

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

**Aplicação de análises estatísticas em redes de distribuição de água: Uma revisão
sistemática da arte**

Emerson Pessanha de Almeida

Itajubá (MG)

2021

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

Emerson Pessanha de Almeida

**Aplicação de análises estatísticas em redes de distribuição de água: Uma revisão
sistemática da arte**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências 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. Victor Eduardo de Mello Valério

Itajubá (MG)

2021

Dedico este trabalho ao meu filho, Gregório José.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me dado discernimento e sabedoria para atingir os meus objetivos.

Ao meu pai por sempre acreditar em mim e me apoiar mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha mãe por todo amor, carinho e orações, sem os quais certamente eu não teria conseguido chegar até aqui.

Aos amigos que fiz ao longo do mestrado, Alex Takeo, Camila e Poliana que me deram forças e incentivos.

A minha namorada Mirella, pela companhia, dedicação e amor que foram fundamentais para a conclusão desta caminhada.

Ao meu orientador professor Dr. Fernando, o qual se mostrou mais que um orientador e que com seus ensinamentos muito contribuiu para o meu crescimento profissional e pessoal.

Ao meu Coorientador professor Dr. Victor, que muito contribuiu para o enriquecimento da pesquisa e que também foi mais que um Coorientador.

A Universidade Federal de Itajubá por apoiar e prover formas para que seus servidores cresçam profissionalmente.

Agradeço ao projeto REDECOPE FINEP – MCT (ref. 0983/10) – Ministério da ciência e tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes em sistemas de abastecimento de água”. Agradeço ao programa pesquisador mineiro da FAPEMIG pelo PPM – 00755-16 e ao NUMMARH – Núcleo de modelagem em simulação em meio ambiente e recursos hídricos da UNIFEI.

RESUMO

As pesquisas desenvolvidas nas redes de distribuição de água são de grande importância, haja visto os impactos sociais, ambientais e econômicos ocorridos devido à escassez do recurso hídrico. Logo, todo esforço científico denotado nas pesquisas que estudam os sistemas de distribuição de água são de grande relevância. Técnicas como modelagem matemática, simulação computacional e métodos estatísticos são amplamente empregados no intuito de obterem respostas mais fidedignas seja para a identificação da situação presente da rede, bem como para a predição de cenários, eventos de falhas, aumento de demanda, etc. O objetivo deste trabalho é a realização de uma análise sistemática da arte de pesquisas que usam modelos estatísticos para o controle e diminuição do volume de perdas de águas nos sistema de distribuição, identificando quais foram os modelos aplicados, obtendo assim o estado atual da arte, que servirá como norte para que futuros trabalhos possam se estruturar nas pesquisas mais relevantes que estudam o tema. A análise sistemática foi realizada após a aplicação de uma análise bibliométrica. A metodologia desenvolvida foi capaz de analisar um metadados composto por 4150 documentos retirados da base de periódicos Web of Science. Como resultado foi obtido uma visão geográfica do tema apontando os principais países, afiliações, periódicos e pesquisadores, bem como apontou os principais documentos, relevância do tema e os modelos estatísticos aplicados. Conclui-se que os modelos estatísticos mais aplicados são os de regressão, análise de sobrevivência, técnica de Monte Carlo e a técnica de Poisson respectivamente. Outras dezoito técnicas foram utilizadas, porém em menores quantidades, o que não as tornam ineficazes, as redes de distribuição de águas são mecanismos complexos e requerem por vezes diferentes formas de abordagem que demandam modelos outros de análises estatísticas.

Palavras-chave: Redes de distribuição de água. Perda de água. Análise estatística. Análise bibliométrica.

ABSTRACT

The developed research on water distribution networks are of great relevance, considering the social, environmental and economic impacts occurred due to the scarcity of hydric resources. Therefore, all the scientific efforts denoted on the researches that study the distribution water network are of great relevance. Techniques as mathematical modeling, computer simulation and statistic methods are widely used to obtain more reliable answers for the actual situation of the network and also for the prediction of scenarios, failure events, increased demand, etc. The main objective of this research is to carry out a bibliometric and systematic analysis that contemplates researches that use statistic models for the control and reduction of water volume losses in the distribution system, identifying which were the models applied, resulting the actual scenarios, which will be as guide for the futures works to be structured in the most relevant research's that studies the theme. The developed methodology was able to analyze a metadata composed of 4150 documents from the base of Web of Science. As result was obtained a geographical view of the subject pointing out the major countries, affiliations, journals and researchers, as well as pointed out the main documents, the relevance of the theme and the statistical models applied. It is concluded that the most applied statistical models are regression, survival analysis, Monte Carlo technique and Poisson technique respectively. Eighteen other techniques were used, but in smaller quantities, which do not render them ineffective, water distribution networks are complex mechanisms and sometimes require different forms of approach that require other models of statistical analysis.

Key words: Water distribution network. Loss of water. Statistical analysis. Bibliometric analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia	16
Figura 2 – Rede de distribuição de água	20
Figura 3 – Rede de distribuição de água ramificada	21
Figura 4 – Rede de distribuição de água malhada	21
Figura 5 – Rede de distribuição de água mista.....	22
Figura 6 – Plotagem método dos mínimos noturno.....	25
Figura 7 – Produção científica anual geral de 1966 a 1990.....	32
Figura 8 – Produção científica anual geral de 1990 a 2020.....	33
Figura 9 – Produção científica dos artigos de 1966 a 1990.....	35
Figura 10 – Produção científica dos artigos de 1990 a 2020.....	35
Figura 11 – Média de citação dos artigos por ano	36
Figura 12 – Produção dos principais autores ao longo do tempo	38
Figura 13 – Vínculo dos autores.....	40
Figura 14 – Crescimento dos periódicos ao longo dos anos	45
Figura 15 – Vínculo das afiliações	47
Figura 16 – Rede de contribuição das afiliações	48
Figura 17 – Vínculo dos países.....	50
Figura 18 – Colaboração entre países.....	51
Figura 19 – Rede de colaboração dos países	52
Figura 20 – Nuvem de palavras.....	53
Figura 21 – Mapa temático das palavras-chave dos autores	55
Figura 22 – Mapa temático das palavras-chave dos periódicos	56
Figura 23 – Dinâmica dos temas	57
Figura 24 – Totalização das técnicas de regressão.....	91
Figura 25 – Totalização das técnicas de análise de sobrevida.....	92
Figura 26 – Totalização das técnicas de tratamento e dispersão de dados.....	92
Figura 27 – Totalização das técnicas estatísticas aplicadas.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais informações sobre os metadados.....	31
Quadro 2 – Informações dos artigos.....	34
Quadro 3 – Fator de impacto dos principais autores.....	39
Quadro 4 – Documentos mais citados	42
Quadro 5 – Periódicos mais relevantes.....	44
Quadro 6 – Afiliações mais relevantes.....	46
Quadro 7 – Países mais relevantes	49
Quadro 8 – Síntese das técnicas estatísticas aplicadas.....	58
Quadro 9 – Técnica de regressão linear.....	62
Quadro 10 – Técnica de regressão não linear.....	65
Quadro 11 – Técnica de regressão linear múltipla.....	66
Quadro 12 – Técnica de regressão logística.....	67
Quadro 13 – Técnica de regressão polinomial evolutiva.....	68
Quadro 14 – Técnica da média móvel exponencialmente ponderada (EWMA).....	69
Quadro 15 – Técnica Harmony Search.....	70
Quadro 16 – Técnica K-means clustering.....	71
Quadro 17 – Técnica Hold-Out.....	72
Quadro 18 – Técnica da pontuação de Brier.....	73
Quadro 19 – Técnica de Monte Carlo.....	74
Quadro 20 – Técnica de Poisson.....	76
Quadro 21 – Técnica chi-squared test.....	78
Quadro 22 – Técnica da regressão de Poisson.....	79
Quadro 23 – Técnica da distribuição de Bernoulli.....	81
Quadro 24 – Técnica de auto correlação.....	82
Quadro 25 – Técnica do teorema de Bayes.....	83
Quadro 26 – Técnica do teste de Kolmogorov-Smirnov.....	84
Quadro 27 – Técnica do filtro de Kalman.....	85
Quadro 28 – Técnica de Markov.....	86
Quadro 29 – Técnica da análise de sobrevida.....	87
Quadro 30 – Técnica da frente de Pareto.....	90

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1	Etapa 1.....	17
3.1.1	Seleção inicial de artigos.....	17
3.2	Etapa 2.....	17
3.2.1	Estudo de ferramentas computacionais.....	17
3.3	Etapa 3.....	17
3.3.1	Tratamento de dados	17
3.4	Etapa 4.....	18
3.4.1	Análise de bibliométrica.....	18
3.5	Etapa 5.....	19
3.5.1	Síntese dos dados.....	19
4.	FUNDAMENTAÇÃO GERAL DO TEMA.....	20
4.1	Introdução ao tema.....	20
4.1.1	Redes de distribuição de água.....	20
4.1.2	Perdas em redes de distribuição de água.....	22
4.2	Fatores que contribuem para o aumento de perdas de água.....	26
4.2.1	Excesso de pressão	26
4.2.2	Falta de monitoramento	26
4.2.3	Demais fatores	28
4.3	Uso da análise estatística	29
5.	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	31
5.1	Dados	31
5.1.1	Produção científica geral do tema	31
5.1.2	Produção científica de artigos ao longo dos anos	33
5.1.3	Média de citação por ano	36
5.2	Autores	38
5.2.1	Autores mais produtivos	38
5.2.2	Autores com maiores fatores de impacto	39

5.2.3	Tema de pesquisa dos autores mais produtivos	40
5.3	Documentos	42
5.3.1	Os cinco artigos mais citados	42
5.4	Periódicos	44
5.4.1	Os cinco principais periódicos	44
5.4.2	Dinâmica dos periódicos	44
5.5	Afiliações	46
5.5.1	Afiliações mais relevantes produtivamente	46
5.5.2	Vínculos entre as afiliações, periódicos e os temas	46
5.5.3	Rede de colaboração das afiliações	47
5.6	Geográfica	49
5.6.1	Países mais relevantes	49
5.6.2	Vínculo entre países, periódicos e os temas	50
5.6.3	Formas de publicação dos países	51
5.6.4	Rede de colaboração entre os países	52
5.7	Tema	53
5.7.1	Nuvem de palavras-chave	53
5.7.2	Palavras-chave dos autores	53
5.7.3	Palavras-chave dos periódicos	54
5.7.4	Mapa temático das palavras-chave dos autores	54
5.7.5	Mapa temático das palavras-chave dos periódicos	55
5.7.6	Desenvolvimento do tema ao longo dos anos	56
6	MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS.....	58
6.1	Síntese das técnicas estatísticas aplicadas.....	58
6.2	Regressão linear.....	62
6.2.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	62
6.3	Regressão não linear.....	65
6.3.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	65
6.4	Regressão linear múltipla.....	66
6.4.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	66
6.5	Regressão logística.....	67
6.5.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	67
6.6	Regressão polinomial evolutiva.....	68
6.6.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	68

6.7	Média móvel exponencialmente ponderada (EWMA)	69
6.7.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	69
6.8.	Harmony search	70
6.8.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	70
6.9	K-means clustering	71
6.9.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	71
6.10	Técnica Hold-Out	72
6.10.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	72
6.11	Pontuação de Brier	73
6.11.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	73
6.12	Técnica de Monte Carlo	74
6.12.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	74
6.13	Técnica de Poisson	76
6.13.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	76
6.14	Chi-squared test	78
6.14.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	78
6.15	Regressão de Poisson	79
6.15.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	79
6.16	Distribuição de Bernoulli	81
6.16.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	81
6.17	Técnica de auto correlação	82
6.17.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	82
6.18	Teorema de Bayes	83
6.18.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	83
6.19	Teste de Kolmogorov-Smirnov	84
6.19.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	84
6.20	Filtro de Kalman	85
6.20.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	85
6.21	Técnica de Markov	86
6.21.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	86
6.22	Análise de sobrevida	87
6.22.1	Regressão de Cox.....	87
6.22.2	Pesquisas que usaram a técnica.....	87
6.22.3	Estimador de Kaplan-Meier.....	88

6.22.4	Pesquisas que usaram a técnica.....	88
6.22.5	Modelo estatístico de Weibull.....	88
6.22.6	Pesquisas que usaram a técnica.....	88
6.23	Frente de Pareto.....	90
6.23.1	Pesquisas que usaram a técnica.....	90
6.24	Resumo das técnicas estatísticas aplicadas.....	91
7	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS.....	97
	APÊNDICE A	106
	APÊNDICE B	107
	APÊNDICE C	108
	APÊNDICE D	109
	APÊNDICE E	110

1. INTRODUÇÃO

A existência da vida humana está atrelada ao consumo da água. Logo, se fazem necessárias ações que visam o uso racional deste recurso, pois o mesmo é finito e sua demanda é de crescente evolução estando atrelado ao aumento populacional.

Para o consumo humano, se faz necessário que a água tenha características que possibilitem a sua utilização como a potabilidade. Após a obtenção de padrões exigidos para a sua ingestão, a água é então fornecida a população através das redes de distribuição em suas diversas formas, sendo a mais usual delas pela ação da gravidade. Os sistemas de distribuição de água precisam atender requisitos normativos além da potabilidade como a estanqueidade e níveis de pressão.

Devido à complexidade das redes de distribuição de água, a má gestão e desafios geográficos que o sistema por vezes tem que vencer, surgem as falhas nos sistemas de distribuição de água tratada que são motivos de estudo de órgãos e pesquisadores.

As falhas num sistema de distribuição de água resultam em perdas em diversas esferas, como a monetária devido a todo o custo envolvido com a captação, tratamento e distribuição da água, como também perdas ambientais e sociais (HU *et al.*; 2020). Para fins científicos, as perdas são denominadas em perdas aparentes e perdas reais, a primeira é todo o volume de água perdido referente a água não faturada devido a ligações clandestinas, erros de medição, hidrômetros não aferidos. Já a segunda é o volume de água perdido durante o processo de distribuição, nos pontos de falha da tubulação ou extravasamento dos reservatórios.

