foram inseridos: objetivo, palavras-chave, bases de dados, idioma dos artigos, os critérios de inclusão, exclusão e explicações para nortear a condução do trabalho. A Figura 11 demonstra a tela “protocolo” da ferramenta StArt.

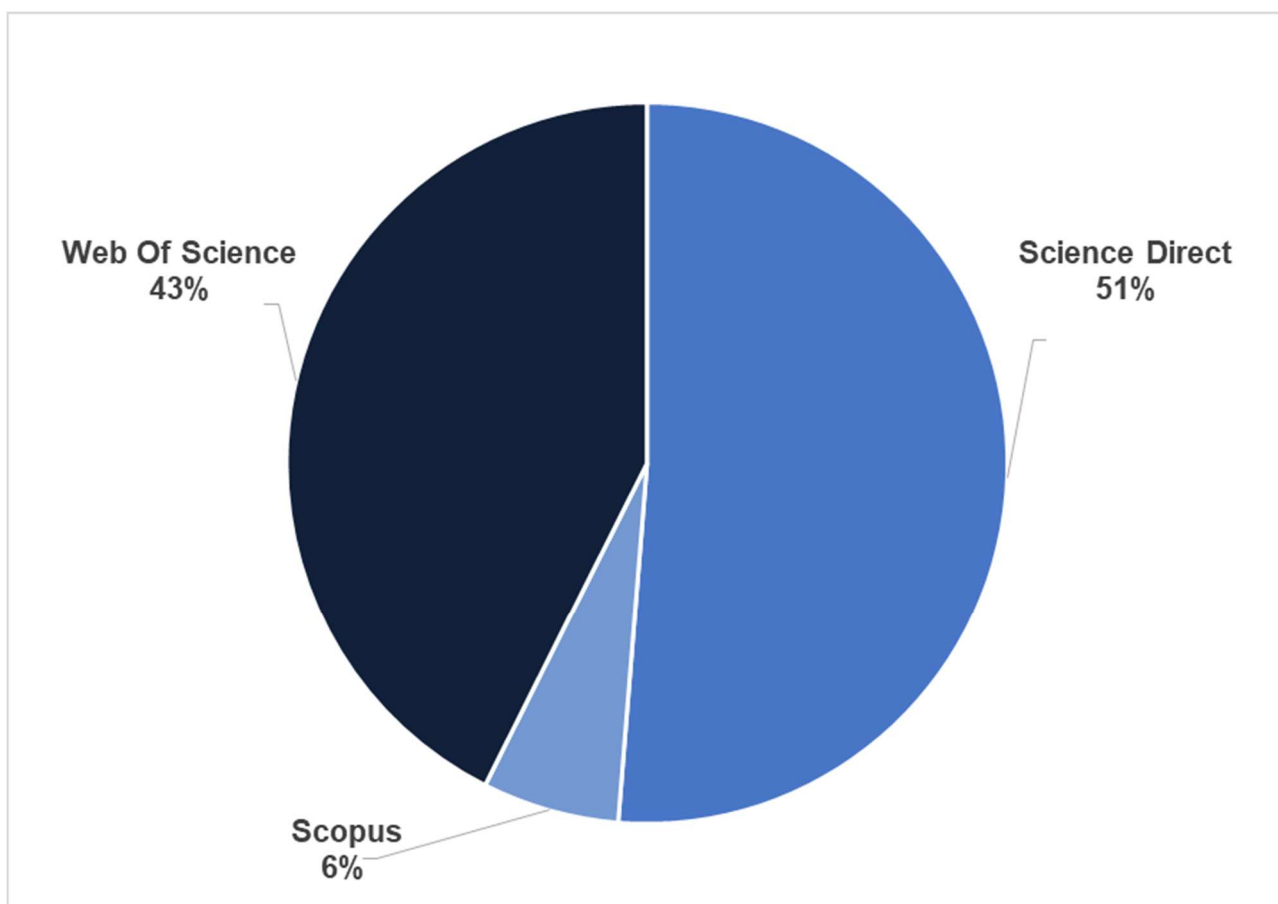
Figura 11 - Protocolo da ferramenta StArt

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

- **Fase 2: processamento**

A partir das buscas primárias, foram retornados 1.337 estudos. Conforme exposto na Figura 12, dos 1337 artigos encontrados: 51% (702) foram extraídos da *Science Direct*, 43% (551) da *Web Of Science* e 6% (84) no *Scopus*.

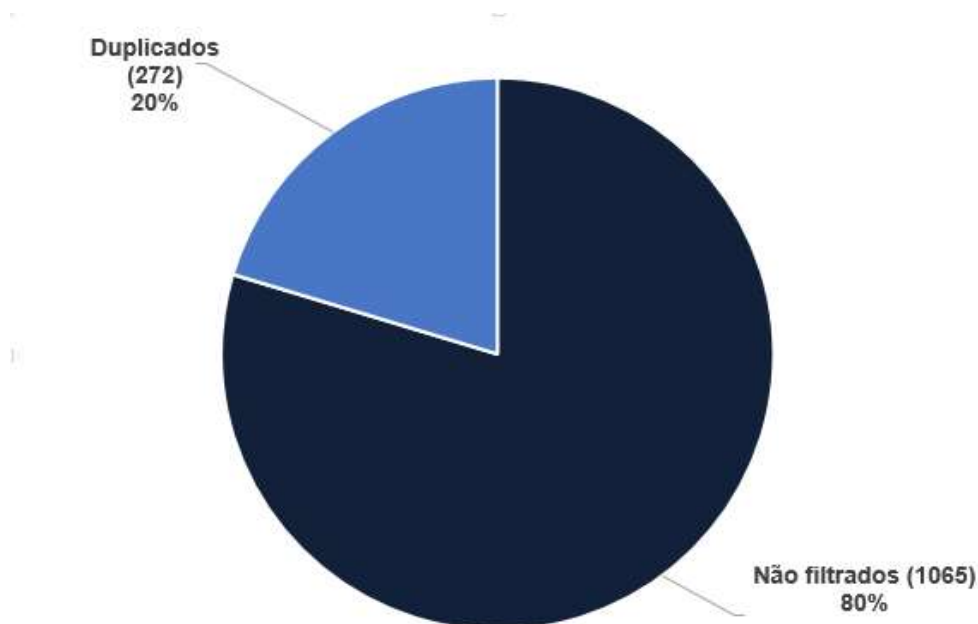
Figura 12- Resultado da busca de artigos



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Os resultados das pesquisas nas bases de dados, foram exportados em formato .BibTeX e anexados no StArt para a exclusão de artigos duplicados e posterior classificação. Foram encontrados 272 arquivos em duplicidade, representando 20% dos resultados da busca primária, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13– Resultado busca primária



Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Feito isso, foi realizada a execução dos filtros de leitura 1 e 2 propostos e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, nos 1065 artigos, resultando na exclusão de 943 (78%) deles. Conforme exposto nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Interface do software StArt

**Accepted papers**

ID SS
  ID Paper
  Title
  Author
  Status/Selection
  Status/Extraction
  Priority Reading
  Score

ID Paper	Title	Author	Year	Status/Selection
15	Development of a Leakage Control System at the Water Supply Network of the City of Patras	Irene Karathanasi and Constantinos Papag...	2016	Accepted
57	Divide and Conquer Partitioning Techniques for Smart Water Networks	A. [Di Nardo] and M. [Di Natale] and G.F. S...	2014	Accepted
70	Dynamic Control			Accepted
97	Water Supply N			Accepted
243	Multi-objective p			Accepted
704	Uniformity and H			Accepted
705	Water Distributi			Accepted
707	Battle of the wa			Accepted
708	A practical multi			Accepted
709	Graph theory ba			Accepted
713	Social network c			Accepted
717	Iterative multist			Accepted
722	Battle of water r			Accepted
724	Methodology for			Accepted
725	Optimal design c			Accepted
735	A Graph Theore			Accepted
736	Optimal Design c			Accepted
738	A novel water si			Accepted
739	Decision support			Accepted

**Study Data** Selection Data Data Extraction Form Similar Studies

URL:

Volume:  Pages:  ISSN / ISBN:

DOI:  Importation date:

**Study selection criteria**

- (E) Escrito em um idioma que não seja o Inglês;
- (E) Estudos duplicados ou repetidos;
- (E) Estudos que não apresentem técnicas de setorização em rede
- (E) Estudos incompletos, rascunhos, slides ou resumos.
- (I) Estudos com a aplicação da técnica proposta.

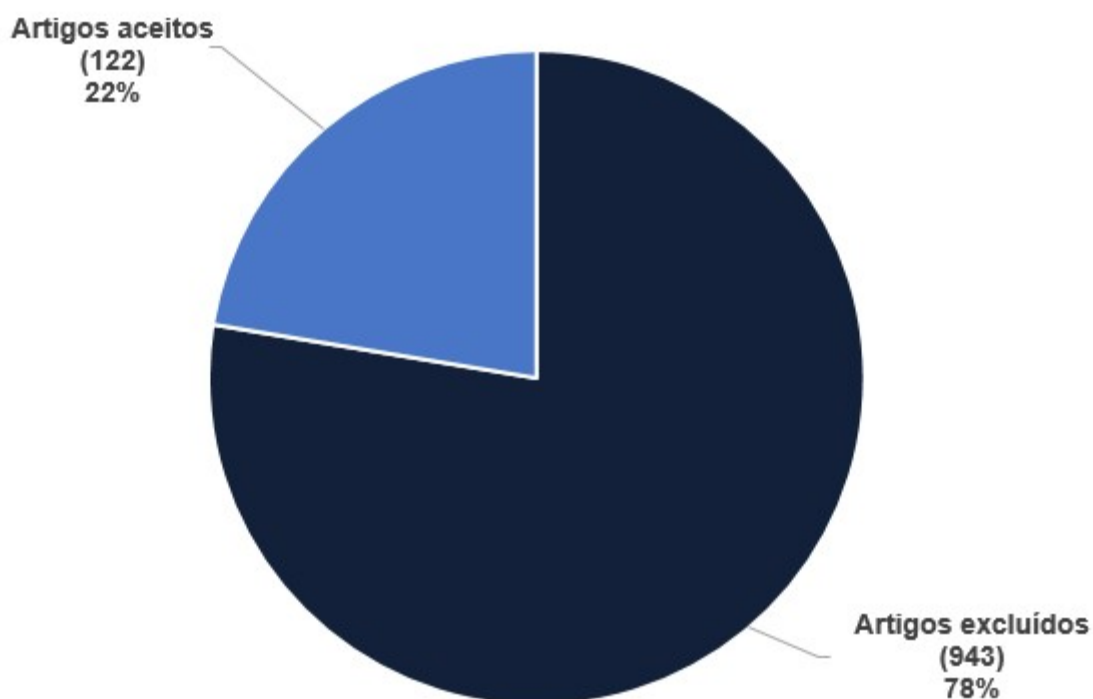
<br>
<br>
<br>

**Selected criteria**

- (I) Estudos que abordam a setorização em redes de distribuição
- (I) Estudos que apresentam técnicas para a setorização;

Fonte: elaborado pelo autor (2020)

Figura 15 - Resultado dos filtros de leitura e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

A próxima etapa foi a aplicação do filtro de leitura 3 e avaliação da qualidade, nos 122 artigos, onde 37 estudos foram encaminhados para a fase 3 da pesquisa.