Os trabalhos de pesquisa relacionados a redes de distribuição de água normalmente estão associados a coleção de dados primários e desenvolvimento de dados secundários. A grande quantidade de dados gerados requerem análises eficientes, deste modo o uso de ferramentas estatísticas vem ao encontro desta demanda (GONZÁLEZ; RODRÍGUES, 2020).

A proposta da dissertação é inicialmente a aplicação de uma análise bibliométrica nos metadados obtidos da base de periódicos (Web of science) com foco em pesquisas que estudam as redes de distribuição de água. A análise bibliométrica apontará o estado atual da arte informando os principais periódicos, os países que mais produzem, o pesquisadores mais relevantes, o desenvolvimento do tema ao longo dos anos, dando assim um panorama geral e que irá orientar futuros pesquisadores do tema.

Após a realização da análise bibliométrica, será realizada uma revisão sistemática da arte, apontando as técnicas estatísticas mais utilizadas na área de otimização e controle de

perdas nos sistemas de distribuição de água, sendo este o foco principal da dissertação de mestrado aqui proposta.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da arte na aplicação de modelos estatísticos nos sistemas de distribuição de água, visando contribuir com os profissionais da área no diagnóstico precoce de vazamentos de água em instalações hidráulicas.

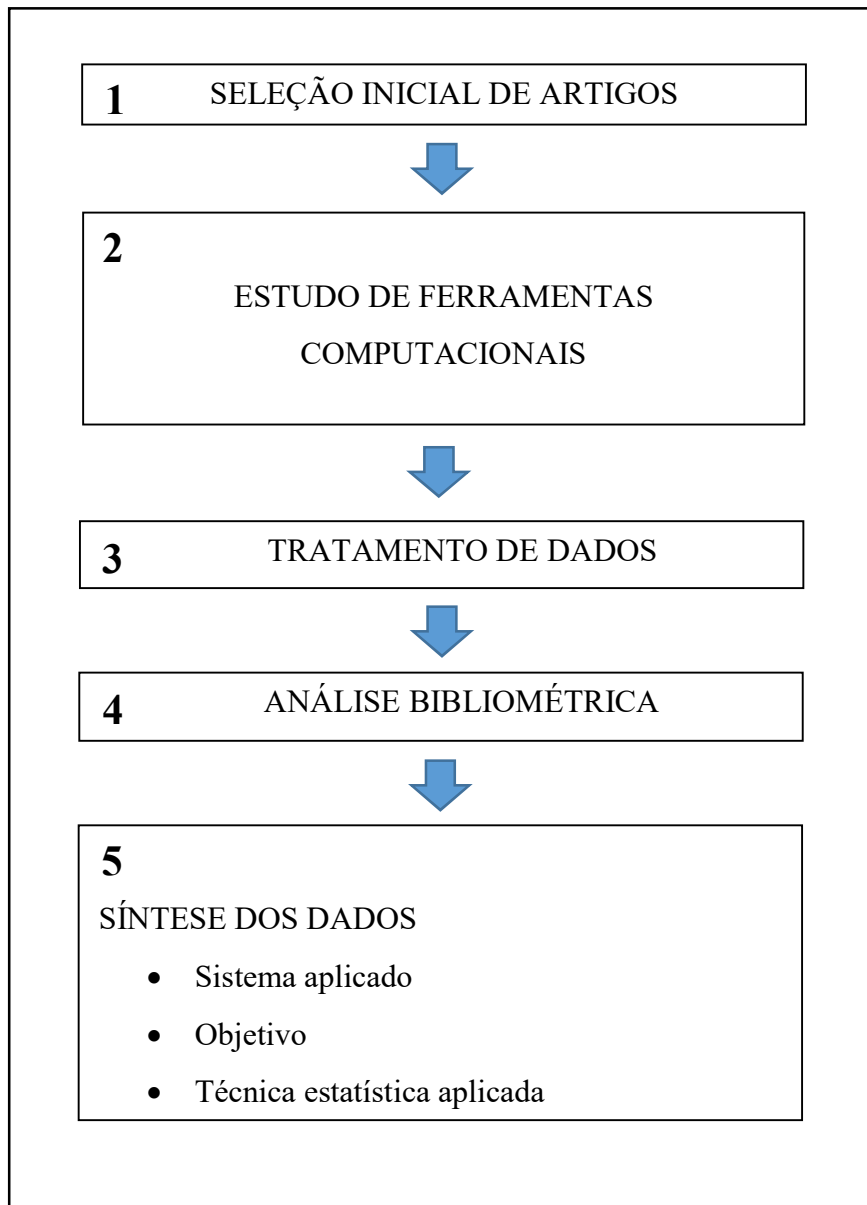
2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma análise bibliométrica nos metadados composto por pesquisas que estudam as redes de distribuição de água;
- b) Identificar os modelos estatísticos utilizados nas pesquisas que abordam o tema de perdas em redes de distribuição de água;
- c) Avaliar as tendências de aplicações de artigos dentro da temática da pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada na pesquisa se resume no tratamento de um metadados e na realização de uma análise sistemática do estado da arte estando organizada em 5 etapas conforme disposto na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia



Fonte: Autor

3.1 Etapa 1

3.1.1 Seleção inicial de artigos

Definido o tema da pesquisa, o primeiro passo foi a escolha das palavras-chave para assim dar início a mineração dos documentos que darão corpo a pesquisa. Em linhas gerais, as principais palavras-chave foram, redes de distribuição de água, sistemas de distribuição de água, perdas de água, controle de perdas de água.

Tradicionalmente a escolha das palavras-chave são fruto dos artigos lidos que tem ligação direta com a pesquisa proposta ou com artigos que servem como base para adaptação de metodologia ou de técnicas aplicadas que poderão ser utilizadas na pesquisa em andamento.

3.2 Etapa 2

3.2.1 Estudo de ferramentas computacionais

Nesta etapa da pesquisa para a importação dos metadados, foi necessário o estudo da linguagem de programação de código aberto R, bem como o estudo do pacote Bibliometrix que é inserido na linguagem R para a realização de uma pesquisa quantitativa em cientometria e bibliometria, incluindo os principais métodos de análise bibliométrica.

A linguagem de programação R foi empregada por ser de código aberto e voltada à ciência de dados e, portanto, ao contexto do *big data* característico da análise bibliométrica. Em associação, deve-se acrescentar que a linguagem de programação R possui uma comunidade ativa pautada na reprodutibilidade das análises, fato que, facilita para a estruturação da análise realizada na presente pesquisa.

3.3 Etapa 3

3.3.1 Tratamento de dados

Nesta etapa da metodologia da pesquisa será executado o tratamento dos metadados, os dados baixados serão tratados e gerarão uma planilha com as principais informações relativas as produções científicas como o nome dos autores, tipo de documento, palavras-chave, DOI,

contato dos autores, banco de dados bibliométricos, etc. Dados estes que servirão de parâmetros para a realização das análises da próxima etapa da pesquisa.

3.4 Etapa 4

3.4.1 Análise bibliométrica

O objetivo da análise bibliométrica aqui realizada é nortear futuros pesquisadores da área de controle e tratamento de perdas de água em redes de distribuição, sobre quais documentos e autores devem ser lidos e utilizados em suas pesquisas. Reduzindo de forma substancial a demanda pela pesquisa de fontes relevantes ao tema.

A análise ocorrerá em sete etapas e são brevemente apresentadas aqui.

Na primeira etapa será feita a análise dos documentos encontrados, informando o número de publicações anuais, número de citações por ano, e tipos dos documento que constituem os metadados.

A Segunda etapa será a identificação dos autores mais relevantes em função dos seguintes parâmetros, total de publicação, número de citações, fator de impacto e etc.

A terceira etapa será o apontamento dos documentos mais citados referente ao tema de redes de distribuição de água.

A quarta etapa será a análise dos periódicos, identificando quais são os mais relevantes, o volume de produção anual, o desenvolvimento ao longo dos anos, seu fator de impacto, etc.

Na quinta etapa será apresentada quais são as afiliações que mais produzem e contribuem com pesquisas referente ao tema do controle de perdas de água em redes de distribuição.

Na sexta etapa um levantamento geográfico de produção científica será executado apontando os países que mais produzem e com quais países contribuem cientificamente.

A sétima e última etapa será a análise do tema, apontando os temas mais densos e centrais bem como os menos densos e menos centrais.

3.5 Etapa 5

3.5.1 Síntese dos dados

Nesta etapa será apresentado o objetivo da dissertação, que visa identificar quais as técnicas estatísticas mais utilizadas nas pesquisas que estudam as redes de distribuição de água buscando controlar e reduzir o volume de perdas de água.

De forma análoga ao objetivo da etapa 4, a etapa 5 visa apresentar o estado atual da arte para que futuros estudos possam se nortear e estruturar nas mais relevantes pesquisas e modelos estatísticos que são aplicados nos sistemas de redes de distribuição de água.

4. FUNDAMENTAÇÃO GERAL DO TEMA

4.1 Introdução ao tema

Uma breve introdução será descrita sobre a composição de um sistema de abastecimento de água.

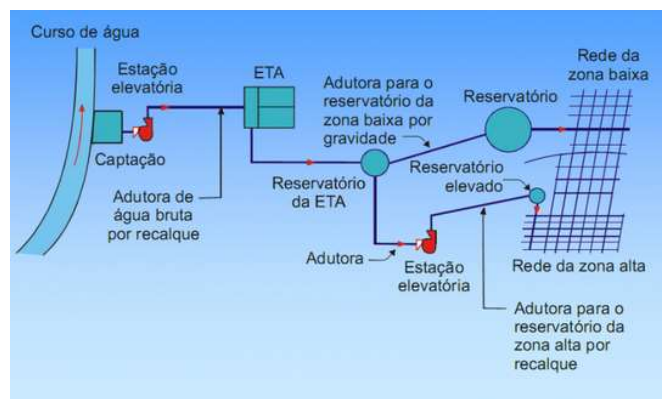
4.1.1 Redes de distribuição de água

Um sistema de distribuição de água é uma rede complexa de tubos interligados que fornece água da(s) fonte(s) aos consumidores. Além dos tubos, que são componentes principais, um sistema de distribuição de água envolve elementos de controle mecânico e hidráulico, como bombas, tanques de armazenamento, reservatórios, reguladores, válvulas e juntas (GHEISI; NASER, 2013).

Em geral, uma rede de distribuição de água pode ser dividida em diferentes subsistemas, cada um dos quais pode apresentar condições de canalização e características de consumo de água semelhantes (WU; SAGE; TURTLE, 2010).

Segundo Porto (2006) uma rede de distribuição de água tratada, conforme a Figura 2, é um conjunto de tubulações e equipamentos que têm a finalidade de suprir as demandas de seus consumidores sejam eles industriais, residenciais ou comerciais. Além de captar, tratar e distribuir água, a rede precisa atender a demais critérios de operação, sendo um deles o controle de pressão, fazendo com que se mantenha a rede pressurizada dentro de níveis exigidos por normas.

Figura 2 – Rede de distribuição de água

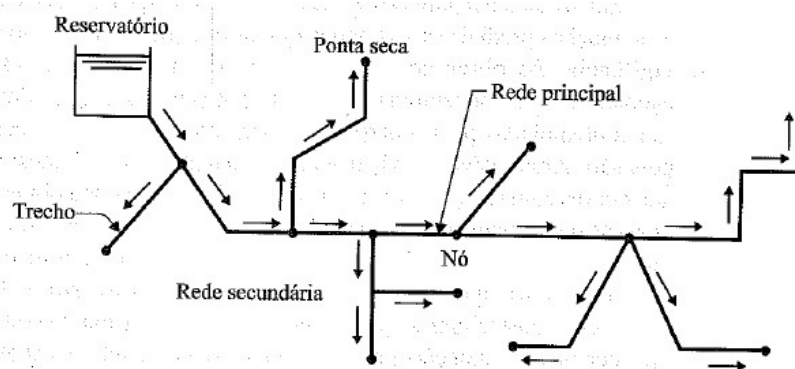


Fonte: ECHOA Engenharia¹

¹ Disponível em: <https://echoaengenharia.com.br/saneamento-e-a-cadeia-de-responsabilidades-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 16 dez. 2019.

As redes de distribuição de água podem ser divididas em redes ramificadas, malhadas e mistas. A rede ramificada, conforme a Figura 3, se caracteriza pela distribuição de água através de uma linha tronco, geralmente abastecida por um reservatório elevado alimentando a rede por gravidade. Seu sentido de escoamento é conhecido em qualquer parte da rede, tem intrinsecamente o inconveniente de um trecho a jusante ter seu abastecimento interrompido devido a intervenções ou falhas a montante (TSUTIYA, 2006).

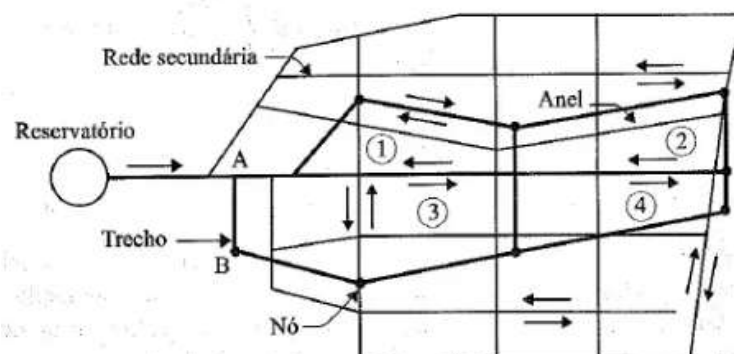
Figura 3 – Rede de distribuição de água ramificada



Fonte: (TSUTIYA, 2006)².