- **Fase 3: saída**

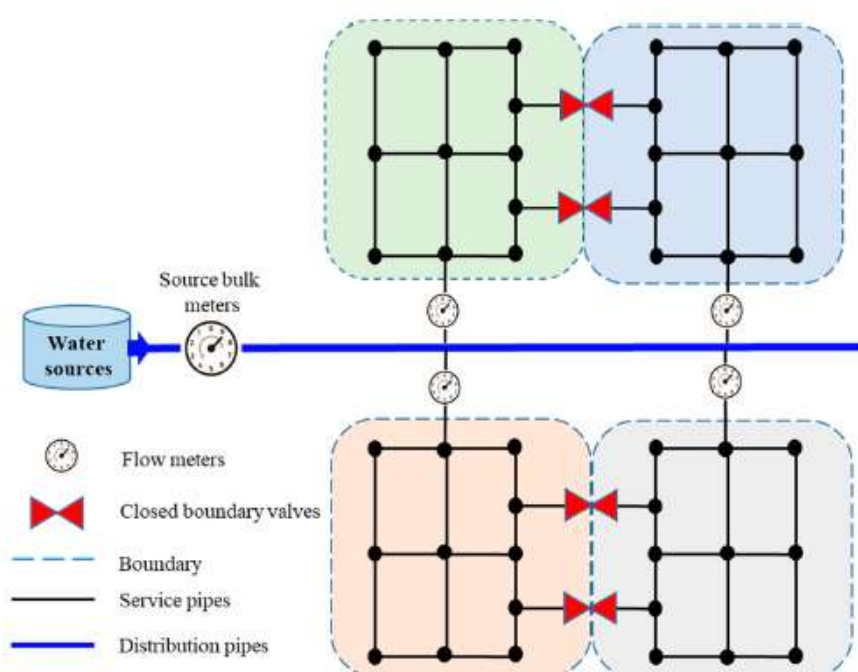
Nesta etapa foram realizadas a aplicação de alerta com a *string* de busca, nas três bases de dados adotadas nesta pesquisa e o arquivamento dos 37 artigos selecionados no *software* Mendeley.

O próximo passo foi a execução da síntese e resultados a partir dos artigos selecionados.

## 5.2. Premissas do processo de setorização de redes

O conceito de setorização de redes de distribuição foi introduzido pela indústria da água do Reino Unido logo no início dos anos 80. Naquele período os DMC's (setores), eram apenas áreas do sistema de distribuição de água delimitados especificamente pelo fechamento de válvulas e medidores de vazão. Conforme exposto na Figura 16 (FARLEY, 2001) (DI NARDO; DI NATALE; DI MAURO, 2013).

Figura 16 - Representação de uma rede setorizada



Fonte: Di Nardo; Di Natale; Di Mauro (2020).

O principal objetivo da setorização, é o gerenciamento e detecção precoce de vazamentos presentes em uma rede. Para isso, utiliza-se a medição da vazão mínima noturna, aferindo assim, os níveis de perdas dentro de cada setor, além viabilizar a definição da melhor localização para a instalação dos medidores (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (GRAYMAN; MURRAY; SAVIC, 2009).

Um dos principais fatores que contribui para vazamentos, é a pressão da rede. A redução de perdas, vem sofrendo alteração em relação a sua forma de abordagem, de passivas (detecção e reparo) para proativas (procedimentos heurísticos) (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (GIUGNI et al., 2008).



Segundo o trabalho de Lambert (2012), o volume perdido em função de vazamentos, é influenciado diretamente pelo aumento ou redução da pressão de operação da rede. O conceito de setorização, foi introduzido para auxiliar no gerenciamento proativo, nas perdas invisíveis e na detecção de locais onde ocorrem as falhas, baseadas nas características hidráulicas da rede.

A comunidade científica, concorda que as vantagens geradas pelo particionamento da rede são superiores às suas desvantagens. O gerenciamento de uma rede, com a aplicação da setorização, tem apresentado resultados altamente satisfatórios, principalmente na redução de perdas por vazamentos. A partir da aplicação dessa técnica, a companhia de abastecimento do Reino Unido conseguiu reduzir cerca de 85% o número de perdas por vazamentos (FARLEY, 2001) (KUNKEL, 2003) (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007) (GIUGNI et al., 2008) (DI NARDO et al., 2013) (DI NARDO et al., 2014) (DIAO; ZHOU; RAUCH, 2013) (SAVIC; FERRARI, 2014) (DI NARDO et al., 2016) (RAJESWARAN; NARASIMHAN; NARASIMHAN, 2018).

Gomes et al. (2011), demonstraram que o seccionamento da rede, possibilita a manutenção da estabilidade na pressão da rede, aumentando assim, a vida útil do sistema. A redução de pressão, reduz a possibilidade de ocorrência de possíveis rompimentos na tubulação e conseqüentemente diminuição das perdas reais de água.

Os autores ainda propõem, um método relacionando a vazão mínima noturna com a pressão para prever as perdas de água, além de estimar a redução do consumo de energia, por meio da água faturada.

Huang et al. (2018) afirmam que a partir da setorização de rede, é possível a rápida detecção de tubos rompidos, através do estudo da uniformidade da demanda diária. Eles aplicaram um algoritmo de aprendizado supervisionado, para melhorar o efeito positivo da detecção de perda em tempo real.

Os trabalhos de Savic e Ferrari (2014 e 2015) e Lifshitz e Ostfeld (2018), ilustram a eficácia da implantação de DMC's em redes de distribuição de água, com relação à redução da frequência de rupturas da tubulação.

No trabalho de Lambert (2012), ficou claro que a redução da frequência de ruptura da tubulação, depende diretamente da redução na pressão de operação obtida após o seccionamento. O estudo ainda revelou que, controlar a pressão reduz não só frequência de ruptura da tubulação, mas também atenuação das taxas de vazamento

presentes no sistema, estendendo assim, a vida útil dos componentes e reduzindo os custos da água.

Ainda neste sentido, no estudo de Ferrari e Savic (2015), a partir da adoção de um *layout* de rede setorizada, foi possível atingir uma redução de 53% a 60% da frequência de ruptura na tubulação e de 26% a 59% no número de vazamentos, além de proporcionar proteção do sistema, contra-ataques químicos ou eventos acidentais, com o fechamento de válvulas limites.

Este isolamento de setores, ainda é útil na manutenção, substituição e reparos de componentes, uma vez que com o fechamento de válvulas, há a desconexão do setor com o resto da rede (DI NARDO et al., 2014).

De acordo com Lifshitz e Ostfeld (2018), a combinação entre DMC's e VRP's cria uma abordagem denominada "conhecimento e ação" para a detecção e gerenciamento de vazamentos. As VRP's reduzem o excesso de pressão, conseqüentemente, há uma redução no potencial de vazamentos. Entretanto, sem informações sobre a possível localização do vazamento. Já os DMC's, permitem a rápida identificação dos possíveis locais. Desta forma, esta compilação cria uma ferramenta extremamente eficaz para o gerenciamento das perdas reais.

As principais desvantagens da setorização, estão relacionadas com a deterioração da qualidade de água. Quando comparado com a rede original, a setorização resulta em uma redução da resiliência da rede, frente principalmente a acontecimentos inesperados.

Marchi et al. (2014) aponta com outra desvantagem resultante do processo de setorização é idade da água, sendo ela, o tempo necessário para se deslocamento da fonte até o consumidor final. Influenciada diretamente pela vazão de operação e comprimento da tubulação, a idade excessiva ocasiona problemas relacionados a qualidade do produto disponibilizado.

Nos trabalhos de UKWIP (2000), WRC (2000), Armand et al. (2018), utilizaram de variáveis hidráulicas para a avaliação da qualidade da água e a probabilidade de incidentes. Afirmam que a técnica de setorização, pode comprometer a qualidade da água, com o aumento da idade média da água (principalmente em tubulações do tipo ponta seca) e sedimentação na tubulação, devido à baixa velocidade de vazão.

Estes estudos, vão contra os resultados obtidos nos trabalhos de Grayman et al. (2009), Diao et al.(2013) e Di Nardo et al. (2015), onde foram constatados que não houve alterações significativas na qualidade da água após o seccionamento da rede.

Essa diferença, muito provavelmente está relacionada com os limites de qualidade adotados nas pesquisas, sendo importante salientar, que a qualidade da água não é abordada como critério crítico para elaboração de plantas de redes setorizadas. Desta forma, a idade da água não é considerada uma restrição de projeto (DI NARDO, 2015) (SALDARRIGA, 2019).

Salomons et al. (2017) e Javier et al. (2018), a partir da análise do balanço hídrico de uma rede setorizada, afirmaram que o volume de água armazenado na rede é quase a metade do consumo diário. Ou seja, a água no sistema era substituída duas vezes ao dia, sendo assim um bom indicador da qualidade da água. Executaram ainda, um modelo de simulação hidráulica para comparar o comportamento da rede antes e depois da setorização, onde não foram observadas variações significativas na idade da água.

Outra desvantagem detectada em alguns estudos, foi a redução da redundância da rede. Devido à diminuição da disponibilidade de caminhos disponíveis (conexão entre fonte e pontos de consumo). Resultado da inserção de muitas válvulas e medidores de vazão, para o isolamento dos distritos (DIAO; ZHOU; RAUCH, 2013) (CAMPBELL et al., 2014) (DI NARDO et al., 2015).

O Quadro 8, apresenta o resumo das principais vantagens e desvantagens da aplicação da setorização.

Quadro 8 - Principais vantagens e desvantagens dos DMC's

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Detecção de rupturas e identificação de vazamentos	Redução da resiliência da rede contra falhas
Favorecimento do gerenciamento e controle	Redução da flexibilização operacional
Favorecimento para o controle da pressão de operação	Potencial negativo para a qualidade da água
Proteção contra contaminação	Problemas de segurança em áreas periféricas em caso de emergências
Redução nos custos de manutenção e reparo	Alto custo de investimento inicial (implantação)
Caracterização da curva de demanda	Redução na redundância hidráulica

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

De acordo com Farley (2001), vários fatores devem ser considerados na etapa de concepção de projetos de setorização, tais como:

- a) O percentual máximo de vazamentos permitidos pela concessionária de abastecimento;
- b) A topografia da rede e o número de pontos de consumo, para cada distrito;
- c) Características e a taxonomia topológica do sistema de abastecimento;
- d) As variações de demanda e pressão na rede;
- e) Número de medidores de vazão e válvulas (reduzidoras de pressão e tipo gaveta);
- f) Considerações sobre a qualidade da água.

Os níveis de eficiência econômica de vazamentos para os distritos, são estabelecidos a partir de critérios determinados pela própria companhia de abastecimento, considerando principalmente: a situação da rede e volumes de perdas existentes.

A partir disso, é possível a concessionária selecionar a política para o controle de vazamentos futuros mais aquedada. O tamanho e números de setores, bem como a equipe necessária para o comprimento da política adotada. (FARLEY, 2001)

O seccionamento da rede em pequenos DMC's, é o método mais eficiente para a identificação de vazamentos e falhas em dispositivos. Além de ser a configuração capaz de manter, os volumes de perdas nos níveis mais baixos possíveis.

Entretanto, é o arranjo onde é necessário um alto investimento inicial e maior custo operacional, resultado da quantidade de medidores de vazão e válvulas necessárias. (FARLEY, 2001)

Para a Associação Internacional da Água — IWA, o tamanho dos setores é expresso pelo número de pontos de consumo, devendo variar entre 500 – 5000 ligações para as áreas urbanas. Para os DMC's isolados, fatores locais e características do sistema, influenciam diretamente na determinação do tamanho dos setores (HUANG, et al., 2018).

Embora setores com menor número de ligação exija maior investimento inicial e custo de manutenção, em setores com grande número de ligações, a identificação de pequenas rupturas e a localização de vazamentos é uma extremamente tarefa difícil (FARLEY, 2001) (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007).

Do ponto de vista da conectividade topológica, um conjunto de princípios para redes complexas foi proposto por Giudicianni et al. (2018). Objetivando analisar a relação entre os valores das métricas e estruturas topológicas da rede, a otimização do número de DMC's foi realizada com o auxílio da heurística (engenharia reversa).

O estudo revelou que o número de setores e o tamanho da rede, segue basicamente uma lei de potência. Desta forma, o número ideal de setores não aumenta significativamente com o tamanho da rede, sugerindo assim, que do ponto de vista da conectividade, o aumento da dimensão da rede terá mais efeito sobre o tamanho dos setores do que na quantidade (GIUDICIANNI et al., 2018).

Outro fator que deve ser considerado na etapa de processo de setorização, é a quantidade de fontes para abastecimento dos setores. Devido à necessidade de instalação de medidores de vazão para cada fonte, o que depende diretamente da característica rede (ramificada ou malhada). Visto que um único setor pode ser alimentado por uma única ou várias fontes.

Conforme sugerido por Di Nardo et al. (2013), uma regra técnica para minimização do número de medidores é a instalação de um único medidor de vazão por setor, além da redução dos custos resultará na simplificação do balanço hídrico.

O isolamento de setores é realizado a partir da instalação de válvulas do tipo gaveta nos tubos limites, mas a introdução dessa categoria de dispositivo, acaba criando bicos “pontas secas”. Além de redução nos caminhos disponíveis para os pontos de consumo, essa “pontas” pode resultar em uma deterioração da qualidade da água (FARLEY, 2001).