Já as redes de distribuição malhadas, conforme a Figura 4, é o tipo de rede de distribuição de água mais utilizada nas cidades, tem a vantagem de ter o sentido de vazão alterado o que possibilita manter a rede abastecida em ocasiões de manutenção (TSUTIYA, 2006).

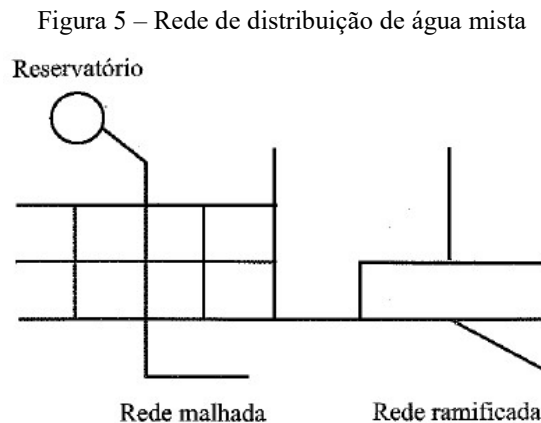
Figura 4 – Rede de distribuição de água malhada



Fonte: (TSUTIYA, 2006)³.

² TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: USP, 2006.

As redes de distribuição mistas, conforme a Figura 5, são aquelas que combinam trechos malhados e ramificados. Para o projeto e dimensionamento de uma rede de distribuição de água tratada, há que se considerar diversos fatores que avaliam questões geográficas, tecnológicas, operacionais e econômicas (TSUTIYA, 2006).



Fonte: (TSUTIYA, 2006)³

4.1.2 Perdas em redes de distribuição de água

Nas últimas décadas a distribuição de água potável teve uma grande evolução. O desenvolvimento dos centros urbanos e industriais fizeram com que as redes de distribuição de água se propagassem rapidamente e em muitos casos de forma mal projetada, aliado a falta de dados referente ao sistema de abastecimento como, tipo de tubulação, diâmetro, número de falhas e etc., a tarefa de minimizar o volume de perdas em um sistema de distribuição de água se torna uma tarefa complexa (CANNAROZZO *et al.*; 2006).

O aumento do consumo de água está atrelado ao aumento populacional, com a crescente demanda e a não perenidade do recurso hídrico, aliado a dependência da vida humana a este recurso, se faz necessário que atitudes que tendem a minimizar o desperdício e levem ao uso consciente sejam cada vez mais necessárias (CHINI; STILLWELL, 2018).

Logo controlar e criar mecanismos que reduzam estas perdas se fazem cada vez mais necessários. Uma forma de se monitorar e estimar o volume de perdas é o monitoramento das pressões da rede, que permite uma análise confiável e de rápida resposta (ABDULSHAHEED; MUSTAPHA; GHAVAMIAN, 2017).

³ TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: USP, 2006.

Ao passo em que as redes foram sendo implementadas novas técnicas de monitoramento surgiram, bem como rigorosos controles por órgãos ambientais em virtude do grande volume de perdas contidos no processo de distribuição (NAM *et al.*; 2019; CHRISTODOULOU *et al.*; 2010; CHRISTODOULOU *et al.*; 2010; TANYIMBOH; TIETAVAINEM; SALEH, 2011). O aumento da demanda inflaciona as despesas com gerenciamento das redes de distribuição de água, a carência orçamentária e a cobrança dos órgãos de controle, exigem que as ações sejam mais proativas e menos reativas (SEMPEWOA; KYOKAALIA, 2016).

Por serem estruturas complexas e de difícil manutenção, nos casos de rompimento da tubulação, se não houver um eficiente sistema de monitoramento a detecção destas falhas poderá se dar de forma tardia, ocasionando perdas diretas e indiretas de importante valor monetário (KIM *et al.*; 2015).

A falha é o efeito cumulativo de vários fatores intrínsecos, operacionais e ambientais da tubulação. A falha do tubo implica uma diminuição no nível de serviço, resultando em custos econômicos, ambientais e sociais (KAKOUDAKIS *et al.*; 2016). Cannarozzo *et al.* (2006) citam que a deterioração dos sistemas de distribuição está diretamente relacionado ao número de falhas na rede, acarretando um maior custo operacional e diminuição dos indicadores de desempenho. Wang, Zayed e Moselhi (2009) citam que a deterioração dos sistemas de distribuição de água é um processo contínuo e que exige uma gestão eficiente afim de um melhor desempenho do sistema de abastecimento. Christodoulou *et al.*; (2010) relatam que as falhas nos sistemas de abastecimento de água também ocorrem em função do tempo, ou seja, em função da idade em que o sistema possui. Já Wols e Thienen (2014) citam que fatores como variações climáticas também influenciam no aumento dos índices de rompimentos das tubulações de um sistema de abastecimento de água.

Além disso, nem toda a água produzida chega aos clientes para gerar receita para as empresas de água. Em vez disso, uma parte significativa é perdida, devido a vazamentos da rede de água e ao uso não autorizado da água (WU *et al.*; 2010).

Neste sentido, as perdas de água em um sistema de distribuição são resumidos em, perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais são perdas físicas devido a vazamentos da rede de abastecimento, enquanto as perdas aparentes não são físicas, mas sim financeiras que levam a uma diminuição da receita. Em outras palavras, as perdas aparentes consistem em volumes de água que são retirados da rede e consumidos pelos usuários, mas não são pagos (FONTANAZZA *et al.*; 2012). Desta forma, a redução das perdas não físicas permite aumentar

a receita financeira, o que aumenta a eficiência do prestador de serviços, enquanto que a redução das perdas físicas reduz os custos de produção através da redução do consumo de energia; sendo possível otimizar o uso dos recursos existentes para aumentar a oferta sem necessariamente expandir o sistema de produção.

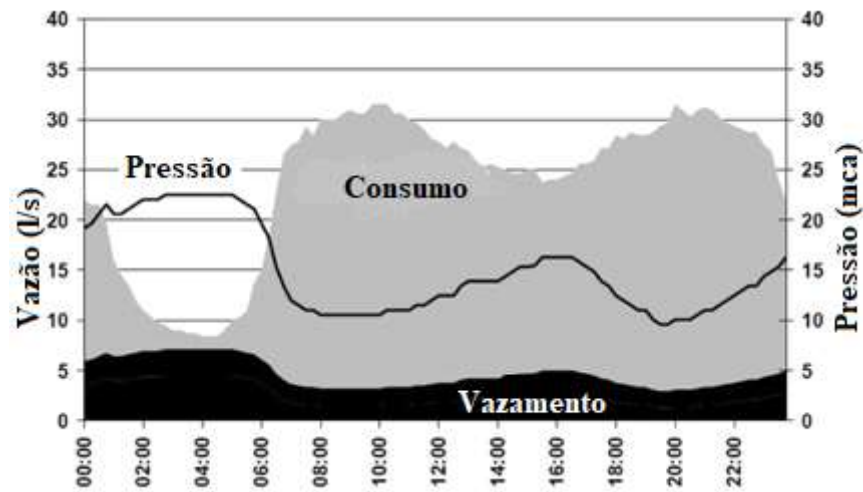
Atualmente, a necessidade do uso conservador da água é mais urgente do que nunca porque as condições estressantes da mudança climática forçam as concessionárias de água a considerarem a aplicação de estratégias eficazes na redução da porcentagem de água desperdiçada por vazamentos (KANAKOUDIS; TSITSIFLI, 2014).

Com as tendências internacionais cada vez mais inclinadas à suscetibilidade, eficiência econômica, escassez de água e proteção do meio ambiente, o problema da perda de água dos sistemas de abastecimento é de grande interesse em todo o mundo, pois afeta as empresas de água e seus clientes (COVAS; RAMOS; ALMEIDA, 2005; HOLNICKI-SZULC; KOLAKOWSKI; NASHER, 2005; PUUST *et al.*, 2010; WU, 2009). Além disso, a demanda por água está aumentando constantemente (MESQUITA; RUIZ, 2012).

Historicamente, quando há grandes perdas no sistema de abastecimento, torna-se mais econômico melhorar o sistema, racionar o uso da água e realizar manutenção contínua para manter o sistema eficiente do que construir novos sistemas, o que certamente levará a altos custos de instalação e impacto ambiental. Questões relacionadas à perda de água devem ser tratadas e gerenciadas com medidas preventivas destinadas a melhorar os procedimentos de manutenção e operação de redes (TROJAN; MORAIS, 2012).

Há um consenso mundial da importância de se minimizar os níveis de perdas em redes de distribuição de água. Nos últimos anos empresas e pesquisadores vêm numa crescente busca de soluções para minimizar as perdas e os decorrentes impactos causados pelos altos índices de desperdício de água. Em suma, os métodos mais utilizados se baseiam no total de água perdida, na localização dos pontos de vazamento e na busca por controle de vazamentos futuros, dentre várias técnicas a do mínimo noturno é bem difundida na literatura (PUUST *et al.*, 2009; NISIC *et al.*; 2007; ALKASSEH *et al.*; 2013). O gráfico da Figura 6 é a plotagem da utilização do método, que consiste no monitoramento da rede no período de menor consumo que ocorre entre 01:00h e 05:00h, onde a pressão se mantém constante devido à baixa demanda e os valores observados de vazão podem ser considerados como perdas (ALKASSEH *et al.*; 2013).

Figura 6 - Adaptado de Liemberger e Farley (2004)



Fonte: Urban water journal

Autoridades hídricas mundiais estão se mobilizando e buscando alternativas para obterem uma melhor resposta no controle de perdas de água e conseqüentemente uma maior eficiência da rede. Neste sentido, a simulação das redes de distribuição de água por ferramentas computacionais está se tornando uma ferramenta cada vez mais eficaz para o controle das perdas em redes de distribuição de água (VÍTKOVSKÝ; SIMPSON; LAMBERT, 2000).

A Associação Internacional da Água tem defendido e promovido quatro atividades básicas de gerenciamento de vazamentos para a redução de vazamentos, a saber (i) gerenciamento de pressão; (ii) controle ativo de vazamentos; (iii) velocidade e qualidade dos reparos e gerenciamento de ativos de tubulações; (iv) manutenção e renovação (CHARALAMBOUS; FOUFEAS; PETROULIAS, 2014). De acordo com Hunaidi *et al.*; (2004), o gerenciamento de vazamentos compreende quatro componentes principais: (i) quantificação da perda total de água, (ii) monitoramento de vazamentos, (iii) localização e reparo de vazamentos, e (iv) gerenciamento da pressão da tubulação.

Por outro lado, a maioria dos documentos relativos ao gerenciamento da pressão usa a pressão como um meio para quantificar, monitorar ou detectar o vazamento de água. Assim, de acordo com Puust *et al.*; (2010) a maioria dos métodos de gerenciamento de vazamentos, desenvolvidos até agora, podem ser amplamente classificados, como segue: (i) métodos de avaliação de vazamento que se concentram na quantificação da perda de água; (ii) métodos de detecção de vazamento que se preocupam principalmente com a detecção de pontos críticos de vazamento; e (iii) modelos de controle de vazamento que se concentram no controle efetivo dos níveis de vazamento atuais e futuros.

4.2 Fatores que contribuem para o aumento de perdas de água

A seguir, serão listados alguns dos fatores que contribuem para o aumento do volume de perdas de água.

4.2.1 Excesso de pressão

O excesso de pressão nas redes de distribuição de água e a deterioração da tubulação são responsáveis por inúmeros vazamentos e conseqüentemente grandes volumes de água são desperdiçados (NICOLINI; ZOVATTO, 2009). De acordo com Prasad e Park (2004) com a otimização da rede de distribuição é possível reduzir as suas perdas durante a distribuição, resultando numa economia monetária, contudo, não é uma tarefa fácil devido a complexidade dos sistemas de distribuição de água.

O rompimento da rede pode ser ocasionado por diversos fatores tais como: pressão excessiva geralmente vinculado a fatores geográficos, corrosão, envelhecimento da rede entre outros. Como impactos negativos podemos citar além da perda monetária a questão ambiental e a social. Para minimizar esses impactos, se faz necessária a rápida intervenção e solução do problema bem como o desenvolvimento de novas técnicas que sejam mais eficazes que as convencionais que demandam longo período para sanar os eventos de rompimento (NAM *et al.*, 2019).

Existem diferentes soluções para a redução de vazamentos nas redes de distribuição de água. Uma técnica para a redução de vazamentos é o gerenciamento da pressão, que considera a relação direta entre vazamento e pressão (NAZIF *et al.*; 2010; NICOLINI; ZOVATTO, 2009). Isto porque a pressão da tubulação afeta o vazamento de várias maneiras, e o gerenciamento da pressão pode realizar uma redução substancial no vazamento. Quanto menor a pressão, menor a freqüência de quebras de tubulações. Além disso, flutuações freqüentes de pressão podem causar falhas de fadiga em tubulações, particularmente com tubulações plásticas (HUNAIDI; WANG, 2006).

4.2.2 Falta de monitoramento

As conseqüências de vazamentos imprevistos e em larga escala na operação de redes de água podem ser altamente graves. Portanto, há necessidade de um sistema de monitoramento

automático capaz de detectar e identificar vazamentos em estágios incipientes (HOLNICKI-SZULC; KOLAKOWSKI; NASHER, 2005). O monitoramento é um dos passos mais importantes para o controle avançado de sistemas dinâmicos complexos, logo, a falta do mesmo é um fator que impacta demais no volume de água perdida através dos vazamentos. Informações precisas sobre o comportamento dos sistemas, incluindo indicação de falhas, permitem um controle eficiente (DUZINKIEWICZ *et al.*, 2008).