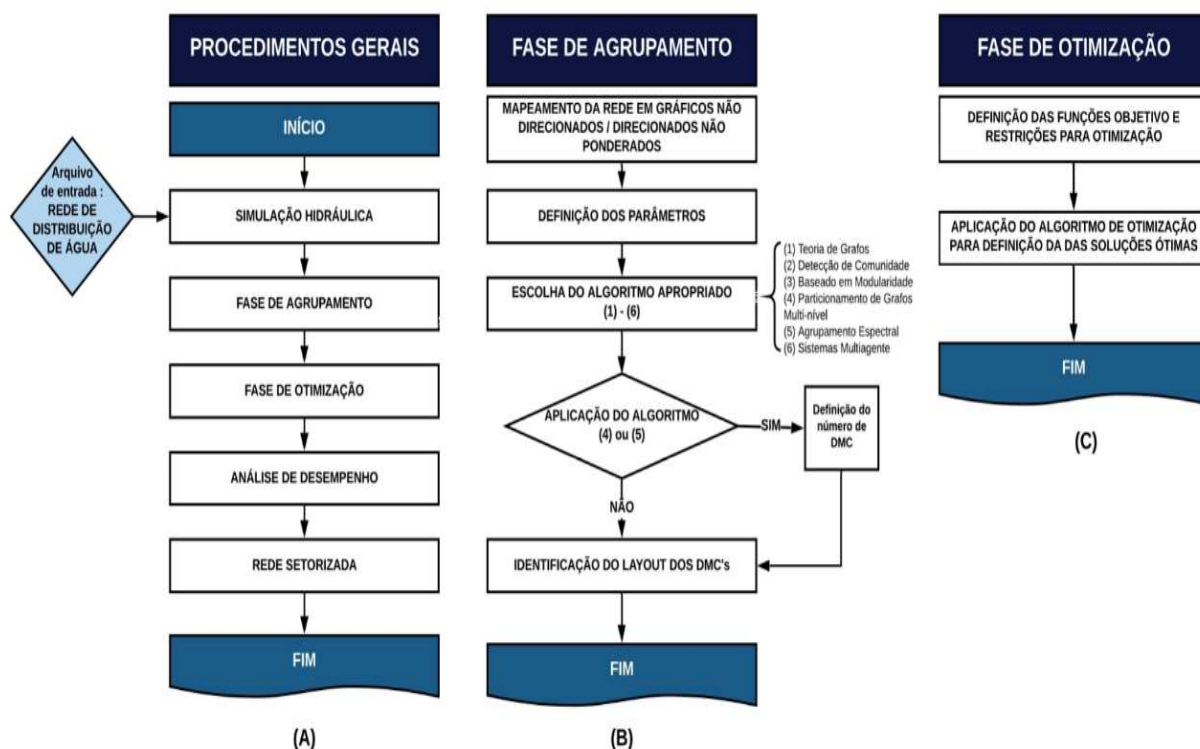
Desta forma, a otimização do número e a localização dos acessórios, durante o seccionamento da rede original é extremamente necessária para a minimização dos custos e maximização dos benefícios operacionais (SAVIC; FERRARI, 2014).

A definição da configuração ideal de setores é uma tarefa exigente, frente aos muitos aspectos de desempenho da rede que devem ser consideradas. Deste modo, normalmente a setorização é abordada como um problema de otimização multiobjetivo (SELA PERELMAN et al., 2015) (GIUDICIANNI et al., 2020).

Principalmente devido à dificuldade envolvida, apenas recentemente esse conceito foi abordado e explorado na literatura científica. Vários modelos e abordagens foram propostas visando a criação disposição *layout* de setores ideais.

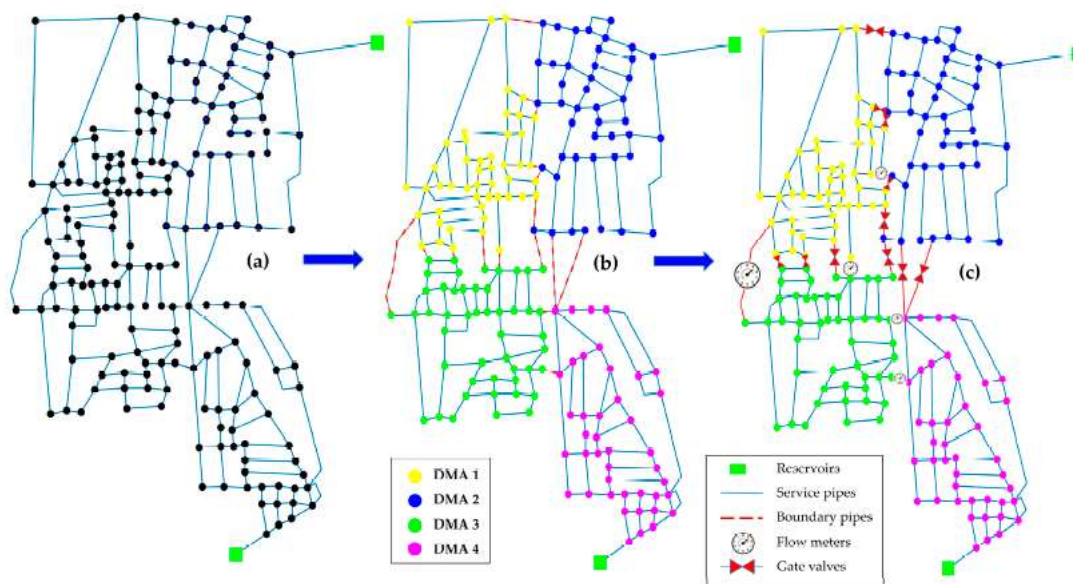
Embora os estudos utilizassem algoritmos de diferentes categorias, o processo de seccionamento geralmente era obtido em duas fases: agrupamento dos nós e otimização, conforme exposto na Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 - Etapas de particionamento da rede de água: (a) Procedimentos gerais, (b) etapas para agrupamento, e (c) etapas para otimização



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Figura 18 - Procedimentos do seccionamento de redes de distribuição de água. (a) rede original, (b) fase de agrupamento e (c) fase de otimização



Fonte: Di Nardo *et al.* (2018)

### 5.3. Fase de agrupamento

A etapa de agrupamento é o processo inicial, onde é projetada a forma e as dimensões dos setores a partir da topologia da rede. O objetivo desta fase é a determinação do número ideal de DMC's, visando a uniformidade na quantidade de pontos de consumo por setor e minimização da quantidade de tubos limites (cortes na tubulação, para a instalação de válvulas do tipo gaveta e medidores de vazão).

Os seis algoritmos que apresentaram maior relevância e abordados nesta pesquisa foram: os baseados na teoria de grafos (busca em profundidade — DFS e busca em largura — BFS), detecção de comunidade, modularidade, particionamento multinível, agrupamento espectral e sistema multiagentes.

#### 5.3.1. Teoria de Grafos

A maioria dos algoritmos de agrupamentos presentes na literatura científica, voltados para o seccionamento de redes, estão relacionados diretamente à teoria dos grafos. Caso o leitor não seja familiarizado com este ramo da matemática, aconselha-se a leitura dos trabalhos de Schaeffer (2007) e Song e Zhao (2008).

Na aplicação desta classe de algoritmo, a estrutura topológica de uma rede é traçada em um grafo de forma ordenada ou não, caracterizada por um par de conjunto  $G = (V, E)$ . Onde "V" é o conjunto de vértices, representando as junções, reservatórios e tanques. "E" o conjunto de arestas, representando as tubulações, válvulas e bombas do sistema.

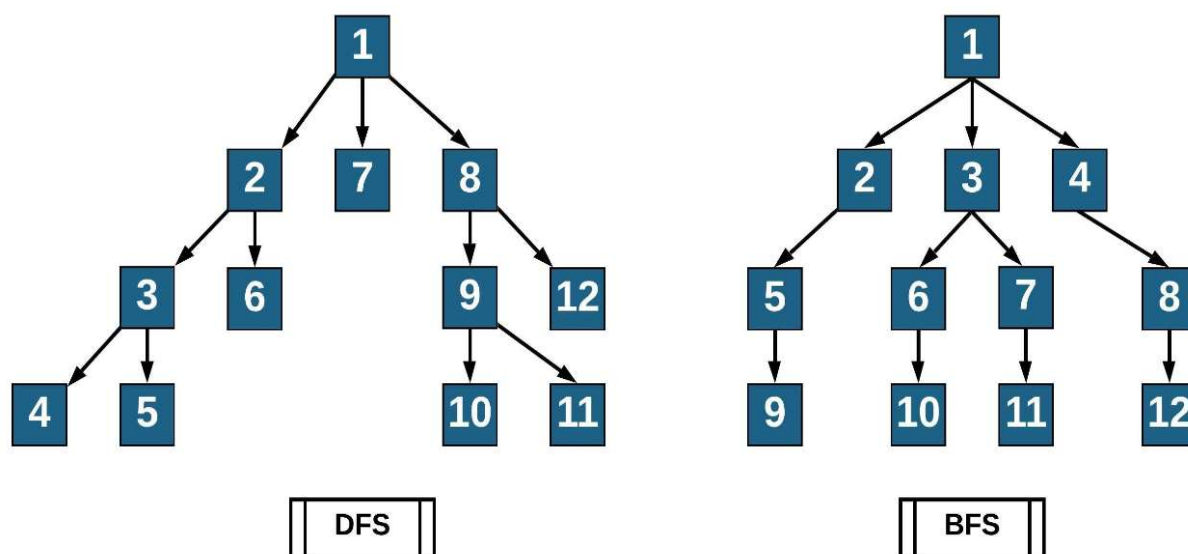
O algoritmo BFS (busca em largura) proposto por Pohl (1969), realiza o rastreamento a partir de um nó "raiz" fixado, mas diferentemente do algoritmo DFS, a exploração de nós adjacentes é realizada movendo-se horizontalmente.

Já o algoritmo DFS (busca em profundidade), é um algoritmo baseado na teoria dos grafos e comumente empregados nesta fase. Esta classe de algoritmo foi proposto por Tarjan (1972), e possui a capacidade de aferir a conectividade dos elementos presente em um grafo.

Tudo se inicia pela escolha de um nó "raiz" na rede, onde intuitivamente, o algoritmo realiza uma exploração a longo de cada caminho até que não haja mais nós adjacentes, antes de retroceder (*backtracking*).

A Figura 19, exemplifica o modo de exploração dos dois algoritmos.

Figura 19- Diagrama de busca em profundidade (DFS) e busca em largura (BFS)



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Tzatchkov et al. (2008), aplicaram o DFS e BFS em projetos de setorização de duas cidades mexicanas (San Luis Río Colorado e Matamoros), onde DFS, foi utilizado no seccionamento da rede em setores independentes (abastecidos por fontes únicas) e para a identificação dos nós pertencentes aos DMC's. Já o BFS, foi aplicado para a exploração dos nós desconectados de todas as fontes disponíveis, objetivando o melhor "encaixe" nos setores.

Nos trabalhos de Perelman e Ostfeld (2011) e Liftshitz e Ostfeld (2018), foi adotado o algoritmo DFS para a identificação dos nós fortemente conectados, ou seja, que apresentavam caminhos em ambas as direções. Enquanto o algoritmo BFS, foi utilizado para a classificação dos nós fracamente conectados, onde apresentavam apenas um caminho entre o conjunto de nós. Os resultados encontrados, foram aplicados para duas finalidades: previsão de contaminantes de uma fonte e disseminação em uma rede.

Di Nardo et al. (2014), apresentaram outra proposta para a otimização da setorização baseada na teoria dos grafos. Na metodologia, um algoritmo DFS, era utilizado em combinação com uma abordagem hierárquica desenvolvida por Di Battista et al. (1998), para a identificação de setores independentes (DMC's isolados), sendo desconectados do restante da rede, através de válvulas do tipo gaveta.