Muitos estudos têm sido feitos com o objetivo de reduzir vazamentos e melhorar os serviços (ABU-SHAMS; RABADI, 2003). Entretanto, o problema da redução de vazamentos como um todo é complexo e requer ações coordenadas em diferentes áreas da gestão da rede de água, tais como a detecção e reparo direto de vazamentos existentes, programas gerais de reabilitação de tubulações e controle de pressão operacional, ou seja, um eficiente sistema de monitoramento (MORAIS; ALMEIDA, 2007). Enquanto os tubos são projetados e construídos para manter sua integridade, é difícil evitar vazamentos completamente em um sistema de tubos durante toda sua vida útil. Muitas vezes, a detecção precisa de vazamentos, que permite uma resposta rápida, é necessária para minimizar os danos (WANG *et al.*; 2002).

Segundo Lambert (1994) a perda de água tratada ocorre devido a vazamentos e transbordamentos das tubulações pressurizadas e acessórios dos sistemas de distribuição de água e das tubulações de abastecimento privado dos clientes. Cada vez mais, a perda de água por vazamento é reconhecida como um dos principais desafios enfrentados pelas operações do sistema de distribuição de água. A consideração da perda de água ao longo do tempo à medida que os sistemas envelhecem, as redes físicas crescem e os padrões de consumo amadurecem deve ser parte integrante de um gerenciamento efetivo de ativos (GIUSTOLISI; SAVIC; KAPELAN, 2008). Para isso, o uso de ferramentas de planejamento e gestão para o monitoramento da água em ambientes urbanos tornou-se uma área de estudo promissora (TABESH; SHIRZAD; AREFKHANI, 2014).

Milhares de tubos, conexões e equipamentos dos sistemas de redes de distribuição de águas são substituídos todos os anos no mundo inteiro. Devido a se deteriorarem ao longo do tempo e aliados a fatores internos e externos que vão desde excesso de pressão, sobrecarga causada pelo tráfego e falta de monitoramento, ficam sujeitas a maiores índices de rompimento e suspensão do abastecimento (CHRISTODOULOU *et al.*; 2010).

4.2.3 Demais fatores

Há muitas causas possíveis de vazamentos, e muitas vezes uma combinação de fatores leva a sua incidência. Os fatores que podem contribuir para vazamentos em tubulações incluem os seguintes: o material, composição, idade e métodos de união dos componentes do sistema de distribuição; corrosão e deterioração das tubulações; pressões elevadas na rede de água; características e movimento do solo. As condições da água, incluindo a temperatura, velocidade e pressão, também são um fator (ARREGUÍN-CORTES; OCHOA-ALEJO, 1997).

Além disso, a manutenção inadequada dos sistemas de abastecimento de água tem sérias conseqüências. Especialmente hoje em dia, quando a sociedade se depara com cenários de grave escassez de água, a busca por possíveis soluções para minimizar este problema através de uma estratégia específica para o gerenciamento de perdas é necessária (MORAIS; ALMEIDA, 2007).

De acordo com Trojan e Morais (2012) os problemas encontrados na gestão da manutenção do abastecimento de água são indicados pela falta de modelos de apoio à decisão que dão a um gerente uma visão geral do sistema. A partir desta afirmação, este documento visa analisar ações preventivas relacionadas à manutenção da rede de abastecimento de água para controlar as perdas de água e construir um portfólio das melhores ações.

Nišić *et al.* (2004) citam que grandes redes de distribuição de água são menos sensíveis quando sujeitas há um rompimento ou vazamento em que a ordem da perda de água seja próxima a do consumo, o que resulta num tempo maior de reparo e conseqüentemente maior será a perda de água. Uma forma de minimizar tal fato é o monitoramento de mais propriedades do sistema de distribuição, o que acarreta uma maior oneração. Para minimizar o custo de monitoramento se faz necessário a determinação de um tamanho ideal para uma rede de distribuição de água de aproximadamente 250 pontos de consumo.

Com a otimização da rede, há uma tendência de redução de custos, porém, se aplicado sem uma análise correta, poderá ocorrer em casos de falhas, situações em que a rede se torne incapaz de suprir sua demanda. Aliado a isso, incertezas da estrutura da rede como falta de dados, tipo do material implantado bem como seu diâmetro após intervenções na rede afetam a confiabilidade do sistema (FARMANI; WALTERS; SAVIC, 2005). A falta de um cadastro das redes de distribuição de água também contribui para o aumento das taxas de desperdício dos recursos hídricos. É notório que informações referentes a rugosidade da tubulação bem como dados de pressão são por vezes desconhecidos devido a precariedade das informações, tornando

o processo de monitoramento da rede menos eficiente contribuindo para um maior volume de perdas de água (SILVA, 2003).

Numa rede de distribuição de água na cidade costeira de Konyaalti, sul da Turquia, por meio da modelagem matemática e aplicação de modelos estatísticos para predição de falhas com o auxílio do EPANET (Rossman 2000), foi possível obter os valores de pressão e vazão da rede. A resposta da simulação orientou os locais onde deveriam ser instalados os dispositivos para a manutenção da faixa de pressão nos locais em que a rede não atendia os parâmetros normativos tornando assim pontos potenciais de falhas (KARADIREK *et al.*; 2012).

4.3 Uso da análise estatística

Com o intuito de se obter uma prévia do funcionamento de uma rede e para analisar suas características e vários problemas de operação bem como rupturas, o ato de modelar um sistema de distribuição de água é bem difundido tanto na indústria como no meio acadêmico. Softwares como o EPANET, são utilizados para este fim. Atualmente estudos abordam a utilização do EPANET (Rossman 2000) acoplado a outras linguagens de programação bem como o uso de ferramentas estatísticas para se obter uma melhor resposta da modelagem (ARANDIA; ECK, 2018).

A análise estatística dos dados obtidos nas tentativas de otimizações de redes de distribuição bem como nas tentativas de se preverem futuras quebras e possíveis desabastecimentos no sistema é uma importante ferramenta. Por vezes os resultados obtidos apresentam grandes variações e a análise estatística da aleatoriedade destes dados auxilia para uma maior probabilidade de resposta fidedigna (MELIA *et al.*; 2013).

Snider e McBean (2020) citam que os modelos estatísticos comparados com os modelos físicos, são menos honorosos e demandam menos tempo, sendo assim uma importante ferramenta quando há escassez de recursos.

Chen e Guikema (2020) citam que o uso de análises estatísticas é uma importante ferramenta para o tratamento os dados de entrada na análise de redes de distribuição de água.

Christodoulou *et al.* (2010) citam que as pesquisas relacionadas ao tema de controle de perdas de água fazem uso de relações estatísticas nos dados obtidos do monitoramento bem como nos dados externos ao sistema no intuito de tentarem prever possíveis pontos de ruptura do sistema. Tornando assim uma importante ferramenta que irá auxiliar nas decisões dos gestores.

O uso de análises estatísticas segundo Sægrov *et. al* (2003) e Cannarozzo *et al.*; (2006) auxilia na tomada de decisão, sendo um ponto de partida e fornecendo um conjunto de informações que podem gerar um cenário de menor custo de implementação, manutenção e reparo do sistema, seja no presente ou mesmo num horizonte de até 20 anos. Nesta mesma linha, Xu *et al.*, (2018) e Nam *et al.*; (2019) salientam que as técnicas estatísticas computacionais aparecem como uma importante ferramenta para um melhor tratamento dos resultados obtidos no monitoramento dos sistemas de distribuição. Dados como vazão e pressão obtidos através do monitoramento da rede são utilizados nestas análises e os resultados demonstram que comparados aos sistemas de intervenção convencionais há uma melhora no tempo de resposta.

Na tentativa de melhorar a resposta das análises estatísticas, faz-se uso de linguagens de programação e por vezes em conjunto programas como o EPANET (Rossman 2000) que darão uma melhor estruturação na análise estatísticas dos dados. No meio acadêmico, a utilização da linguagem R está sendo vastamente utilizada, desde o tratamento de dados de grandes variações temporais e espaciais bem como uma análise do desempenho das redes de distribuição de água podem ser melhor representados e interpretados utilizando linguagens acopladas ao EPANET (Rossman 2000; LUBOMIR; CELAR, 2016). A linguagem R é de código aberto e compatível com as mais importantes plataformas como Windows, Linux MacOS, via CRAN que é o arquivo oficial de pacotes R, vários pacotes adicionais estão disponíveis (SUZUKI; SHIMODAIRA, 2006).

Fazendo um levantamento do estado da arte pode se constatar que estudos se baseavam no consumo de água como uma distribuição normal, porém, o consumo de água é flutuante e situações como fatores climáticos, falhas mecânicas na rede, situação econômica dentre outros podem e levam a um consumo em que sua distribuição não seja normal. Ao introduzir uma análise de natureza probabilística no estudo é possível modela-lo de forma mais próxima da realidade (SURENDRAN; MAHARAJ, 2018).

5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A composição dos metadados se dá por pesquisas que estudam a rede de distribuição de água como um todo, abordando temas como qualidade da água, otimização do sistema, ampliação da rede de abastecimento, análise biológica, controle de perdas de água e etc. Assim, uma análise mais ampla será alcançada auxiliando não apenas pesquisadores que focam no combate a perdas de águas.

5.1 Dados

Em um primeiro momento de análise dos dados, o volume total de metadados constituído por 4150 documentos serão utilizados.

5.1.1 Produção científica geral do tema

O Quadro 1 apresenta uma visão geral dos documentos que constituem os metadados.

Quadro 1 – Principais informações sobre os metadados

Descrição	Resultados
Período	1966/2020
Fontes	1323
Documentos (artigos, livros, congressos, etc.)	4150
Média de anos que um artigo é citado	9,24
Média de citações por documento	14,04
Referências	62907
Palavras-chave dos periódicos	3573
Palavras-chave dos autores	7658
Autores	8723
Autores de documentos com autoria única	226
Autores de documentos com coautorias	8497
Documentos de autoria única	295
Autores por documento	2,10
Índice de colaboração	2,20

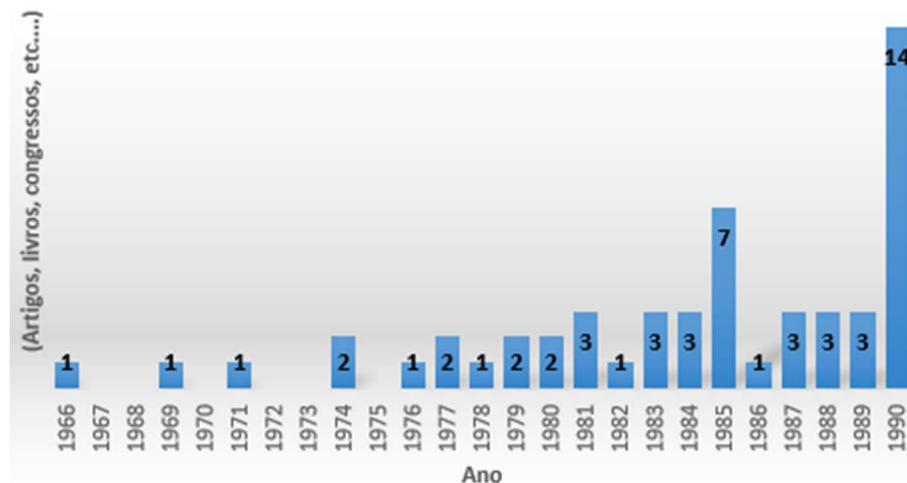
Fonte: autor

O Quadro 1 traz um panorama geral dos metadados composto por 4150 documentos, os quais podem ser artigos, livros, congressos, etc. Um total de 8723 autores realizaram a produção de 4150 documentos no intervalo de tempo entre 1966 a setembro de 2020, com uma média de anos que um artigo é citado de 9,24, ou seja, este número é uma média do tempo em que cada documento recebe citações em anos após a sua publicação. Há também a média de citação anual por documento de 14,04 e um índice de colaboração de 2,20 que é a média de autores por artigo dos documentos que possuem coautoria. É possível perceber que o número de autores de documentos com autoria única que totalizam 226 é bem inferior ao de autores de documentos com coautorias de 8497, o que pode ser entendido como uma área em que o tema se torna cada vez mais relevante e por isso o empenho e a colaboração dos pesquisadores da área.

Embora a média de citações destes documentos ainda seja pequena é observado um crescimento das pesquisas referente ao tema ao longo dos anos o que pode ser notado nas Figuras 7 e 8 que apresentam o número de publicações anuais.

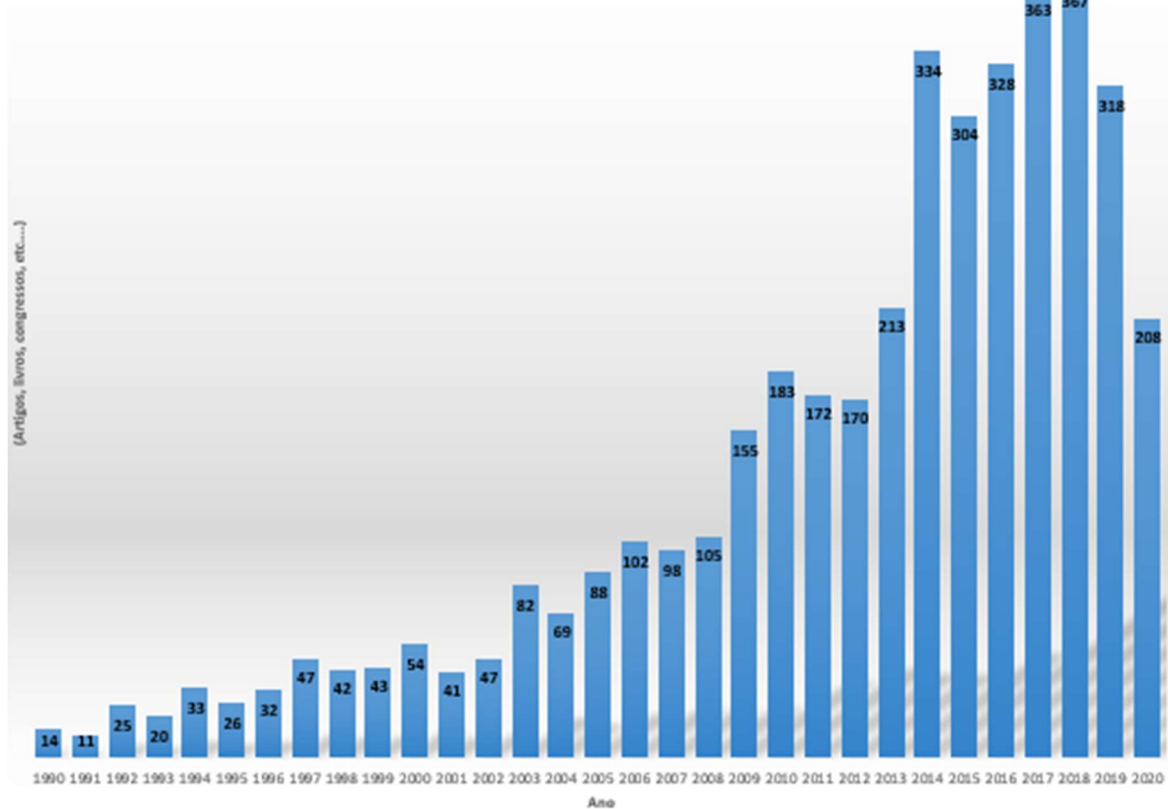
As Figuras 7 e 8, apresentam a produção científica referente ao tema de redes de distribuição de água que começaram a ter uma maior relevância no início da década de 90.

Figura 7 – Produção científica anual geral de 1966 a 1990



Fonte: Autor

Figura 8 – Produção científica anual geral de 1990 a 2020



Fonte: Autor

Desde a primeira publicação no ano de 1966 até o ano de 1990, houve pouca produção científica relacionada ao tema, com uma produção total de 54 documentos, sendo eles artigos, livros, congressos, etc. Ainda analisando o período supracitado, o ano de 1990 foi o de maior produção científica com 14 publicações, conforme apresentado na Figura 7.

A taxa de crescimento anual a partir da década de 90 conforme demonstra a Figura 8 indica que o tema começa a ter uma maior relevância científica, obtendo números cada vez maiores de publicações e pesquisas realizadas na área.

5.1.2 Produção científica de artigos ao longo dos anos

O Quadro 2 é resultado do tratamento dos metadados e que leva em consideração apenas os artigos que totalizam 2779 documentos dos 4150 iniciais.

Quadro 2 – Informações dos artigos

Descrição	Resultados
Período	1966/2020
Fontes	642
Artigos	2779
Média de anos que um artigo é citado	7,85
Média de citações por documento	18,01
Referências	50219
Palavras-chave dos periódicos	3153
Palavras-chave dos autores	5964
Autores	6545
Autores de artigos com autoria única	132
Autores de artigos com coautorias	6413
Documentos de autoria única	165
Autores por documento	2,36
Índice de colaboração	2,45

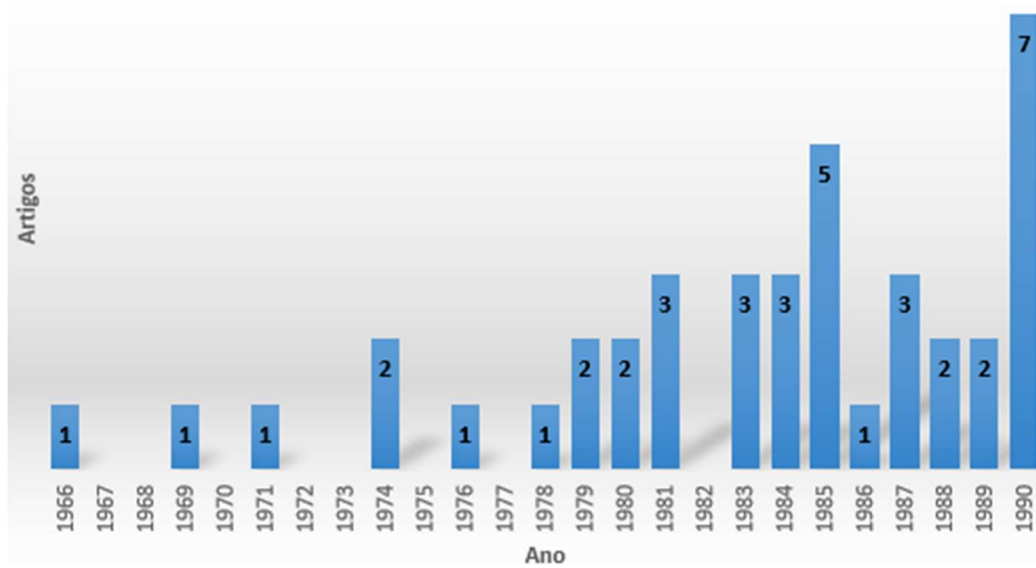
Fonte: Autor

O Quadro 2 apresenta uma visão geral entre os anos de 1966 a setembro de 2020 e aponta que 6545 autores produziram 2779 artigos distribuídos da seguinte forma, 165 artigos em autoria única e 2614 com coautorias. Obtendo uma média de anos que um artigo é citado de 7,85 e uma média de citação anual de 18,01 com um índice de colaboração de 2,45.

As figuras 9 e 10 demonstram como se deu a produção científica em dois espaços de tempo, apontando uma clara mudança no cenário de realização de pesquisas.

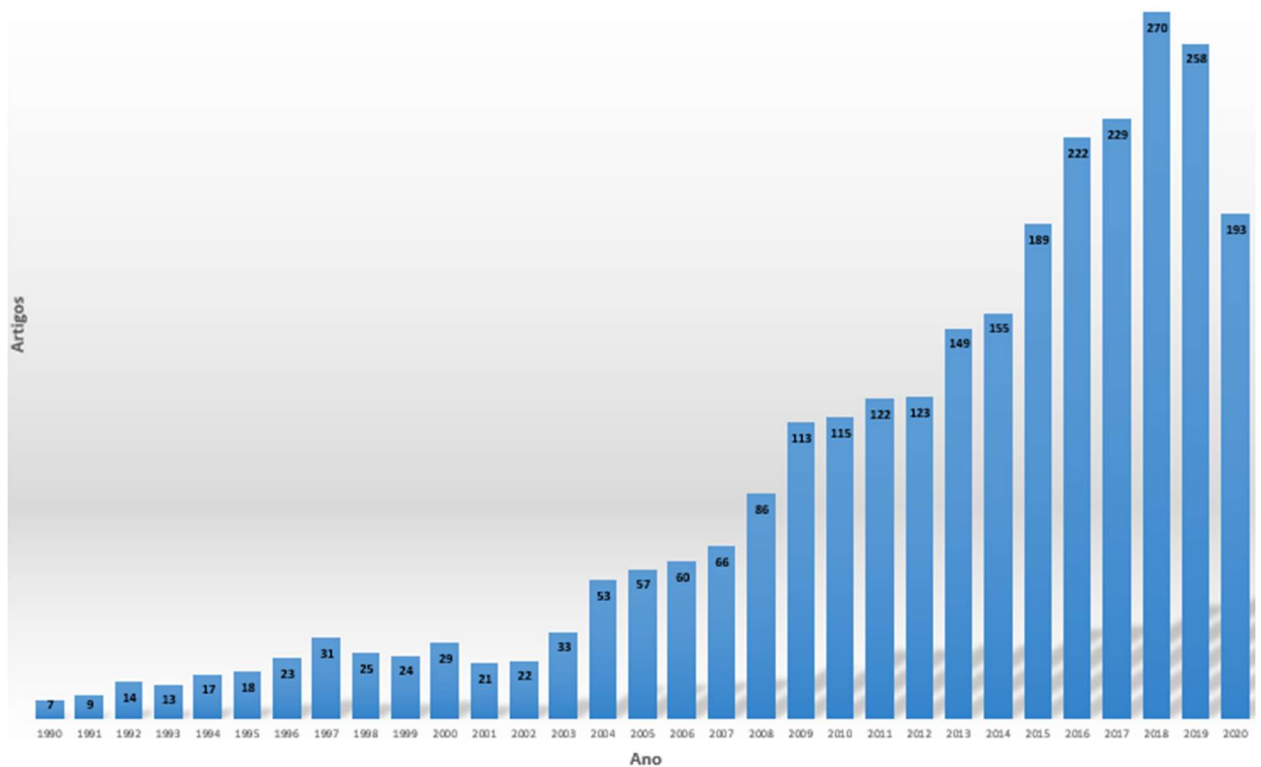
Analisando a Figura 9, é possível notar que desde o primeiro artigo publicado referente ao tema no ano de 1966 até o ano de 1990, não houve um grande volume de pesquisas relacionadas ao tema de redes de distribuição de águas, tendo o ano de 1990 com 7 artigos publicados o ano de maior produção.

Figura 9 – Produção cinetífica dos artigos de 1966 a 1990



Fonte: Autor

Figura 10 – Produção cinetífica dos artigos de 1990 a 2020



Fonte: Autor

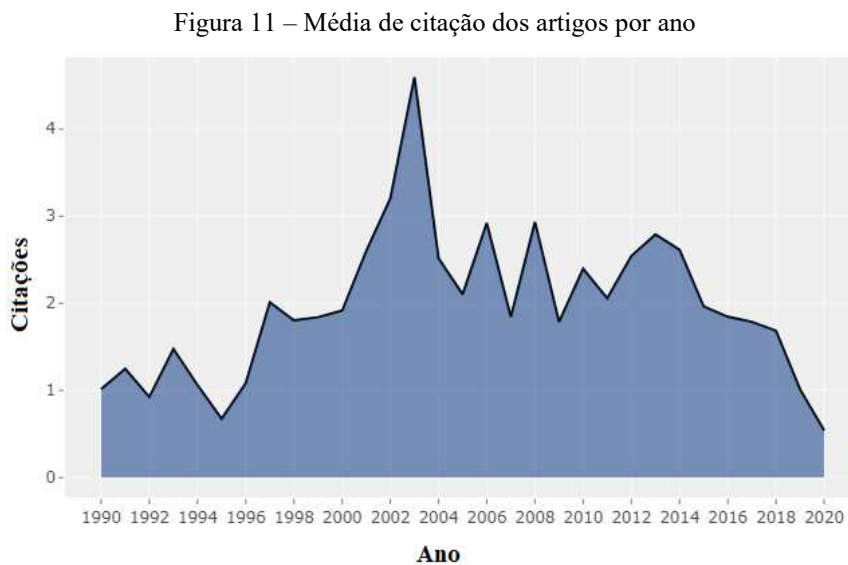
No entanto, de acordo com a Figura 10, a partir da década de 90 nota-se que o volume de pesquisas cresceram de forma significativa, como uma taxa de crescimento anual de 11,69%, mostrando que a área de estudo começa a obter uma relevância científica e a ciência começa a

demandar cada vez mais esforços para estudos e pesquisas nos sistemas de redes de distribuição de águas, o que vai ao encontro da pesquisa realizada por Vítkovský, Simpson e Lambert (2000).

Ainda analisando a Figura 10, verifica-se que no ano de 2018 foi alcançado o maior volume de produções científicas sobre o tema com um total de 270 publicações. Em 2019 o volume reduziu para 258. Já no ano de 2020 até setembro que foi o mês de realização da pesquisa, um total de 193 artigos foram publicados. Acredita-se que o número de publicações de artigos atinja um maior volume no presente ano devido aos meses restantes.

5.1.3 Média de citações por ano

A Figura 11 apresenta a média de citação dos artigos entre 1990 e 2020.



Fonte: Autor

De acordo com o que foi apresentado nos itens 4.1.1 e 4.1.2, a década de 90 é o início do maior volume de produção científica referente ao tema aqui abordado, logo a pesquisa adotará como intervalo de tempo para análise dos dados o início do ano de 1990, bem como irá realizar as análises apenas sobre os artigos publicados.

Analisando a Figura 11, é possível notar que a média de citações dos artigos por ano é relativamente muito baixa, tendo no ano de 2003 o pico de citações médias que foi 4,9 e no ano de 1995 com a pior média de citação anual de 0,7.

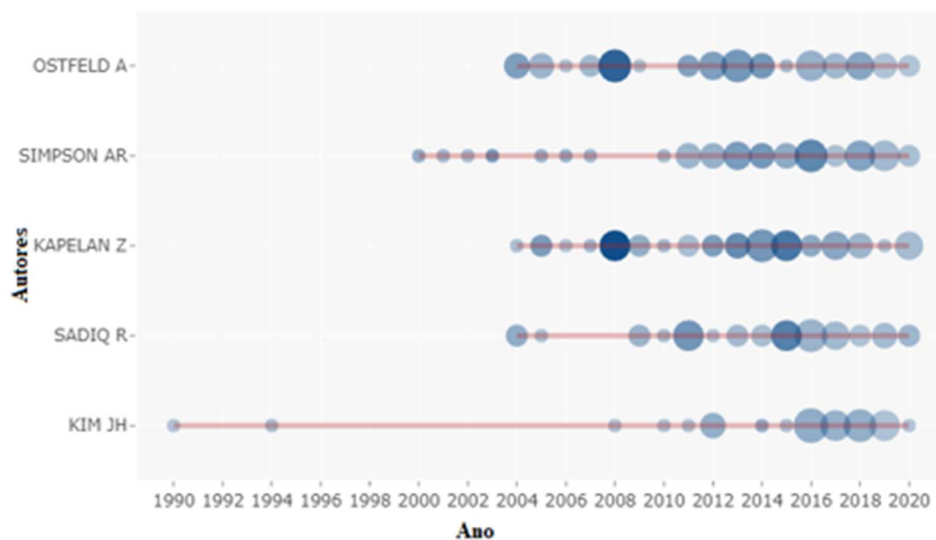
Este é um indicativo de que embora haja um crescimento significativo de publicações ao longo dos anos, ainda há pouco esforço denotado na área de estudo. Mostrando que mais pesquisas devem ser desenvolvidas, visto que o tema possui relevância social, ambiental e econômico.