Nos trabalhos de Campbell e et al. (2016-a, 2016-b), foi apresentada uma metodologia para o seccionamento da rede em dois componentes: uma rede truco e uma de distribuição. Para a determinação da rede tronco, era utilizado um algoritmo BFS. Logo, definindo a rede tronco, ela era desconectada e aplicavam um algoritmo de detecção da comunidade na rede de distribuição, para a definição das melhores comunidades estruturais (setores). A grande notoriedade presente nesses estudos, foi o fato dos tubos principais (troncos), não serem considerados passíveis de seccionamento. Funcionavam como entrada para todos os setores, garantindo assim uma grande confiabilidade para a rede.

Em um estudo semelhante, Alvisi e Franchini (2014) utilizaram um algoritmo de BFS para o agrupamento de possíveis nós, na formação de uma quantidade predefinida de setores.

Já Scarpa, Lobba e Becciu (2016), obtiveram êxito no seccionamento de rede, com a utilização de algoritmo do tipo BFS em setores alimentados por uma única fonte.

Gomes, Marques e Sousa (2012) apresentaram uma maneira sistemática de seccionamento de redes, utilizando o algoritmo *Floyd-Warshall* e definindo critérios (comprimento do tubo, número de ligações por setor). No estudo, efetuaram também um comparativo com algoritmo BFS. Onde classe de algoritmo, apresentou resultados superiores, pois, além de identificar o caminho mais curto entre a fontes e os nós, apontava qual era o melhor traçado. O algoritmo ajustado e replicado até que o número de DMC's e todas as restrições impostas pelo usuário fossem atendidas.

No Quadro 9, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados na teoria dos grafos aqui citados.

Quadro 9 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Teoria de Grafos

<b>ALGORITMO: TEORIA DE GRAFOS (DFS) E (BFS)</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Theory Based Algorithms for Water Distribution Network Sectorization Projects	Tzatchkov, V.G.; Alcocer-Yamanaka, V.H.; Bourguett Ortíz, V.	Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006	2008	N/A

<b>(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: TEORIA DE GRAFOS (DFS) E (BFS)</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Topological Clustering for Water Distribution Systems Analysis.	Perelman, L.; Ostfeld, A.	Environmental Modelling & Software	2011	4.552
Decision Support System to Divide a Large Network into Suitable District Metered Areas.	Gomes, R.; Marques, A.S.; Sousa, J.	Water Science and Technology	2012	1.247
Water Network Sectorization Based on Graph Theory and Energy Performance Indices	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Santonastaso, G.F.; Tzatchkov, V.G.; Alcocer-Yamanaka, V.H	Journal of Water Resources Planning and Management	2014	3.404
A Heuristic Procedure for the Automatic Creation of District Metered Areas in Water Distribution Systems.	Alvisi, S.; Franchini, M.	Urban Journal	2014	1.868
Elementary DMA Design of Looped Water Distribution Networks with Multiple Sources	Scarpa, F.; Lobba, A.; Becciu, G.	Journal of Water Resources Planning and Management	2016	3.404
A Flexible Methodology to Sectorize Water Supply Networks Based on Social Network Theory Concepts and Multi-Objective Optimization.	Campbell, E.; Izquierdo, J.; Montalvo, I.; Ilaya-Ayza, A.; Pérez-García, R.; Tavera, M.	Journal of Hydroinformatics	2016	1.680

<b>(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: TEORIA DE GRAFOS (DFS) E (BFS)</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Clustering for Analysis of Water Distribution Systems	Lifshitz, R.; Ostfeld, A.	Journal of Water Resources Planning and Management	2018	3.404

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

### 5.3.2. *Detecção de Comunidade*

Os algoritmos de detecção de comunidade é uma abordagem hierárquica de ordem ascendente, derivada da teoria dos grafos, sendo considerado uma classe de algoritmo recente. Entende-se por comunidade, um grupo de vértices que possuem propriedades comuns dentro de uma rede. Caso o leitor não seja familiarizado com este ramo da matemática, aconselha-se a leitura dos trabalhos de Newman e Girvan (2004) e Clauset, Newman e Moore (2004).

Diao, Zhou e Rauch (2013) foram os primeiros a utilizarem o algoritmo de detecção de comunidade na fase de agrupamento, para a criação automática de limites entre os DMC's. No trabalho dos autores, uma rede foi transformada em um gráfico não direcionado e o algoritmo de detecção foi aplicado.

Já no trabalho de Campbell et al. (2014), ao invés da identificação de comunidades (nós que apresentam similaridade), propuseram um procedimento, onde as linhas de alimentação (tubulação principal), não eram incluídas nos esquemas de setorização, sendo os setores reconhecidos por meio da "intermediação" das bordas, pela análise de vazão e o diâmetro da tubulação.

Nas pesquisas de Brentan et al. (2017, 2018), os autores propuseram uma metodologia onde era aplicado o algoritmo de detecção de comunidade, na fase de agrupamento de nós, adotando fatores técnicos como: demanda e comprimento da tubulação, para a criação de diferentes cenários do sistema setorizado.

No Quadro 10, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados na detecção de comunidade aqui citados.

Quadro 10 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Detecção de Comunidade

<b>ALGORITMO: DETECÇÃO DE COMUNIDADE</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Automated Creation of District Metered Area Boundaries in Water Distribution Systems	Diao, K.; Zhou, Y.; Rauch, W.	Journal of Water Resources Planning and Management	2013	3.404
Water Supply Network Sectorization Based on Social Networks Community Detection Algorithms.	Campbell, E.; Ayala-Cabrera, D.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R.; Tavera, M.	Procedia Engineering	2014	0.970
Social Network Community Detection for DMA Creation: Criteria Analysis through Multilevel Optimization.	Brentan, B.M.; Campbell, E.; Meirelles, G.L.; Luvizotto, E.; Izquierdo, J.	Mathematical Problems in Engineering	2017	1.650
Automatic Partitioning of Water Distribution Networks Using Multiscale Community Detection and Multiobjective Optimization.	Zhang, Q.; Wu, Z.Y.; Zhao, M.; Qi, J.; Huang, Y.; Zhao, H.	Journal of Water Resources Planning and Management	2017	3.404
Social Network Community Detection and Hybrid Optimization for Dividing Water Supply into District Metered Areas.	Brentan, B.; Campbell, E.; Goulart, T.; Manzi, D.; Meirelles, G.; Herrera, M.; Izquierdo, J.; Luvizotto, E.	Journal of Water Resources Planning and Management	2018	3.404

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

### 5.3.3. Modularidade

Muito utilizada no desenvolvimento de softwares e resolução de problemas complexos. Entende-se como modularidade, a capacidade de dividir um grande sistema em partes independentes (módulos). Caso o leitor não seja familiarizado com este ramo da matemática, aconselha-se a leitura dos trabalhos de Parnas (1972) e Mernik e Umer (2005).

Giustolisi e Ridolfi (2014) desenvolveram uma metodologia para o particionamento de redes, fundamentada em modularidade, onde eram combinadas as propriedades hidráulicas da rede, com a minimização no número de cortes necessários para o seccionamento. Entretanto, o estudo apresentou resultados inconsistentes, principalmente quando aplicada em redes de pequeno porte.

Ainda em 2014, os mesmos autores, apresentaram outro estudo, onde mitigaram as inconsistências obtidas no estudo anterior, a partir de correções na programação do algoritmo desenvolvido e adotado.

Ciaponi, Murari e Todeschini (2016), apresentaram metodologia onde era adotado um algoritmo baseado em modularidade, mas com uma abordagem diferente. Combinavam práticas e critérios convenientes, como: aumento no número de ligações e redução da pressão de operação.

Na proposta apresentada por Simone, Giustolisi e Laucelli (2016), a setorização da rede era realizada, a partir de uma distribuição espacial da rede seguida por uma avaliação do número ideal de acessórios necessários, objetivando sempre uma uniformidade entre os módulos (setores).

Laucelli et al. (2017) avançaram neste sentido, ao desenvolver uma metodologia para o agrupamento de nós, onde as funções objetivo do algoritmo desenvolvido eram: maximização de modularidade (uniformidade), minimização do número de cortes e minimização da quantidade de acessórios necessários.

No trabalho de Zhang et al. (2017), foi desenvolvida uma proposta com procedimentos híbridos: combinando algoritmos de modularidade e detecção de comunidade para o agrupamento dos nós, melhorando assim, os resultados obtidos pela modularidade clássica. Além de adotar, a teoria do passeio aleatório para a identificação com melhor precisão dos nós com maior similaridade. Capaz de realizar o agrupamento de forma automática.

No Quadro 11, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados na modularidade aqui citados.

Quadro 11 Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados na Modularidade

<b>ALGORITMO: MODULARIDADE</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
A Novel Infrastructure Modularity Index for the Segmentation of Water Distribution Networks.	Giustolisi, O.; Ridolfi, L.	Journal of Water Resources Planning and Management	2014	3.404
New Modularity-Based Approach to Segmentation of Water Distribution Networks.	Giustolisi, O.; Ridolfi, L.	Journal of Hydraulic Engineering	2014	2.206
A Proposal of Optimal Sampling Design Using a Modularity Strategy: Optimal Sampling Design.	Simone, A.; Giustolisi, O.; Laucelli, D.B	Journal of Water Resources Planning and Management	2016	3.404
Modularity-Based Procedure for Partitioning Water Distribution Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages.	Ciaponi, C.; Murari, E.; Todeschini, S.	Journal of Water Resources Planning and Management	2016	3.404

(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: MODULARIDADE				
TÍTULO	AUTORES	PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS	ANO	FATOR DE IMPACTO
Automatic Partitioning of Water Distribution Networks Using Multiscale Community Detection and Multiobjective Optimization.	Zhang, Q.; Wu, Z.Y.; Zhao, M.; Qi, J.; Huang, Y.; Zhao, H.	Journal of Water Resources Planning and Management	2017	3.404

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

#### 5.3.4. *Particionamento Multinível*

O particionamento multinível, também é uma abordagem baseada em uma analogia a teoria dos grafos, onde para o particionamento de um gráfico, adota-se a computação paralela. Apresentando sempre os seguintes objetivos: alocação das cargas de trabalho entre processadores, minimização da comunicação entre eles e distribuição igualitária da carga computacional. Caso o leitor não seja familiarizado com este ramo da matemática, aconselha-se a leitura do trabalho de Karypis e Kumar (1998).

Sempewo, Pathirana e Vairavamoorthy (2009), desenvolveram metodologia para a análise da espacialidade de rede de distribuição de e criação de setores de forma automatizada. Baseada no equilíbrio do comprimento da tubulação e demanda nos setores, com a utilização de uma ferramenta computacional de particionamento multinível (Bisseção recursiva multinível — MLRB).

Nos trabalhos de Di Nardo et al. (2013, 2016, 2017 a, b) foi aplicado um software desenvolvido pelos próprios autores, adaptada do MLRB, o Smart Water Management Platform — SWAMP, onde além da determinação dos setores de forma automatizada, o particionamento era realizado de maneira “inteligente”.

Já Sela Perelman et al. (2015), apresentaram um estudo onde eram aplicados a três técnicas derivadas da teoria dos grafos, em uma rede real (Singapura), de modo a verificar o desempenho de cada um. Os autores concluíram que além das

vantagens (atribuição de pesos aos nós e tubos), essa metodologia apresenta maior eficiência computacional. Sendo capaz de alocar de forma uniforme, todos os processos envolvidos, resultando em uma redução na troca de volume de informações.

Alvisi (2015) propôs um procedimento para a setorização automática da rede utilizando uma combinação entre o particionamento multinível e simulação hidráulica. Diferente da abordagem tradicional, foi possível além da alocação simultânea dos nós, dentro de um número determinado de setores. A identificação do melhor local para os medidores de vazão e válvulas na rede.

No Quadro 12, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados na detecção de comunidade aqui citados.