5.2 Autores

5.2.1 Autores mais produtivos e mais citados

A Figura 12, apresenta os cinco autores mais produtivos e mais citados desde a década de 90, o período para análise foi escolhido em função do crescimento científico a cerca do tema abordado na pesquisa como relatado na análise dos dados.

Figura 12 – Produção dos principais autores ao longo do tempo



Fonte: Autor

O autor Kim Jh tem uma produção total de 34 artigos no período abordado e em 2016 obteve seu ano de maior produção científica com 7 artigos publicados e de todo o período analisado dos cinco autores foi quem mais produziu num único ano. Ostfeld A, nos anos de 2008 e 2013 publicou 6 artigos, e é o que mais produziu desde a década de 90 com um total de 51 artigos publicados. Sadiq R também publicou 6 artigos em 2016 e tem um volume de 38 artigos no período abordado. Kapelan Z, publicou o mesmo volume de 6 artigos em 2014 e conta com 45 artigos publicados ao todo. Simpson R, têm seis artigos publicados em 2016 e uma produção total de 44 artigos.

Com relação ao número de citações o autor mais citado é Kapelan Z com 41,46 citações no ano de 2008, seguido por Ostfeld A, com 34,23 citações também no ano de 2008, Sadiq R, no ano de 2015 obteve 23,67 citações, Simpson AR, no ano de 2016 foi citado 21,4 vezes e Kim Jh, foi o menos citado, tendo no ano de 2016 o total de 8,4 citações.

Para a identificação de mais autores relevantes, ver apêndice A.

5.2.2 Autores com maiores fatores de impacto

O Quadro 3 apresenta os cinco autores que possuem os maiores índices, os autores aqui relacionados são também o mais produtivos conforme demonstrado no item 5.2.1 que analisou o volume de produção e citação científica.

Quadro 3 – Fator de impacto dos principais autores

Autores	Índice h	Índice g	Citação global	Citação local
OSTFELD A	21	37	1434	406
SIMPSON AR	20	38	1490	145
KAPELAN Z	17	38	1478	157
SADIQ R	15	25	701	116
KIM JH	8	17	319	37

Fonte: Autor

Analisando o Quadro 3 e levando em consideração apenas o número total de citações, seria correto dizer que o autor Ostfeld A, seria o pesquisador com os melhores índices. Contudo, as citações locais são mais importantes do que as citações totais, pois a local é citada por pesquisadores de área correlata. Já a citação total geralmente é feita quando se quer apenas introduzir um tema.

Como uma forma de se contabilizar a produção científica dos pesquisadores alguns índices foram criados, como o índice h por Hirsch (2005) o índice g por Egghe (2006). Há que se fazer uma análise mais criteriosa, pois cada índice é calculado de uma forma diferente e um simples olhar quantitativo não seria uma avaliação correta.

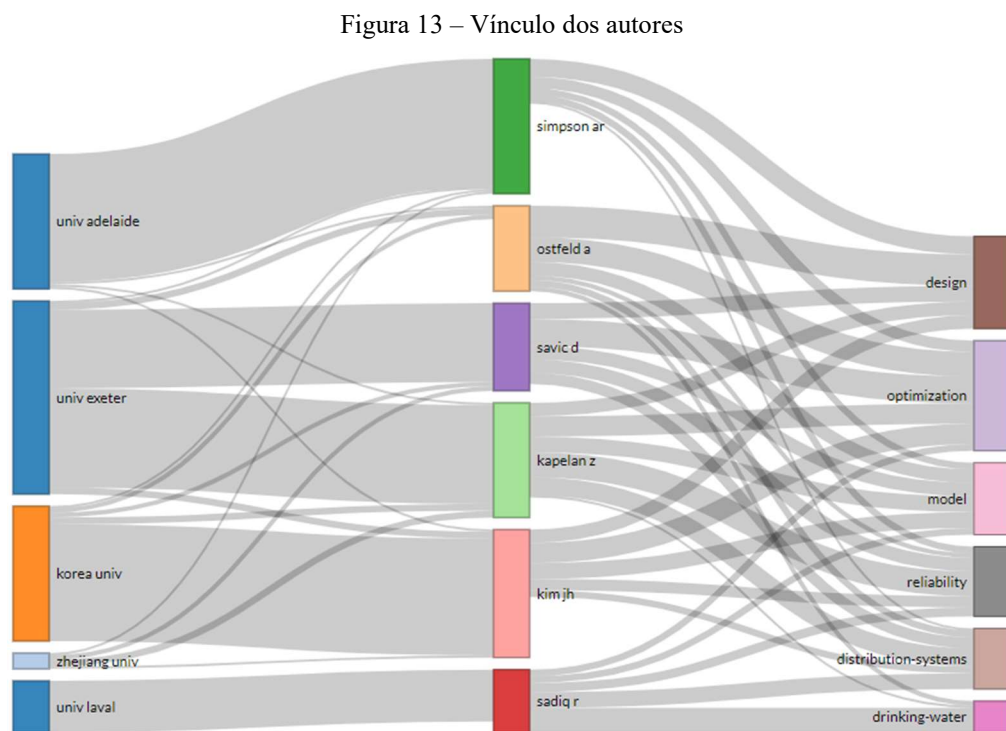
O índice h é obtido através dos artigos mais importantes que receberam citações igualmente importantes, pois são contabilizados os artigos h que receberam no mínimo o mesmo número de h citações. O índice g apresenta um número pelo menos igual ou maior do que o índice h, pois ele busca dar um peso maior aos artigos mais citados, neste índice, apenas os artigos mais relevantes são contabilizados. A obtenção do índice m ocorre pela divisão do índice h sobre o número de anos em que o pesquisador foi ativo.

O autor Ostfeld A é segundo critérios de citações e índices o autor de maior relevância, destaque para o índice g em que foi o único critério que o autor não obteve o maior índice. Simpson Ar e Kapelan Z vêm logo em seguida, há que se destacar que em alguns critérios a ordem dos autores poderia ser diferente, contudo, o índice h é o de maior aceitação entre o meio

científico e por isso a ordem no quadro 4 é a correta. Sadiq R e Kim Jh são os menos produtivos entre os cinco mais e sua ordem de acordo com o quadro 4 segue coerente sem ressalva a ser feita.

5.2.3 Tema de pesquisa dos autores mais produtivos

A Figura 13 apresenta o vínculo entre os autores, as afiliações e os temas de pesquisas desenvolvidos de acordo com as palavras-chave dos periódicos.



Fonte: Autor

A camada esquerda de dados da Figura 13 indicam as Afiliações em que foram desenvolvidas as pesquisas, a camada do meio apresenta os seis autores mais produtivos e citados e a camada da direita demonstra quais são as Keywords plus selecionadas pelos autores em suas pesquisas no momento de submeter seus artigos.

Analisando a figura, fica evidente que a produção científica dos autores possuem o mesmo foco, tendo em linhas gerais as redes de distribuição de água como principal tema de pesquisa com abordagens que vão desde design e otimização até a qualidade da água distribuída e tratada.

O autor Simpson Ar possui produções científicas em sua maioria com a Afiliação de Adelaide na Austrália tendo um maior foco de pesquisa com os temas de design e otimização de sistemas de distribuição de água visando um sistema mais resiliente.

Ostfeld A realiza pesquisas com as Afiliações de Adelaide, Exeter e Korea, produzindo artigos sobre sistemas de distribuição de água estudando temas como design, otimização e modelagem, focando em sua maioria na identificação de contaminação de água.

Kapelan Z junto a Afiliação de Exeter na Inglaterra tem o seu maior volume de pesquisas desenvolvidas, com os seis temas apresentados na Figura 13, focando em áreas como qualidade da água do sistema, previsão de demanda, elaboração de rede com menor custo, controle de perdas de água e influência de fatores externos no índice do volume de perda de água.

O pesquisador Kim Jh tem seu maior vínculo com a Afiliação da Korea e realiza pesquisas em sistemas de distribuição de água através da aplicação de algoritmos genéticos multiobjetivos para a otimização dos sistemas em função do monitoramento de pressão, menor custo do sistema, previsão de demanda, etc....

Por fim, o autor Sadiq R na Afiliação de Laval no Canadá realiza pesquisas que estudam redes de distribuição de água e aborda temas que vão desde a contaminação e qualidade da água no sistema, até a obtenção de uma rede resiliente.

Para uma visão geral da forma como estes autores trabalham em colaboração ver apêndice B.

5.3 Documentos

5.3.1 Os cinco artigos mais citados

O Quadro 4 apresenta os cinco principais artigos e seus respectivos autores em função do número de citações.

Quadro 4 – Documentos mais citados

Documento	DOI	Ano	Citação global	Citação local
Savic e Walters (1997)	10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:2(67)	1997	495	155
Prasad e Park (2004)	10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:1(73)	2004	304	151
Ostfeld <i>et al.</i> ; (2008)	10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:6(556)	2008	284	108
Maier <i>et al.</i> ; (2003)	10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(200)	2003	277	88
Eusuff e Lansey (2003)	10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(210)	2003	703	87

Fonte: Autor

Analisando o Quadro 4, pode vir a mente de que a ordem dos artigos mais citados não está correta pois o documento do pesquisador Eusuff e Lansey (2003), obteve um total de 703 citações globais. Contudo, as citações locais são as que realmente importam quando o pesquisador quer citar em sua pesquisa artigos de relevância no tema proposto. Logo, a pesquisa desenvolvida por Savic e Walters (1997) é a de maior relevância.

Savic e Walters (1997) desenvolveram o modelo computacional GANET com a aplicação de algoritmos genéticos e técnicas estatísticas baseadas no modelo de Monte Carlo. O objetivo é a elaboração de redes de distribuição de água com o menor custo possível bem como auxiliar na expansão de redes já existentes.

A pesquisa foi desenvolvida sobre redes de distribuição de água já estudadas anteriormente, assim é possível comparar o desempenho do método com o resultados das pesquisas já realizadas. Foi abordado também temas como, setorização e otimização. Logo, a pesquisa se mostra relevante contemporaneamente, mesmo sendo datada no ano de 1997.

Prasad e Park (2004) aplicaram a técnica de algoritmo genético em uma rede de distribuição de água com duas funções objetivo que são, a minimização do custo em função dos componentes do sistema e o aumento da resiliência da rede, que em caso de falhas continuará a ter seu abastecimento contínuo impactando minimamente os demais pontos da rede. O conceito da frente de Pareto foi aplicada no intuito de se chegar a melhor solução possível.

Ostfeld *et al.*; (2008) aplicaram algoritmos genéticos e modelos estatísticos como o de Monte Carlo em dois sistemas distintos e reais de abastecimento de água, na oitava análise anual de sistemas de distribuição de água em Cincinnati no ano de 2006.

O objetivo dos pesquisadores era a identificação de pontos para a instalação de sensores de monitoramento de qualidade da água visando a minimização do tempo esperado de detecção, a menor população afetada esperada antes da detecção, menor demanda esperada de contaminados pela água antes da detecção e maximização do probabilidade de detecção.

Maier *et al.*; (2003) aplicaram técnicas de algoritmos genéticos e um algoritmo de colônia de formigas em dois sistemas de distribuição de águas já estudados pela literatura. A escolha destas redes já estudadas visa avaliar o desempenho do algoritmo baseado em colônias de formigas.

Ambos os modelos apresentaram resultados semelhantes, porém o algoritmo baseado na colônia de formigas obteve melhor desempenho computacional chegando a solução ótima em um volume bem menor de interações. Contudo, após os resultados serem analisados pelo EPANET 2.0, ficou constatado que o modelo final não poderia ser aplicado pois não atende ao mínimo de pressão de serviço.

Eusuff e Lansey (2003) aplicaram técnica de algoritmos genéticos e algoritmos baseados na memética natural dos sapos para a otimização de redes de distribuição de água na determinação do diâmetro das tubulações. A pesquisa foi realizada em redes já estudadas como a Hanói, assim é possível comprar a eficiência do método. Da mesma maneira que Maier *et al.*; (2003) o modelo baseado na memética natural dos sapos obteve uma solução ótimo num volume bem menor de interações e utilizou o EPANET como solucionador hidráulico de rede.

Os cinco documentos brevemente descritos trabalharam com a aplicação de algoritmos genéticos e variações de modelos estatísticos, visando a otimização das redes estudadas. Temas que estão em evidência hoje na área de redes de distribuição de água mantendo estes pioneiros estudos relevantes atualmente.

5.4 Periódicos

5.4.1 Os cinco principais periódicos

O Quadro 5 apresenta os cinco principais periódicos, apontando seus índices de desempenho, número de citações e volume de artigos publicados, sendo estes dois últimos indicadores o critério para a definição do periódico de maior relevância.

Quadro 5 – Periódicos mais relevantes

Periódicos	Índice h	Índice g	Citação global	Citação local	Nº de artigos
Journal of water resources planning and management	35	61	5198	3360	265
Water research	45	65	5136	1767	131
Water resources management	24	36	2012	1399	117
Water	10	16	383	135	90
Water science and technology-water supply	11	15	413	292	81

Fonte: Autor

O periódico Journal of water resources planning and management possui os índices h, g e m menores que os demais periódicos, contudo, seu volume de publicação de artigos e citações recebidas são superiores aos demais e por isso é o mais relevante entre os cinco citados.

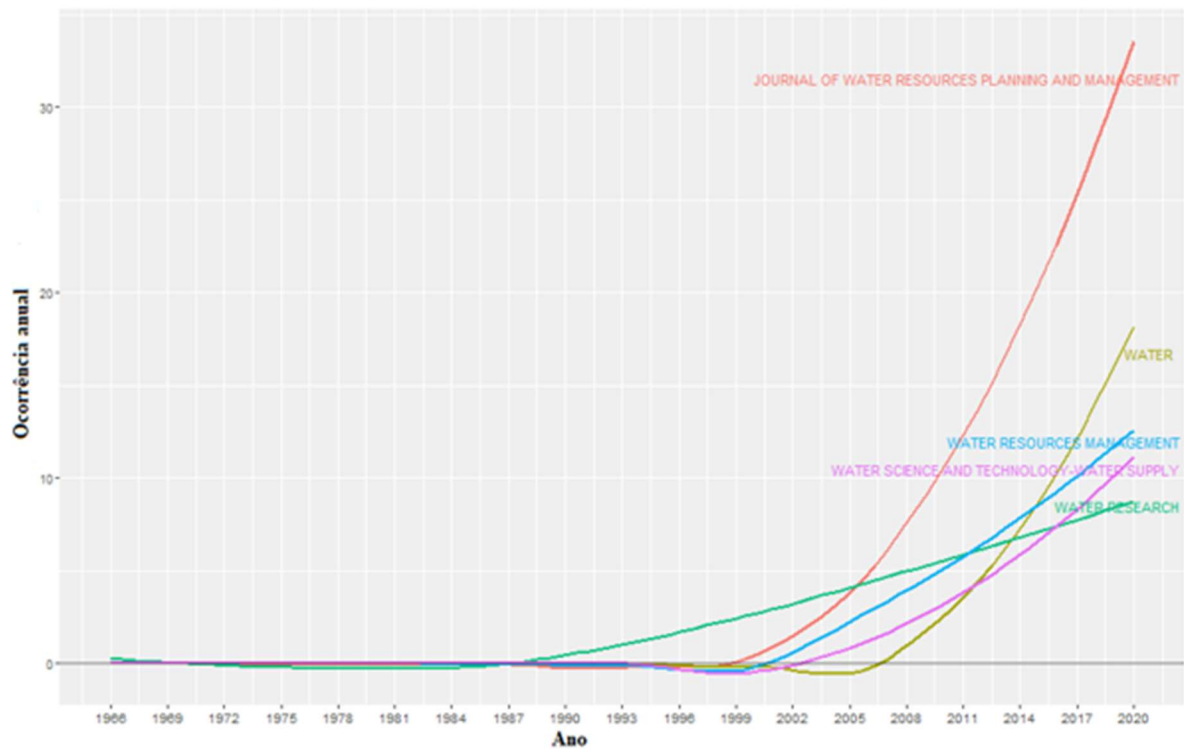
O periódico Water research possui os melhores índices entre os cinco, porém, seu volume de produção e citação é menor que o periódico citado acima e por isso é o segundo mais relevante.

Analisando os demais periódicos apresentados no quadro 6, é possível notar que há uma variação significativa entre seus índices, o mesmo acontece com os dois mais importantes, contudo, seus números de citações e publicações de artigos seguem uma ordem lógica e como são os fatores principais aqui analisados, determinam a classificação dos periódicos citados.

5.4.2 Dinâmica dos periódicos

A Figura 14, demonstra o desenvolvimento da importância do periódico ao longo dos anos.

Figura 14 – Crescimento dos periódicos ao longo dos anos



Fonte: Autor

Na Figura 14 também fica evidente que a década de 90 é o divisor do volume de produções científicas referentes ao tema de redes de distribuição de água. Nota-se que desde o ano de 1966 até o ano de 1990 os cinco periódicos possuem uma mesma média de desempenho produtivo.

No início da década de 90 até o ano de 2005, o periódico Water research foi o mais relevante, contudo, no presente ano é o menos significativo entre os cinco e a sua linha de crescimento não apresenta uma tendência de mudança do cenário.

O periódicos Water resources management e Water science technology-water supply possuem uma mesma linha de desenvolvimento, tendo o crescimento de suas relevâncias no início do século 21.

O periódico mais importante hoje no tema é o Journal of water resources planning and management se destacando significativamente dos demais, contudo, há de fazer uma ressalva para o periódico Water que até o ano de 2007 era o menos relevante e que a partir do referido ano vem numa rápida crescente conforme demonstrado na sua taxa de crescimento anual.

5.5 Afiliações

5.5.1 Afiliações mais relevantes produtivamente

O Quadro 6 apresenta as cinco afiliações que possuem o maior volume de produção de artigos.

Quadro 6 – Afiliações mais relevantes

Afiliações	Artigos
Universidade de Exeter	109
Universidade de Adelaide	87
Universidade de Zhejiang	87
Universidade da Korea	56
Universidade de Tongji	55

Fonte: Autor

A Universidade de Exeter na Inglaterra é a que possui o maior número de produção científica com um total de 109 artigos publicados. As Universidade de Adelaide na Austrália e Zhejiang na China vêm em seguida e possuem 87 artigos publicados cada. A universidade da Korea é a quarta em volume de publicações com 56 artigos e a quinta mais produtiva é a Universidade Tongji localizada na China com 55 artigos publicados.

5.5.2 Vínculos entres afiliações, periódicos e temas

A Figura 15 demonstra como é a comunicação ou a ligação entre a afiliação, o periódico e o tema.

As Universidades de Exeter, Korea e Zhejiang, possuem publicações nos cinco periódicos listados na Figura 15 e conseqüentemente suas pesquisas abordam os cinco temas apresentados. A Universidade de Adelaide tem como maior vínculo de publicação o periódico *Journal of water resources planning and management* e em menor volume o periódico *water*, mas, mesmo não possuindo publicações nos demais periódicos também aborda os cinco temas apresentados. Por fim, a Universidade de Tongji é a que menos possui publicações e é a única

Figura 15 –Vínculo das afiliações



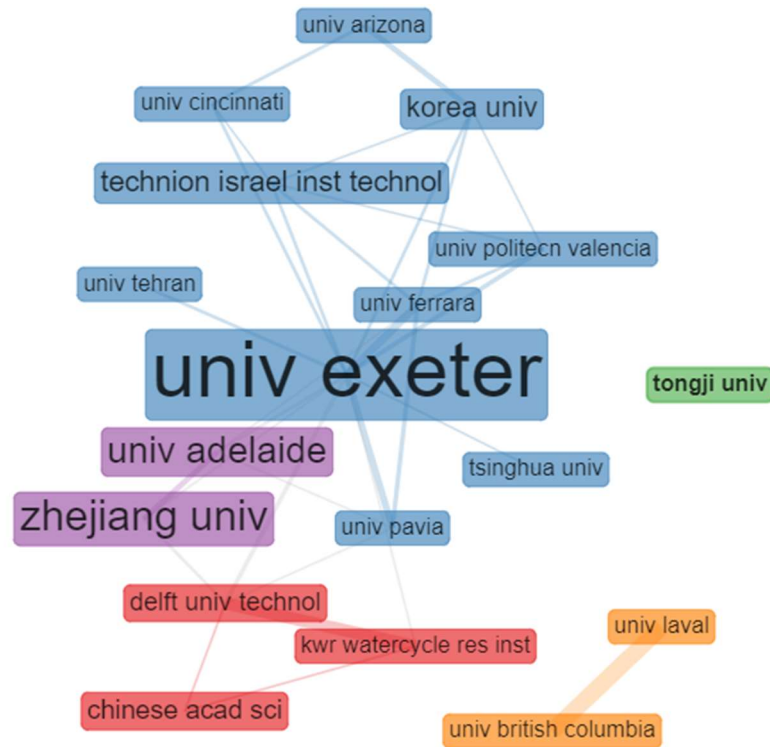
Fonte: Autor

que não possui vínculo com o periódico Journal of water resources planning and management, contudo, desenvolve pesquisa nos cinco temas apresentados na Figura 15.

5.5.3 Rede de colaboração das afiliações

A Figura 16 apresenta como é a colaboração no desenvolvimento e publicação de artigos entre as 18 afiliações mais produtivas no desenvolvimento e publicação de artigos científicos.

Figura 16 – Rede de contribuição das afiliações



Fonte: Autor

A Universidade de Exeter na Inglaterra é a que mais publica artigos e a que possui um maior cluster de colaboração, tendo afiliações de países e continentes diferentes e com universidades relevantes como a Universidade da Korea. As Universidades de Adelaide e Zhejiang praticamente colaboram entre si, possuindo um menor cluster. E a Universidade chinesa de Tongji não possui nenhuma rede de colaboração entre as 18 afiliações mais produtivas.

Para uma visão das 50 afiliações mais produtivas no desenvolvimento e publicação de artigos científicos, ver apêndice C.

5.6 Geográfica

5.6.1 Países mais relevantes

O Quadro 7 apresenta os cinco países mais relevantes em função do número de citação por documento.

Quadro 7 – Países mais relevantes

País	Artigos	Total de citações	Média de citação por artigo
Marrocos	10	267	53,40
Dinamarca	28	457	41,55
Luxemburgo	3	68	34,00
Noruega	26	238	29,75
Israel	93	1629	29,62

Fonte: Autor

Com as maiores médias de citações por documento que foi o critério utilizado para a identificação dos países mais relevantes tem-se o Marrocos como o país de maior relevância com uma média de 53,40 citações por documento, seguido pela Dinamarca com 41,55 citações, Luxemburgo com 34 citações, Noruega com média de 29,75 citações e Israel com uma média de 29,62 citações por documento.

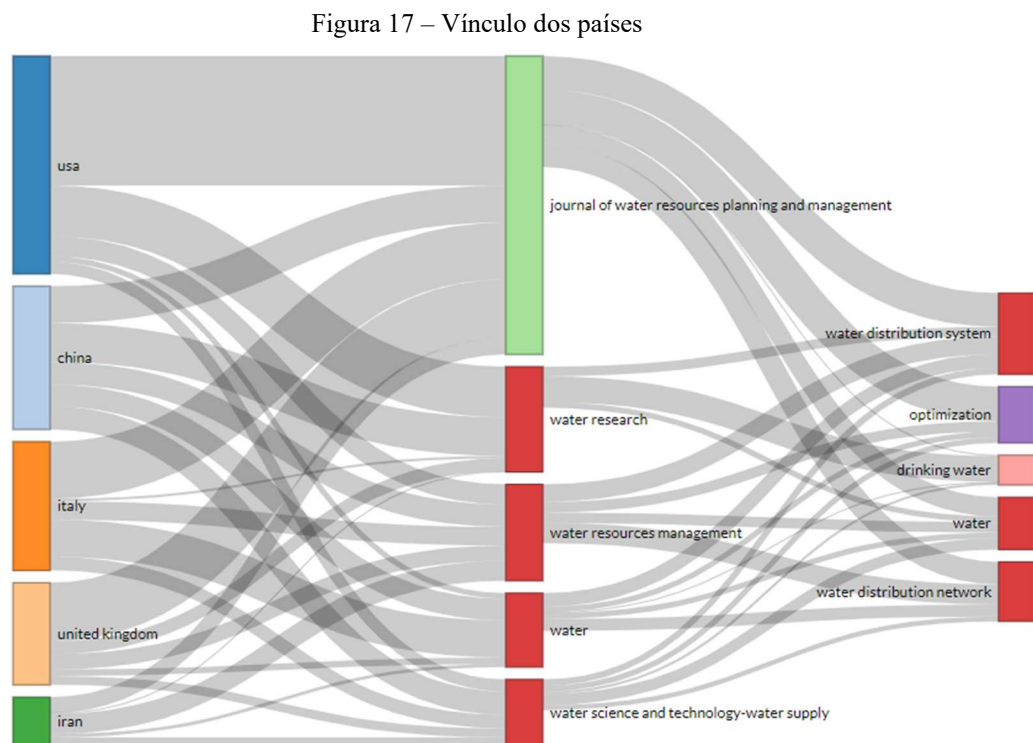
O critério adotado leva em consideração não apenas o total de pesquisas realizadas, mas sim, a importância científica que cada uma representa. Um país muito produtivo não significa necessariamente que suas pesquisas desenvolvidas sejam as mais relevantes. Por produzir muitos artigos, consequentemente o número de citações tende a ser elevado em função do volume, contudo, se o critério para análise for em função da importância de cada pesquisa realizada, países com menores volumes de publicações se tornam muito relevantes e consequentemente precisam ser citados.

Vale ressaltar que se a análise fosse feita apenas com o total de artigos publicados, a classificação seria a seguinte: EUA com um total de 1194 artigos publicados, China com 728 artigos, Itália com 382 publicações, Reino Unido com 345 publicações e o Irã com 338 artigos publicados. Outro critério poderia ser em função do número de citações totais de cada país e

elena os países com a seguinte classificação: EUA com 11995 citações, Reino Unido com 4419, China com 3446, Itália com 3377 e Canadá com 3173 citações.

5.6.2 Vínculo entre países, periódicos e temas

A Figura 17 apresenta os principais periódicos em que os países mais produtivos publicam e quais são os temas destas publicações.