Quadro 12 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados no Particionamento Multinível

<b>ALGORITMO: PARTICIONAMENTO MULTINÍVEL</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Spatial Analysis Tool for Development of Leakage Control Zones from the Analogy of Distributed Computing.	Sempewo, J.; Pathirana, A.; Vairavamoorthy, K.	Water Distribution Systems Analysis 2008	2009	N/A
An Automated Tool for SmartWater Network Partitioning.	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Santonastaso, G.F.; Venticinque, S.	Journal of Water Resources Planning and Management	2013	3.404
Automated Sub-Zoning of Water Distribution Systems.	Sela Perelman, L.; Allen, M.; Preis, A.; Iqbal, M.; Whittle, A.J.	Environmental Modelling & Software	2015	4.552



<b>(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: PARTICIONAMENTO MULTINÍVEL</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
A New Procedure for Optimal Design of District Metered Areas Based on the Multilevel Balancing and Refinement Algorithm.	Alvisi, S.	Journal of Water Resources Planning and Management	2015	3.404
Software for Partitioning and Protecting aWater Supply Network.	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Musmarra, D.; Santonastaso, G.F.; Tuccinardi, F.P.; Zaccone, G.	Civil Engineering and Environmental Systems.	2016	N/A
Water Distribution Network Clustering: Graph Partitioning or Spectral Algorithms?	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Giudicianni, C.; Greco, R.; Santonastaso, G.F.	Complex Networks & Their Applications VI	2017	N/A
Economic and Energy Criteria for District Meter Areas Design ofWater Distribution Networks.	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Giudicianni, C.; Santonastaso, G.; Tzatchkov, V.; Varela, J.	Water	2017	N/A
Comparing Topological Partitioning Methods for District Metered Areas in the Water Distribution Network.	Liu, H.; Zhao, M.; Zhang, C.; Fu, G.	Water	2018	N/A

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

### 5.3.5. Agrupamento Espectral

O agrupamento espectral é uma abordagem matemática, onde são combinados as características dos grafos, com a álgebra linear e teoria dos grafos, para a determinação das propriedades de autovalor e autovetor.

O agrupamento espectral, utiliza um espectro em autovetores de uma matriz adjacente (uma das formas de se representar um grafo), para a realização do agrupamento de nós.

Esse categoria de espectro, vem sendo adotado em diversas áreas na última década, especialmente na ciência da computação, bioinformática e análise de dados. Recentemente, esta técnica está sendo aplicada, no gerenciamento de redes de distribuição de água, principalmente, para a definição da configuração ideal dos DMC's e análise preliminar da vulnerabilidade e robustez da rede.

No trabalho de Di Nardo et al. (2017), a definição do *layout* ideal de DMC's para uma rede real, foi realizada considerando as características geométricas das redes (conectividade) e propriedades hidráulicas da tubulação (diâmetro, comprimento, condutância e vazão) através de matrizes do tipo peso-adjacência, resultado em uma gama de configurações possíveis.

No ano seguinte, no trabalho de Di nardo et al. (2018), foi aplicada a técnica de espectral de grafo — GST, onde foi realizada uma análise da topologia da rede, fornecendo, um conjunto de ferramentais para a avaliação de desempenho atual e possíveis expansão das redes.

Os autores, ainda destacaram que com a GST, é possível realizar tarefas cruciais para o gerenciamento de um sistema de abastecimento. Fornecendo uma estrutura, que permite identificar os melhores nós para implantação de válvulas e sensores. Até mesmo, determinar quais os nós apresentam maior relevância para a rede.

Liu e Han (2018) apresentaram uma estratégia para setorização de redes de forma automática, baseada no agrupamento espectral e teoria dos grafos. Um algoritmo espectral, foi utilizado para determina o agrupamento dos nós. Baseados em simulação da rede em estado estacionário considerando a demanda do horário de pico.

A mesma linha de estudo depois foi abordado por Zevnik, Kramar e Kozelj (2018, 2019) comparando dois métodos espectrais conhecidos (corte de proporção e corte normalizado)

No Quadro 13, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados no agrupamento espectral aqui citados.

Quadro 13 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados no Agrupamento Espectral

<b>ALGORITMO: AGRUPAMENTO ESPECTRAL</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Weighted Spectral Clustering for Water Distribution Network Partitioning.	Di Nardo, A.; Di Natale, M.; Giudicianni, C.; Greco, R.; Santonastaso, G.F.	Applied Network Science	2017	N/A
Spectral Clustering and Multicriteria Decision for Design of District Metered Areas.	Liu, J.; Han, R.	Journal of Water Resources Planning and Management	2018	3.404
Applications of Graph Spectral Techniques to Water Distribution Network Management.	Di Nardo, A.; Giudicianni, C.; Greco, R.; Herrera, M.; Santonastaso, G.	Water	2018	N/A
Partition of Water Distribution Networks into District Metered Areas Using a Graph Theoretical Approach.	Zevnik, J.; Kozelj, D.	Proceedings of the 13th International Conference on Hydroinformatics	2018	N/A

**(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: AGRUPAMENTO ESPECTRAL**

<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Generalized Normalized Cut and Spanning Trees for Water Distribution Network Partitioning.	Zevnik, J.; Kramar Fijavž, M.; Kozelj, D.	Journal of Water Resources Planning and Management	2019	3.404

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

### 5.3.6. *Sistemas Multiagentes*

A utilização de um Sistema Multiagentes — SMA é justificada quando para a resolução de um determinado objetivo, é necessário o empenho de dois ou mais agentes. Um SMA, pode ser definido como uma rede de resolvedores de problemas que operam simultaneamente, para solucionar problemas que estão além da capacidade individuais.

Caso o leitor não seja familiarizado com este ramo da matemática, aconselha-se a leitura dos trabalhos de Brdshaw (1997), Jennings (1998) e Silveira (2000).

Uma rede de distribuição de água, é considerada um sistema complexo e dinâmico, onde compreende vários elementos (dispositivos físicos) com diferentes objetivos, ações e informações. Uma pequena mudança no comportamento de um desses elementos, resulta em alteração de todo o sistema. Desta forma, uma rede de distribuição de água apresenta forte semelhança há um SMA.

O SMA tem sido aplicada com sucesso em problemas relacionados com a heterogeneidade no campo da água, provando ser altamente eficientes na otimização no controle de redes de água, diagnósticos de poluição, melhoria da qualidade da água e gerenciamento de demanda.

Izquierdo et al. (2009) foram os primeiros a desenvolver um ambiente de software para aplicação da setorização em redes de distribuição de água utilizando uma abordagem de multiagentes. Eles propuseram um método, onde os nós e tubos

eram considerados como agentes. Considerado como uma premissa e base para outros diversos estudos que replicaram essa técnica.

Herrera et al. (2010) apresentaram um estudo onde era proposto um layout de rede setorizada, onde os agentes (nós e tubos) eram agrupados por elicitación (exclusão), ligando os nós adjacentes a determinados pontos de origem e verificando a probabilidade de apresentar similaridade entre os setores propostos.

Anos mais tarde, Herrera et al. (2012) apresentam outro estudo com uma diferença na abordagem do problema, no estudo anterior, as disposições dos setores eram definidos a partir dos pontos determinados como origem. Já nesta pesquisa, a setorização passou ser feita de acordo com o agrupamento geográfico da rede, alterando os tubos limites, objetivando um melhor desempenho hidráulico.

Hajebi et al. (2013) apresentaram uma metodologia para setorização, a partir da combinação do agrupamento por *k-means* e SMA. O agrupamento de grafos *k-means* foi utilizado para dividir a topologia da rede e SMA na análise da configuração proposta, de acordo com as restrições hidráulicas adotadas.

No Quadro 14, é apresentado de forma resumida os principais trabalhos que utilizam algoritmos baseados em sistemas multiagentes aqui citados.

Quadro 14 - Trabalhos que utilizaram o Algoritmo baseados em Sistemas Multiagentes

<b>ALGORITMO: SISTEMAS MULTIAGENTES</b>				
<b>TÍTULO</b>	<b>AUTORES</b>	<b>PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS</b>	<b>ANO</b>	<b>FATOR DE IMPACTO</b>
Agent-based division of water distribution systems into district metered areas.	Izquierdo, J.; Herrera, M.; Montalvo, I.; Pérez-García, R.	Proceedings of the 4th International Conference on Software and Data Technologies	2009	N/A
Water Supply Clusters by Multi-Agent Based Approach.	Herrera, M.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R.; Ayala- Cabrera, D.	Water Distribution Systems Analysis 2010	2011	N/A

(CONTINUAÇÃO) ALGORITMO: SISTEMAS MULTIAGENTES				
TÍTULO	AUTORES	PERIÓDICO / REVISTA E ANAIS	ANO	FATOR DE IMPACTO
Multi-Agent Adaptive Boosting on Semi-Supervised Water Supply Clusters.	Herrera, M.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R.; Montalvo, I.	Advances in Engineering Software	2012	3.884
Multi-agent simulation to support water distribution network partitioning.	Hajebi, S.; Barrett, S.; Clarke, A.; Clarke, S.	Proceedings of the Modelling and Simulation 2013 - European Simulation and Modelling Conference	2013	N/A
Multi-Agent Adaptive Boosting on Semi-Supervised Water Supply Clusters.	Herrera, M.; Izquierdo, J.; Pérez-García, R.; Montalvo, I.	Advances in Engineering Software	2012	3.884

Fonte: elaborado pelo autor (2020).

#### 5.4. Fase de Otimização

Imediatamente após a formação dos setores a partir da fase de agrupamento, é necessária a otimização da rede. Etapa onde ocorre a validação do posicionamento e determinação da quantidade de acessórios necessários, para uma rede setorizada confiável.

Muitos algoritmos e procedimentos heurísticos, tem sido propostos para encontrar a solução ideal, visando principalmente a otimização do desempenho hidráulico e eficiência na redução de vazamentos. Funcionando também, como ferramenta de suporte, para a tomada de decisão das concessionárias. Apresentando, os melhores *trade-offs* entre custo de implantação *versus* indicadores de benefícios hidráulicos.

A maioria das pesquisas aponta, para a obtenção de uma rede setorizada com menor custo de implantação, a necessidade de redução na quantidade de medidores

de vazão, pois, o custo dessa categoria de acessório, é muito superior às válvulas do tipo gaveta.

Além disso, o posicionamento desses acessórios na rede tem um efeito significativo nas propriedades da rede como: desempenho hidráulico, índice de resiliência, taxa de vazamentos e qualidade da água.

Desta forma, a setorização deve ser encarada sempre que possível, como um problema de otimização multiobjetivo, para a maximização dos benefícios gerados por sua implantação.

#### *5.4.1. Otimização de objetivo único*

Principalmente para a simplificação das demandas computacionais, algumas hipóteses ou processos heurísticos foram propostos para a simplificação. De um problema multiobjetivo, para objetivo único.

Embora, as funções objetivo e restrições difiram nos diversos estudos, todas visavam, principalmente, atingir o melhor desempenho da rede possível após o processo de setorização.

Di Nardo et al. (2011,2013, 2014-a, 2014-b, 2015, 2016-a, 2018), adotaram como função objetivo a manutenção do desempenho hidráulico com o menor nível de potência dissipada, conseqüentemente, maximização do potencial nodal. Para lidar com a problemática, da análise entre custos de implantação *versus* indicadores de benefícios hidráulicos.

Shao et al. (2019), propuseram uma função onde o problema de objetivo duplo (desempenho hidráulico e custo) foram convertidos em um único objetivo, considerando a relação mestre-subordinando das funções objetivo, resultando em uma melhoria da eficiência computacional.

Mudanças na vazão de operação, ocasionado por falhas na tubulação podem resultar em grandes perdas de energia e pressão nos nós. Na pior das hipóteses, em situações de falha, uma rede deve ser capaz de fornecer energia suficiente suprir em condições mínimas todas as ligações pertencentes ao sistema.

Esta abordagem foi apresentada no trabalho de Todini (2000), onde o autor aferiu a resiliência de um sistema em casos de falhas.

Baseando nesta categoria de abordagem, foram apresentados diversos outros estudos: Campbell et al. (2014), Alvisi e Franchini (2014), Alvisi (2015) e Giudicianni et al. (2020), onde utilizaram o índice de resiliência como função objetivo.

Gomes, Marques e Sousa (2013) visando custos, propuseram um modelo de otimização baseado nas diversas opções disponíveis na engenharia para redução do custo total. Simulando o comportamento da rede, em diferentes cenários futuros, alterando fatores como: demandas e degradação da infraestrutura.

Um estudo semelhante, onde além de considerar cenários futuros de demanda e degradação de infraestrutura, adotam também critérios econômicos e energéticos. Foi a pesquisa Di Nardo et al. (2017).

No trabalho de Creaco e Haidar (2019), os autores utilizaram uma programação linear, para otimizar as configurações das válvulas de controle, objetivando a compensação entre os custos, uniformidade de demanda e vazamentos nos setores.

Para solucionar os problemas de otimização acima citados, os algoritmos genéticos — GA, foram amplamente utilizados (todos os estudos de Di Nardo *et al.*).

Shao et al. (2019), modificaram os mecanismos de cruzamento e mutação de um GA para a obtenção de um layout de rede setorizada de forma ágil. Já nos trabalhos de Gomes et al. (2012-a, 2012-b e 2013), os autores adotaram um algoritmo de recozimento simulado, para a solucionar o problema proposto.

#### 5.4.2. Otimização de Multiobjetivo

Zhang et al. (2017), apresentam uma abordagem de otimização multiobjetivo para a setorização, na qual três funções objetivo foram adotadas: número de tubos limites, uniformidade de pressão e idade da água.

Anos mais tarde, outro estudo de Zhang et al. (2019) sugeriu uma otimização multiobjetivo para *layouts* de setorização, mas desta vez, totalmente passíveis de implantação. Considerando simultaneamente: estabilidade da pressão, qualidade da água e custos de transformação (implantação).

De Paola et al. (2014) apresentaram em seu trabalho uma função multiobjetivo para lidar com o custo total de setorização, relacionando os custos ocasionados pelas perdas e custo os energia elétrica gerada pela operação de bombas.

No trabalho de Hajebi et al. (2014), foram consideradas dois conjuntos de objetivos para a tarefa de setorização, o objetivo estrutural e hidráulico. Para o objetivo



estrutural, foi determinado o tamanho mínimo de corte e diâmetro do tubo limite. Já para o objetivo hidráulico, após o seccionamento, era adotado quatro objetivos: minimização da pressão média dos nós, potência dissipada e maximização da resiliência da rede.

Bretan et al. (2017), apresentaram uma metodologia, onde foi adotada um conceito de otimização multinível para redução da complexidade presente no processo de setorização. Nessa abordagem, dois grupos de objetivos foram minimizados. O primeiro, correspondendo aos custos estruturais (instalação de acessórios), e o segundo o desempenho hidráulico (pressão mínima e máxima, e índice de resiliência).

Galdieiro et al. (2017) apresentam uma ferramenta de apoio a decisão para a engenharia, a partir de duas funções objetivo. Visando uma metodologia mais abrangente dos processos de setorização de redes. A primeira refere-se ao custo total, incluindo: custos de implantação e relacionados as perdas, com o desempenho hidráulico (índice de resiliência).

Recentemente, Giudicianni et al. (2020), apresentaram uma estrutura heurística para o particionamento dinâmico de uma rede. Utilizando funções multiobjetivo para atender diferentes finalidades relacionadas a custos, qualidade da água e economia de energia. Considerada uma metodologia arrojada, pois, além de setorizada, a rede se tornaria autossustentável. A partir de instalações de micro estações hidroelétricas ao longo da rede.

Para a interação entre diferentes algoritmos e funções multiobjetivo, Di Nardo (2016) desenvolveu um software batizado de SWANP. Inscrito em um ambiente *Python*, é considerada uma ferramenta de apoio eficaz, capaz de fornecer a engenharia, diferentes soluções de layout.

Muitos algoritmos de otimização, vem sendo aplicados para solucionar problemas multiobjetivo de sistemas de distribuição de água. O algoritmo genético NSGA-II é o mais amplamente aplicado, pois, ele disponibiliza a frente de Pareto, uma nuvem contendo um conjunto de soluções ideais.

Caso o leitor não esteja familiarizado com os algoritmos genéticos, aconselha-se a leitura do trabalho de Goldberg e Holland (1988).

### 5.4.3. Otimização com abordagem Iterativa

Um método iterativo, é um procedimento matemático em que se obtém uma solução viável a partir de uma estimativa inicial, gerando uma sequência possíveis de soluções. O resultado é considerado convergente e satisfatório, quando o conjunto de soluções obtidas atende os critérios adotados.

Diao, Zhou e Rauch (2013), obtiveram a otimização da rede, através de uma abordagem iterativa, onde foi adotado como critério de restrição a pressão mínima necessária de operação.

Já Liu e Han (2018) propuseram um método iterativo, baseado em um procedimento heurístico. Para a determinação da melhor localização dos medidores de vazão, onde o critério adotado, foi o caminho mais curto da fonte.

## 5.5. Avaliação do desempenho da setorização

Para aferir o quanto a setorização impacta no comportamento hidráulico da rede, utilizam-se índices de desempenho — ID's. Capazes de quantificar os benefícios e malefícios resultantes desses do processo. A maioria dos estudos aplica um índice para validar e verificar a eficácia do método proposto.

Os índices mais utilizados são: resiliência, pressão, uniformidade, qualidade da água, proteção contra incêndio.

O índice de resiliência, frequentemente é utilizado para avaliar o desempenho da rede, a partir de uma comparação do comportamento hidráulico, antes e depois do processo de seccionamento. A maioria dos estudos, apontou que este índice não foi significativamente afetado pelo processo de setorização. Este fato, foi amplamente discutido no trabalho de Herrera, Abraham e Stoianov (2016).

Se por um lado índice de resiliência é adotado para avaliar o desempenho geral da rede, os índices estatísticos, permitem uma avaliação da qualidade do serviço entregue aos clientes.

Estes índices foram explorados no trabalho de Di Nardo et al. (2015), onde foram desenvolvidos e analisados indicadores que avaliavam de pressão excedente e déficit de pressão real de uma rede setorizada, comparados com a pressão de projeto.

Outro indicador de grande relevância, é o que se refere a qualidade da água, este sim, por ser influenciado pela topologia da rede, velocidade de vazão e comprimento da tubulação, sofre um alto impacto pelo processo de seccionamento.

A idade da água é afeta principalmente, no que se refere aos níveis de cloro residual. Onde valores baixos, induzem a um crescimento bacteriano, em quantos padrões mais altos, indiciam um pior desempenho (maior custo de tratamento).

Os trabalhos de Grayman, Murray e Savic (2009) e Di Nardo et al. (2015), apresentaram como resultado, um processo de setorização, sem grande impacto na idade de água. Apesar de gerar variações significativas em alguns nós específicos, devido à inserção de válvulas de fechamento. Quando analisado todo o conjunto, alteração não foi considerada significativa.

Embora esta categoria de acessório (válvulas), seja muito utilizado no processo de setorização de redes, apresentando uma alta capacidade de degradação na idade de água, ela pode proporcionar uma segurança para a rede, frente a propagação de contaminantes no caso de ataques maliciosos.

Di Nardo et al. (2013 , 2015) apresentam uma pesquisa onde foi realizado um ataque por cianeto, ficando comprovada a eficácia desse dispositivo, preservando grande parte da rede.

Ainda na linha de aferição da qualidade do serviço prestado, Grayman Murray e Savic (2009), propuseram um índice para quantificar os potenciais impactos de contaminantes na saúde da população.

O índice de uniformidade de pressão, foram abordados nos estudos de Araque e Saldarriga (2005), Alvisi e Franchini (2014), Brentan et al. (2018), Liu e Han (2018). A uniformidade de pressão, é sugerida como uma garantia de que todos os nós pertencentes a um setor apresentam padrões de pressão e vazão semelhante. Quanto mais baixo é o valor desse índice melhor é o desempenho do sistema.

Liu e Han (2018) propuseram um quadro de tomada de decisão para a determinação dos DMC's, funcionais e eficientes, a partir da quantificação de vários índices (uniformidade, modularidade e resiliência) avaliando, os benefícios decorrentes do seccionamento da rede comparando custo-benefício.

Outra ferramenta de apoio a tomada de decisão, foi apresentada por Ferrari e Savic (2015), evidenciado a economia que a setorização pode proporcionar, para as companhias de abastecimento, considerando três fatores: redução de vazamentos, rupturas na tubulação e pressão, comparados com a rede original. Os autores,

afirmam que a redução na pressão em toda a rede foi o principal fator que gerou a redução de vazamentos e rupturas.

Para verificar o comportamento da rede setorizada frente a emergências, nos trabalhos de Grayman, Murrery e Savic (2009) e Di Nardo et al. (2015), foram desenvolvidos e apresentados índices de proteção contra incêndio, baseado principalmente no número de nós com uma pressão inferior à pressão necessária projetada para essa categoria de evento. Os resultados indicaram que apesar de alguns valores de pressão negativa, a maioria dos nós uma pressão aceitável.

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa objetivou uma visão panorâmica dos estudos relevantes, relacionados com a setorização de redes de distribuição de água. Onde para a execução do seccionamento de forma otimizada, é necessário um desempenho satisfatório nas duas fases compreendidas.

Na primeira etapa, a fase de agrupamento, ocorre a formação dos setores e definição dos tubos limites e tubulação principal (tronco). Os algoritmos que vem apresentado maior eficiência e, conseqüentemente, maior utilização, são os fundamentados na teoria de grafos.

Pode-se afirmar esta é a etapa crucial do processo de setorização de redes. Vários algoritmos e ferramentas de vem sendo desenvolvidas e aprimoradas para a aplicação da técnica de seccionamento em redes de grande escala, onde o particionamento de forma manual é uma tarefa árdua e praticamente inviável.

Vários aspectos de engenharia, como adoção de pesos para modulação das características da rede vem sendo incorporados neste processo, de modo a se obter os resultados realistas.

Assim, um número cada vez de extensões para os algoritmos de agrupamento aplicados em redes ponderas veem sendo apresentadas, bem como, novos métodos para o agrupamento gráfico.

A segunda etapa, a otimização, é realizada a identificação e locação dos acessórios necessários (válvulas e medidores de vazão) para o atendimento das restrições operacionais propostas. Exigindo-se a aplicação de algoritmos de otimização ou procedimentos heurísticos, sendo os mais aplicados os algoritmos genéticos, mas especificamente (NSGA-II), com uma abordagem multiobjetivo.

Sendo os objetivos de maior impacto e conseqüentemente mais adotados: a minimização dos custos de transformação, uso de energia e maximização da confiabilidade hidráulica.

As melhorias e inovações no processo de setorização apresentados até agora, estão voltados na forma em que o problema é abordado. Sendo as propostas mais

comuns atualmente, as voltadas para a criação automatizada de setores. Embora, haja diferentes abordagens para a identificação de setores em redes de distribuição de água, poucos estudos abordam a determinação de um número ideal de setor para uma determinada rede.

No que diz respeito a fase de otimização, ainda faltam estudos que avaliem o comportamento de bombas e reservatório em redes setorizadas. Desta forma, conclui-se que a técnica de setorização de redes apesar de já apresentar resultados extremamente satisfatórios, ainda apresenta um grande número de incógnitas e lacunas a serem respondidas em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; VIEIRA, P. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. Instituto Regulador de Águas e resíduos. Instituto da Água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Nov. 2005.
- ALVISI, S.; FRANCHINI, M. **A Heuristic Procedure for the Automatic Creation of District Metered Areas in Water Distribution Systems**. *Urban Water Journal*, v. 11, p. 137–159, 2014.
- ALVISI, S.; FRANCHINI, M. **A Procedure for the Design of District Metered Areas in Water Distribution Systems**. *Procedia Engineering*, v. 70, p. 41–50, 2014.
- ALVISI, S. **A New Procedure for Optimal Design of District Metered Areas Based on the Multilevel Balancing and Refinement Algorithm**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 29, p. 4397–4409, 2015.
- ARAQUE, D.; SALDARRIAGA, J.G. **Water Distribution Network Operational Optimization by Maximizing the Pressure Uniformity at Service Nodes**. In *Impacts of Global Climate Change*; American Society of Civil Engineers: Anchorage, AK, USA, 2005; pp. 1–10.
- ARMAND, H.; STOIANOV, I.; GRAHAM, N. **Impact of Network Sectorisation on Water Quality Management**. *Journal of Hydroinformatics*, v. 20, p. 424–439, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.
- AZEVEDO NETTO, J. A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1998
- BEUKEN, R. H. S. et al. Low leakage in the Netherlands confirmed. **8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006**, p. 174, 2007.
- BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. 1. ed. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. 220 p.
- BURROWS, R.; CROWDER, G. S.; ZHANG, J. Utilisation of network modelling in the operational management of water distribution systems. **Urban Water**, v. 2, n. 2, p. 83–95, 2000.
- BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 220 p. 2019.

BRENTAN, B.M.; CAMPBELL, E.; MEIRELLES, G.L.; LUVIZOTTO, E.; IZQUIERDO, J. **Social Network Community Detection for DMA Creation: Criteria Analysis through Multilevel Optimization**. *Mathematical Problems in Engineering*, p. 1 -12, 2017.

BRENTAN, B.; CAMPBELL, E.; GOULART, T.; MANZI, D.; MEIRELLES, G.; HERRERA, M.; IZQUIERDO, J.; LUVIZOTTO, E. **Social Network Community Detection and Hybrid Optimization for Dividing Water Supply into District Metered Areas**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, 2018.

CAMPBELL, E.; AYALA-CABRERA, D.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GARCÍA, R.; TAVERA, M. **Water Supply Network Sectorization Based on Social Networks Community Detection Algorithms**. *Procedia Engineering*, v. 89, p. 1208–1215, 2014.

CAMPBELL, E. et al. **A flexible methodology to sectorize water supply networks based on social network theory concepts and multi-objective optimization**. *Journal of Hydroinformatics*, v. 18, n. 1, p. 62–76, 2016.

CAMPBELL, E.; IZQUIERDO, J.; MONTALVO, I.; PÉREZ-GARCÍA, R. **A Novel Water Supply Network Sectorization Methodology Based on a Complete Economic Analysis, Including Uncertainties**. *Water*, v. 8, p. 179, 2016.

CIAPONI, C.; CREACO, E.; DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GIUDICIANNI, C.; MUSMARRA, D.; SANTONASTASO, G. **Reducing Impacts of Contamination in Water Distribution Networks: A Combined Strategy Based on Network Partitioning and Installation of Water Quality Sensors**. *Water*, v.11, p.1315, 2019.

CIAPONI, C.; MURARI, E.; TODESCHINI, S. **Modularity-Based Procedure for Partitioning Water Distribution Systems into Independent Districts**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 30, p. 2021–2036, 2016.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8° Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolviemnto de Produto - CNGDP 2011**, n. 1998, p. 1–12, 2011.

COOK, D. J. et al. Systematic Review Series Series Editors: Cynthia Mulrow f MD, MSc Deborah Cook f MD, MSc Systematic Reviews: Synthesis of Best Evidence for Clinical Decisions. **Ann Intern Med**, v. 126, p. 376–380, 1997.

CLAUSET, A.; NEWMAN, M.E.J.; MOORE, C. **Finding Community Structure in Very Large Networks**. *Physical Review E*, v. 70, 2004.

CREACO, E.; CUNHA, M.; FRANCHINI, M. **Using Heuristic Techniques to Account for Engineering Aspects in Modularity-Based Water Distribution Network Partitioning Algorithm**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 145, 2019.



CREACO, E.; HAIDAR, H. **Multiobjective Optimization of Control Valve Installation and DMA Creation for Reducing Leakage in Water Distribution Networks.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 145, 2019.

DA SILVA, A. C; **Estudo Comparativo entre Métodos de Perda de Água e Parâmetros Hidráulicos – Análise do Ciclo de Vida e Aplicação em rede do Sul de Minas Gerais.** 77 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2019.

DE PAOLA, F.; FONTANA, N.; GALDIERO, E.; GIUGNI, M.; SAVIC, D.; UBERTI, G.S. DEGLI. **Automatic Multi-Objective Sectorization of a Water Distribution Network.** Procedia Engineering, v. 89, p. 1200–1207, 2014.

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, p. 184 - 190, 2013.

DI BATTISTA, G.; EADES, P.; TAMASSIA, R.; TOLLIS, I.G. **Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs;** Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, NJ, USA, 1998.

DIESTE, O.; GRIMÁN, A.; JURISTO, N. **Developing search strategies for detecting relevant experiments.** Empirical Software Engineering, v.14, n.5, p.513-539, 2009.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M. **A Heuristic Design Support Methodology Based on Graph Theory for District Metering of Water Supply Networks.** Engineering Optimization, v. 43, p. 193 - 211, 2011.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; DI MAURO, A; **Water Supply Network District Metering: Theory and Case Study;** CISM Courses and Lectures; Springer: Wien, Austria; New York, NY, USA, 2013.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; SANTONASTASO, G.F.; TZATCHKOV, V.G.; ALCOCCER-YAMANAKA, V.H. **Water Network Sectorization Based on a Genetic Algorithm and Minimum Dissipated Power Paths.** Water Science and Technology Water Supply, v. 13, 2013.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GUIDA, M.; MUSMARRA, D. **Water Network Protection from Intentional Contamination by Sectorization.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 27, p. 1873 - 1850, 2013.

a - DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; SANTONASTASO, G.F.; TZATCHKOV, V.G.; ALCOCCER-YAMANAKA, V.H. **Water Network Sectorization Based on Graph Theory and Energy Performance Indices.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 140, p. 620 - 629, 2014.

b - DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.F. **Ant Algorithm for Smart Water Network Partitioning.** Procedia Engineering, v. 70, p. 525–534, 2014.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GIUDICIANNI, C.; MUSMARRA, D.; SANTONASTASO, G.F.; SIMONE, A. **Water Distribution System Clustering and Partitioning Based on Social Network Algorithms**. *Procedia Engineering*, v. 119, p. 196– 205, 2015.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; MUSMARRA, D.; SANTONASTASO, G.F.; TZATCHKOV, V.; ALCOCER-YAMANAKA, V.H. **Dual-Use Value of Network Partitioning for Water System Management and Protection from Malicious Contamination**. *Journal of Hydroinformatics*, v. 17, p. 361–376, 2015.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; SANTONASTASO, G.F.; TZATCHKOV, V.G.; ALCOCER-YAMANAKA, V.H. **Performance Indices for Water Network Partitioning and Sectorization**. *Water Science and Technology Water Supply*, v. 15, p. 499-509, 2015.

DI NARDO, A.; CAVALLO, A.; DI NATALE, M.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.F. **Dynamic Control of Water Distribution System Based on Network Partitioning**. *Procedia Engineering*, v. 154, p. 1275 – 1282, 2016.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; MUSMARRA, D.; SANTONASTASO, G.F.; TUCCINARDI, F.P.; ZACCONE, G. **Software for Partitioning and Protecting a Water Supply Network**. *Civil Engineering and Environmental System*, v.33, p. 55-69, 2016.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GIUDICIANNI, C.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.F. **Weighted Spectral Clustering for Water Distribution Network Partitioning**. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 2, p. 19, 2017.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GIUDICIANNI, C.; SANTONASTASO, G.; TZATCHKOV, V.; VARELA, J. **Economic and Energy Criteria for District Meter Areas Design of Water Distribution Networks**. *Water*, v. 9, p. 463, 2017.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GIUDICIANNI, C.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.F. **Water Distribution Network Clustering: Graph Partitioning or Spectral Algorithms?** In *Complex Networks & Their Applications VI*; Cherifi, C., Cherifi, H., Karsai, M., Musolesi, M., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2017.

DI NARDO, A.; GIUDICIANNI, C.; GRECO, R.; HERRERA, M.; SANTONASTASO, G. **Applications of Graph Spectral Techniques to Water Distribution Network Management**. *Water*, v. 10, p. 45, 2018.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GARGANO, R.; GIUDICIANNI, C.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.F. **Performance of Partitioned Water Distribution Networks under Spatial-Temporal Variability of Water Demand**. *Environmental Modelling and Software*, v.1, p. 128 - 136, 2018.

DYBA, T.; KAMPENES, V.; SJOBERG, D. **A Systematic Review of Statistical Power in Software Engineering Experiments**, *Journal of Information and Software Technology*, v. 1, n. 11, 2005.

FARLEY, M. **Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual**; No. WHO/SDE/WSH/01.1; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2001.

FARLEY, M.; TROW, S. **Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control**. London, IWA Publishing, 2003.

FARLEY, B.; MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B. Field testing of an optimal sensor placement methodology for event detection in an urban water distribution network. **Urban Water Journal**, v. 7, n. 6, p. 345–356, 2010.

FERRARI, G.; SAVIC, D.; BECCIU, G. **Graph-Theoretic Approach and Sound Engineering Principles for Design of District Metered Areas**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 140, 2014.

FERRARI, G.; SAVIC, D. **Economic Performance of DMAs in Water Distribution Systems**. *Procedia Engineering*, v. 119, p. 189 – 195, 2015.

FREIRE, M. R. **Modelo para setorização de redes de distribuição de água**. 127 p. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2017.

GALVÃO, J. R. B. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2007.

GILBERT, D.; ABRAHAM, E.; MONTALVO, I.; PILLER, O. **Iterative multistage method for a large water network sectorization into DMAs under multiple design objectives**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 143, 2017.

GIUDICIANNI, C.; DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; GRECO, R.; SANTONASTASO, G.; SCALA, A. **Topological Taxonomy of Water Distribution Networks**. *Water*, v. 10, p. 444, 2018.

GIUDICIANNI, C.; HERRERA, M.; DI NARDO, A.; ADEYEYE, K. **Automatic Multiscale Approach for Water Networks Partitioning into Dynamic District Metered Areas**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2020.

GIUDICIANNI, C.; HERRERA, M.; DI NARDO, A.; CARRAVETTA, A.; RAMOS, H.M.; ADEYEYE, K. **Zero-Net Energy Management for the Monitoring and Control of Dynamically-Partitioned Smart Water Systems**. *Journal of Cleaner Production*, v. 252, 2020.

GIUGNI, M.; FONTANA, N.; PORTOLANO, D.; ROMANELLI, D. **A DMA design for “Napoli Est” water distribution system**. In *Proceedings of the 13th IWRWorldWater Congress*, Montpellier, France, 1–4 September 2008.

GIUSTOLISI, O.; RIDOLFI, L. **New Modularity-Based Approach to Segmentation of Water Distribution Networks**. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 140, 2014.

GIUSTOLISI, O.; RIDOLFI, L. **A Novel Infrastructure Modularity Index for the Segmentation of Water Distribution Networks**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 50, p. 7648–7661, 2014.

GOLDBERG, D.E.; HOLLAND, J.H. **Genetic algorithms and machine learning**. *Machine Learning*, v. 3, p. 95–99, 1988.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009. 277 p.

GOMES, R.; SÁ MARQUES, A.; SOUSA, J. **Estimation of the Benefits Yielded by Pressure Management in Water Distribution Systems**. *Urban Water Journal*, v. 8, p. 65–77, 2011.

a- GOMES, R.; SÁ MARQUES, A.; SOUSA, J. **Identification of the Optimal Entry Points at District Metered Areas and Implementation of Pressure Management**. *Urban Water Journal*, v.9, p. 365–384, 2012.

b- GOMES, R.; MARQUES, A.S.; SOUSA, J. **Decision Support System to Divide a Large Network into Suitable District Metered Areas**. *Water Science and Technology*, v. 65, p. 1667–1675, 2012.

GOMES, R.; MARQUES, A.S.A.; SOUSA, J. **District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 27, p. 4527–454, 2013.

GRAYMAN, W.M.; MURRAY, R.; SAVIC, D.A. **Effects of Redesign of Water Systems for Security and Water Quality Factors**. In *World Environmental and Water Resources Congress 2009*; American Society of Civil Engineers: Kansas City, MO, USA, 2009; pp. 1–11.

HAJEBI, S., SONG, H., BARRETT, S., CLARKE, A., CLARKE, S. **Towards a reference model for water smart grid**. *International Journal Advanced Science Engineering Information Technology*, v. 2, p. 310–317, 2013.

HAJEBI, S.; BARRETT, S.; CLARKE, A.; CLARKE, S. **Multi-agent simulation to support water distribution network partitioning**. In *Proceedings of the Modelling and Simulation 2013-European Simulation and Modelling Conference, ESM 2013*, (Fernández), Lancaster, UK, 23–25 October 2013; pp. 163–168.

HAJEBI, S.; TEMATE, S.; BARRETT, S.; CLARKE, A.; CLARKE, S. **Water Distribution Network Sectorisation Using Structural Graph Partitioning and Multi-Objective Optimization**. *Procedia Engineers*, 2014.

HERRERA, M.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GARCÍA, R.; AYALA-CABRERA, D. **Water Supply Clusters by Multi-Agent Based Approach**. In *Water Distribution Systems Analysis 2010*; American Society of Civil Engineers: Tucson, AZ, USA, 2011; pp. 861–869.

HERRERA, M.; CANU, S.; KARATZOGLOU, A.; PEREZ-GARCÍA, R.; IZQUIERDO, J. **An approach to water supply clusters by semi-supervised learning**. In *Modelling for Environment's Sake: Proceedings of the 5th Biennial Conference of the International Environmental Modelling and Software Society, IEMSs 2010, Ottawa, ON, Canada, 5–8 July 2010; International Environmental Modelling and Software Society: Ottawa, ON, Canada, 2010; Volume 3, pp. 1925–1932.*

HERRERA, M.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GARCÍA, R.; MONTALVO, I. **Multi-Agent Adaptive Boosting on Semi-Supervised Water Supply Clusters**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 50, p. 131–136, 2012.

HERRERA, M.; ABRAHAM, E.; STOIANOV, I. **A Graph-Theoretic Framework for Assessing the Resilience of Sectorised Water Distribution Networks**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 30, p. 1685–1699, 2016.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (org.). **Abastecimento de água para consume humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v.

HUANG, P.; ZHU, N.; HOU, D.; CHEN, J.; XIAO, Y.; YU, J.; ZHANG, G.; ZHANG, H. **Real-Time Burst Detection in District Metering Areas in Water Distribution System Based on Patterns of Water Demand with Supervised Learning**. *Water*, v. 10, p. 1765, 2018.

ILAYA-AYZA, A.; MARTINS, C.; CAMPBELL, E.; IZQUIERDO, J. **Implementation of DMAs in Intermittent Water Supply Networks Based on Equity Criteria**. *Water*, v. 9, p. 851, 2017

IZQUIERDO, J.; HERRERA, M.; MONTALVO, I.; PÉREZ-GARCÍA, R. **Agent-based division of water distribution systems into district metered areas**. In *Proceedings of the 4th International Conference on Software and Data Technologies, Sofia, Bulgaria, 26–29 July 2009; SciTePress-Science and Technology Publications: Sofia, Bulgaria, 2009; pp. 83–90.*

JAVIER MARTÍNEZ-SOLANO, F.; IGLESIAS-REY, P.L.; MORA MELIÁ, D.; RIBELLES-AGUILAR, J.V. **Combining Skeletonization, Set point Curves, and Heuristic Algorithms to Define District Metering Areas in the Battle of Water Networks District Metering Areas**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 144, 2018.

KARYPIS, G.; KUMAR, V. **Multilevelk-Way Partitioning Scheme for Irregular Graphs**. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, v. 48, p. 96–129, 1998.

KITCHENHAM, B. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE**, 2007.

KUNKEL, G. **Committee Report: Applying worldwide BMPs in water loss control**. *J. Am. Water Work. Assoc*, v. 95, p 65-79, 2003.

LAMBERT, A.O. **International Report: Water Losses Management and Techniques**. *Water Science and Technology Water Supply*, v. 2, p.1–20, 2002.

LAMBERT, A. **Relationships between pressure, bursts and infrastructure life-an international perspective**. In Proceedings of the Water UK Annual Leakage Conference, Coventry, UK, 18 October 2012.

LAUCELLI, D.B.; SIMONE, A.; BERARDI, L.; GIUSTOLISI, O. **Optimal Design of District Metering Areas for the Reduction of Leakages**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 143, 2017.

LIFSHITZ, R.; OSTFELD, A. **District Metering Areas and Pressure Reducing Valves Trade-Off in Water Distribution System Leakage Management**. In Proceedings of the WDSA/CCWI Joint Conference Proceedings, Kingston, ON, Canada, 23–25 July 2018; Volume 1.

LIFSHITZ, R.; OSTFELD, A. **Clustering for Analysis of Water Distribution Systems**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 144, 2018.

LIU, J.; HAN, R. **Spectral clustering and multicriteria decision for design of district metered areas**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 144, n. 5, p. 1–11, 2018.

LIU, H.; ZHAO, M.; ZHANG, C.; FU, G. **Comparing Topological Partitioning Methods for District Metered Areas in the Water Distribution Network**. Water, v. 10, p. 368, 2018.

MALA-JETMAROVA, H.; SULTANOVA, N.; SAVIC, D. **Lost in optimisation of water distribution systems? A literature review of system design**. Water (Switzerland), v. 10, n. 3, 2018.

MARCKA, E. **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água – DTA A2**. Programa de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 80p. Brasília, 2004;

MARQUES, J.; CUNHA, M.; SAVIĆ, D. **Many-objective optimization model for the flexible design of water distribution networks**. Journal of Environmental Management, v. 226, n. July 2017, p. 308–319, 2018.

MARQUES, J.; CUNHA, M.; SAVIĆ, D. A. **Multi-objective optimization of water distribution systems based on a real options approach**. Environmental Modelling and Software, v. 63, p. 1–13, 2015.

MARCHI, A.; SALOMONS, E.; OSTFELD, A.; KAPELAN, Z.; SIMPSON, A.R.; ZECCHIN, A.C.; MAIER, H.R.; WU, Z.Y.; ELSAYED, S.M.; SONG, Y. **Battle of the Water Networks II**. Journal of Environmental Management, v. 140, 2014.

MELGAREJO-MORENO, J.; LÓPEZ-ORTIZ, M. I.; FERNÁNDEZ-ARACIL, P. **Water distribution management in South-East Spain: A guaranteed system in a context of scarce resources**. Science of the Total Environment, v. 648, p. 1384–1393, 2019.

MERNIK, M.; UMER, V. **Incremental programming language development**. Computer Languages, Systems and Structures, Elsevier Science Publishers B. V., v. 31, p. 1–16, 2005.

MORRISON, J., TOOMS, S., ROGERS, D., 2007. **District Metered Areas Guidance Notes**. International Water Association: Water Loss Task Force, 2007.

NEWMAN, M.E.J.; GIRVAN, M. **Finding and evaluating community structure in networks**. Physical Review E, v. 69, 2004.

PERELMAN, L.; OSTFELD, A. **Topological Clustering for Water Distribution Systems Analysis**. Environmental Modelling and Software, v. 26, p. 969–972, 2011.

ORSINI, E. Q. **Sistemas de Abastecimento de Água**. Apostila da Disciplina PHD 412 – Saneamento II. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

PARNAS, D. L. **On the criteria to be used in decomposing systems into modules**. Communications of the ACM, ACM, v. 15, p. 1053–1058, 1972.

POHL, I.S. **Bi-Directional and Heuristic Search in Path Problems**. Ph.D. Thesis, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, CA, USA, 1969.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, 4ª ed., São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo 519 p., 2006.

PUUST, R. et al. **A review of methods for leakage management in pipe networks**. Urban Water Journal, v. 7, n. 1, p. 25–45, 2010.

PROCTOR, C. R.; HAMMES, F. **Drinking water microbiology-from measurement to management**. Current Opinion in Biotechnology, v. 33, n. Figure 1, p. 87–94, 2015.

QI, Z. et al. **Better understanding of the capacity of pressure sensor systems to detect pipe burst within water distribution networks**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 144, n. 7, p. 1–11, 2018.

RAHMAN, A.; WU, Z. Y. **Multistep simulation-optimization modeling approach for partitioning water distribution system into district meter areas**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 144, n. 5, p. 1–14, 2018

RAJESWARAN, A.; NARASIMHAN, S.; NARASIMHAN, S. **A Graph Partitioning Algorithm for Leak Detection in Water Distribution Networks**. Computers and Chemical Engineering, v. 108, p. 11–23, 2018.

REGO, A. A. C. **Integração de ferramentas SIG para a otimização de sistema adutor com recurso ao EPANET**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2007;

SALDARRIAGA, J. et al. **Battle of the water networks district metered areas**.

Journal of Water Resources Planning and Management, v. 145, n. 4, p. 1–12, 2019.

SALOMONS, E.; SKULOVICH, O.; OSTFELD, A. **Battle of Water Networks DMAs: Multistage Design Approach**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 143, 2017.

SANTI, A. D; **Benchmarking aplicado ao controle das perdas de água no contexto das bacias hidrográficas piracicaba, capivari e jundiá**. 170 p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2018.

SANTO, L. P. S; **Otimização multiobjetivo da operação de sistemas de distribuição de água com bombas de rotação variável**. 125 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO. 2017.

SAVIC, D.; FERRARI, G. **Design and Performance of District Metering Areas in Water Distribution Systems**. Procedia Engineering, v. 89, p. 1136 – 1143, 2014.

SCARPA, F.; LOBBA, A.; BECCIU, G. **Elementary DMA Design of Looped Water Distribution Networks with Multiple Sources**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 142, 2016.

SELA PERELMAN, L. et al. **Automated sub-zoning of water distribution systems**. Environmental Modelling and Software, v. 65, p. 1–14, 2015.

SEMPEWO, J.; PATHIRANA, A.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Spatial Analysis Tool for Development of Leakage Control Zones from the Analogy of Distributed Computing**. In Water Distribution Systems Analysis 2008; American Society of Civil Engineers: Kruger National Park, South Africa, 2009; pp. 1–15.

SHAO, Y.; YAO, H.; ZHANG, T.; CHU, S.; OPTIMAL, X. **An Improved Genetic Algorithm for Optimal Layout of Flow Meters and Valves in Water Network Partitioning**. Water, v. 11, p. 1087, 2019.

SILQUEIRA, M. G; **Estudo de correlação de parâmetros hidráulicos e elétricos aplicado ao setor de rede de água no sul de minas gerais**. 188 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2019.

SILVA, A. T. Y. L; **Proposição de estratégia operacional ótima em rede de distribuição de água**. 81 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2019.

SIMONE, A.; GIUSTOLISI, O.; LAUCELLI, D.B. **A Proposal of Optimal Sampling Design Using a Modularity Strategy: Optimal Sampling Design**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 52, p. 6171–6185, 2016.

SOARES, A. K.; CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R.; SANDIM, M. P. **Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 9, n. 4, p. 312-321, 2004.



TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, MILTON T. et al. *Abastecimento de Água*. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 457-525.

TARJAN, R. **Depth-first search and linear graph algorithms**. *SIAM Journal on Computing*, v. 1, p. 146–160, 1972.

TODINI, E. **Looped Water Distribution Networks Design Using a Resilience Index Based Heuristic Approach**. *Urban Water Journal*, v. 2, p. 115–122, 2000.

TRAVASSOS, G.; BIOLCHINI, J. **Revisões Sistemáticas Aplicadas a Engenharia de Software**. In: XXI SBES - Brazilian Symposium on Software Engineering, João Pessoa, PB, Brasil, 2007.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006. 643 p.

TZATCHKOV, V.G.; ALCOCER-YAMANAKA, V.H.; BOURGUETT ORTÍZ, V. **Graph Theory Based Algorithms for Water Distribution Network Sectorization Projects**. In *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*; American Society of Civil Engineers: Cincinnati, OH, USA, p. 1 - 15, 2008.

UKWIR. **Effect of District Meter Areas on Water Quality; UK Water Industry Research Limited**: London, UK, 2000.

WANG, C.; ZHOU, S. **Contamination source identification based on sequential bayesian approach for water distribution network with stochastic demands**. *IJSE Transactions*, v. 49, n. 9, p. 899–910, 2017.

WRC. **The Effects of System Operation on Water Quality in Distribution**; WRC: Swindon, UK, 2000.

YAN, H. et al. **A simple but robust convergence trajectory controlled method for pressure driven analysis in water distribution system**. *Science of the Total Environment*, v. 659, p. 983–994, 2019.

ZEVNIK, J.; KOZELJ, D. **Partition of Water Distribution Networks into District Metered Areas Using a Graph Theoretical Approach**. In *Proceedings of the 13th International Conference on Hydroinformatics, Palermo, Italy, 1–6 July 2018*; pp. 2408–2417

ZEVNIK, J.; KRAMAR FIJAVŽ, M.; KOZELJ, D. **Generalized Normalized Cut and Spanning Trees for Water Distribution Network Partitioning**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 145, 2019.

ZHANG, K. et al. **A practical multi-objective optimization sectorization method for water distribution network**. *Science of the Total Environment*, v. 656, p. 1401–1412, 2019.

ZHANG, Q. et al. **Automatic partitioning of water distribution networks using multiscale community detection and multiobjective optimization.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 143, n. 9, 2017.