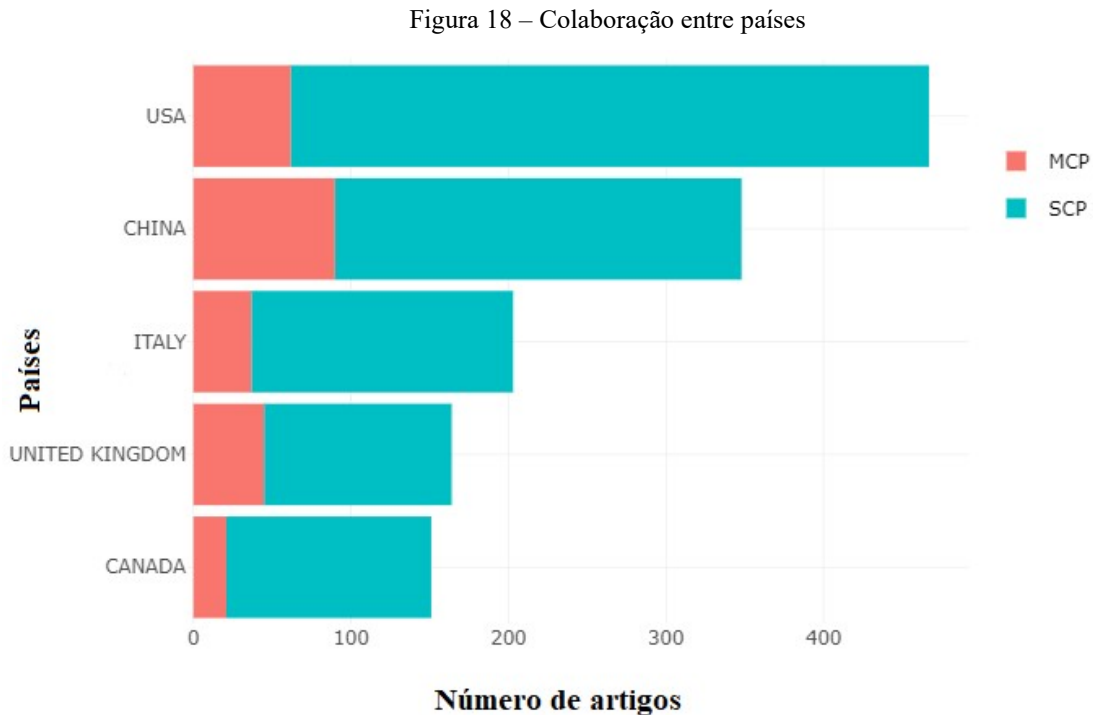
Fonte: Autor

É interessante observar na Figura 17 que cada um dos cinco principais países possuem publicações nos cinco principais periódicos e que há um consenso geral entre os temas abordados por estes periódicos.

Os EUA tem seu maior volume de publicação no periódico Journal of water resources planning and management e aborda os cinco temas apresentados assim como a Itália, o Reino Unido e o Iran. A China é o único país entre os cinco que difere um pouco a sua distribuição de artigos publicados, pois possui quase que um padrão médio de distribuição entre os cinco periódicos citados, mas, assim como os demais, possui publicações nos mesmos temas.

5.6.3 Formas de publicação dos países

A Figura 18 apresenta os documentos por países em que possuem mais de um autor por artigo e que podem ser do tipo SCP que correspondem a publicações em que todos os autores são de mesma nacionalidade e MCP em que apenas um dos autores seja de outra nacionalidade.



Fonte: Autor

Analisando a Figura 18 os EUA possuem um total de 405 artigos no padrão SCP e apenas 62 no padrão MCP, depois China com 258 no padrão SCP e 90 no padrão MCP, em seguida vem a Itália com 166 artigos SCP e 37 MCP, Reino Unido com 119 publicações SCP e 45 MCP e por último o Canadá com 130 artigos SCP e apenas 21 no padrão MCP.

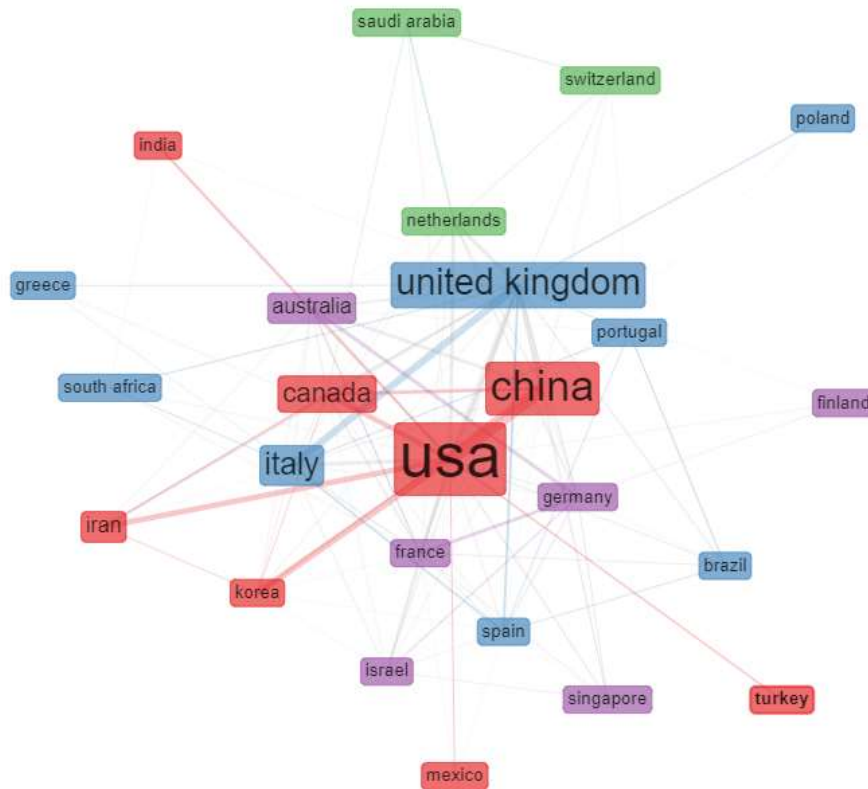
Ainda analisando a Figura 18 fica evidente que os EUA possuem o maior número de produções de artigos, contudo não é o país com o maior índice de colaboração ficando atrás da China que tem uma maior colaboração entre os países, produzindo mais artigos com pesquisadores de outras nacionalidades. Nota-se também que a Itália tem mais produções em padrão SCP do que o Reino Unido, porém é menos colaborativa e por fim o Canadá que tanto em publicações SCP e MCP é o que menos produz entre os cinco.

Para uma visão da forma como os 20 principais países publicam, ver apêndice D.

5.6.4 Rede de colaboração entre os países

A Figura 19 apresenta uma rede de colaboração e identifica a ligação entre os 25 países mais relevantes.

Figura 19 – Rede de colaboração dos países



Fonte: Autor

O cluster da Figura 19 demonstra como os 25 principais países contribuem entre si. Os EUA e a China que são os países com os maiores números de produções científicas, colaboram entre si, com o Canadá e com mais países de menores volumes de produção científica. O Reino Unido que figura entre os cinco países mais produtivos possui uma rede de colaboração com a Itália que também está entre os países mais produtivos. É interessante destacar que no cluster apresentado na Figura 19 surge o Brasil como um dos países que contribuem nas pesquisas realizadas.

Para uma visão da rede de colaboração entre os 50 principais países, ver apêndice E.

5.7 Tema

5.7.1 Nuvem de palavras-chave

A Figura 20, demonstra as nuvens de palavras-chave dos autores e dos periódicos. Analisando a figura, é possível identificar quais são os temas de maior frequência no campo de pesquisa estudado. A escala em que as palavras aparecem é proporcional a quantidade em que as mesmas são utilizadas, logo, quanto maior a escala, maior a sua frequência.

Figura 20 – Nuvem de palavras



Fonte: Autor

5.7.2 Palavras-chave dos autores

Analisando a Figura 20, é possível identificar as cinco palavras-chave mais utilizadas pelos autores que são, water com 233 aparições, seguida de drinking water com 185, optimization com 174, water distribution com 132 e water quality com 119 aparições. A presente pesquisa é baseada nos sistemas de distribuição e abastecimento de água, logo, é de se esperar que as palavras-chave mais utilizadas tenham water como base e por isso a referida palavra foi a mais citada.

Fazendo uma ligação das palavras-chave com as pesquisas desenvolvidas, tem-se em linhas gerais que a palavra biofilm, está relacionada a pesquisas que visam conter a formação de microrganismos em redes de distribuição de água. A palavra-chave optimization é inerente a pesquisas que visam enquadrar os sistemas de distribuição de água dentro de parâmetros normativos operacionais e de custo. As palavras-chave drinking water e water quality, são atribuídas a pesquisas desenvolvidas na área de potabilidade da água.

5.7.3 Palavras-chave dos periódicos

A Figura 20 apresenta as palavras-chave dos periódicos, também conhecidas como Keywords plus. De forma análoga ao item anterior, as cinco mais frequentes são, optimization com 273 aparições, design com 265 aparições, drinking water com 238 aparições, model com 225 e reliability com 153 aparições.

Demais palavras-chaves em evidência como management com 129 aparições, é utilizada em pesquisas que visam auxiliar os gestores de sistemas de distribuição de água em suas tomadas de decisões. Reliability está relacionada a pesquisas que visam obter um sistema de distribuição de água mais resiliente. A palavra-chave growth é vinculada a pesquisas de modelagem de expansão de sistemas já existentes e algorithm estão relacionadas aos algoritmos genéticos que são utilizados quando se quer otimizar o sistema de distribuição de água.

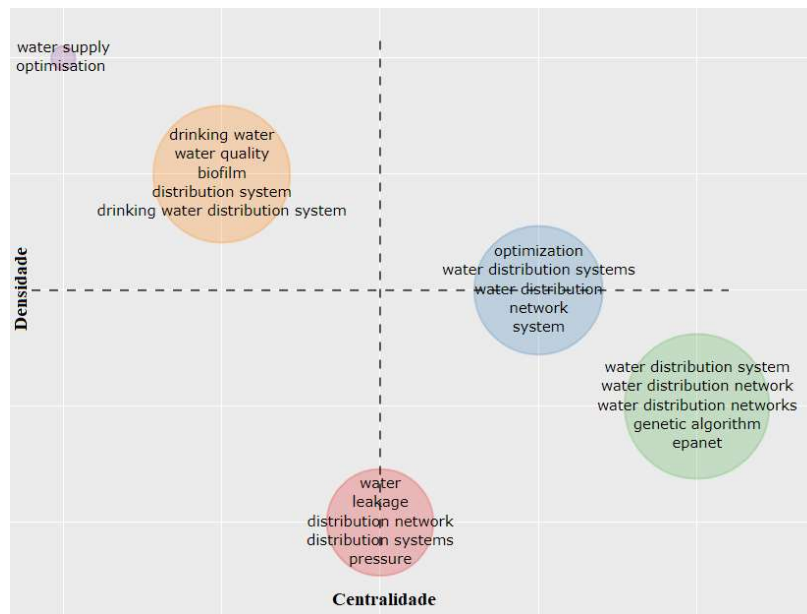
Como era de se esperar, as palavras-chave dos autores e dos periódicos são temas próximos como é possível notar na Figura 20. Porém, há de se considerar que estas palavras-chave são mutáveis, conforme a ciência vai evoluindo é possível que tais temas caiam em desuso, não que não sejam mais temas relevantes, apenas a forma como o mesmo é abordado pode sofrer alterações e com isso novas palavras-chave podem surgir.

5.7.4 Mapa temático das palavras-chaves dos autores

Nos itens 5.7.1 a 5.7.4 as análises das palavras-chave do tema foram realizadas de forma quantitativa, no presente item em que se aborda a temática do tema, a análise será realizada de forma qualitativa.

A Figura 21 apresenta a dinâmica de relevância dos temas de pesquisas relacionados com sistema de distribuição de água em função das palavras-chave dos autores. O quadrante superior direito indica os temas mais centrais e mais densos e que são utilizados por artigos com maiores graus de relevância e citação. O quadrante superior esquerdo se refere a temas muito densos e pouco centrais, são temas muito específicos em que há pouca produção. O quadrante inferior esquerdo apontam os temas poucos centrais e poucos densos, são temas em que não possuem alta relevância. Por fim, o quadrante inferior direito apresenta temas muito

Figura 21 – Mapa temático das palavras-chave dos autores



Fonte: Autor

centrais porém pouco densos, são temas batidos em que há um grande volume de publicações devido a simplicidade do tema.

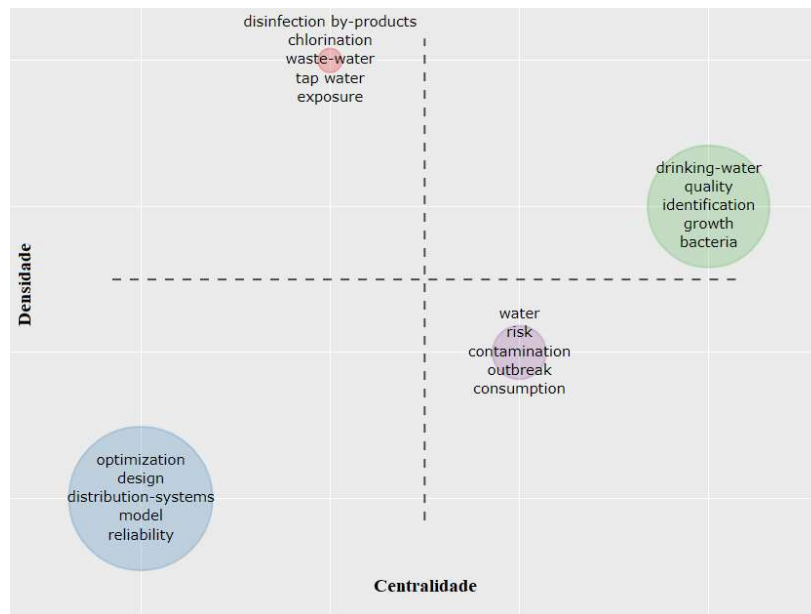
Fazendo um comparativo entre a análise quantitativa e qualitativa do tema na visão dos autores, podemos observar que um tema muito citado não necessariamente possui uma alta relevância, como é o caso das palavras-chave water, drinking water e water quality, já as palavras-chave optimization e water distribution aparecem como temas com alta centralidade e alta densidade.

5.7.5 Mapa temático das palavras-chave dos periódicos

Neste item a análise é feita sobre as palavras-chaves dos periódicos conhecidas como as keywords plus, de forma análoga ao item anterior será feita uma análise entre os dados quantitativos da nuvem de palavras e a análise qualitativa da temática dos temas.

Conforme demonstrado na Figura 22, os temas optimization, design, model e reliability aparecem no quadrante inferior esquerdo, apontados como temas pouco centrais e pouco densos, indicando que uma alta citação não necessariamente corresponde a um alto valor de relevância. São temas que não possuem uma rede de citação relevante e que por isso possuem baixo grau em seus indicadores os tornando temas com pouca relevância científica. Já o tema drinking water, localizado no quadrante superior direito corresponde a um tema muito central

Figura 22 – Mapa temático das palavras-chave dos periódicos



Fonte: Autor

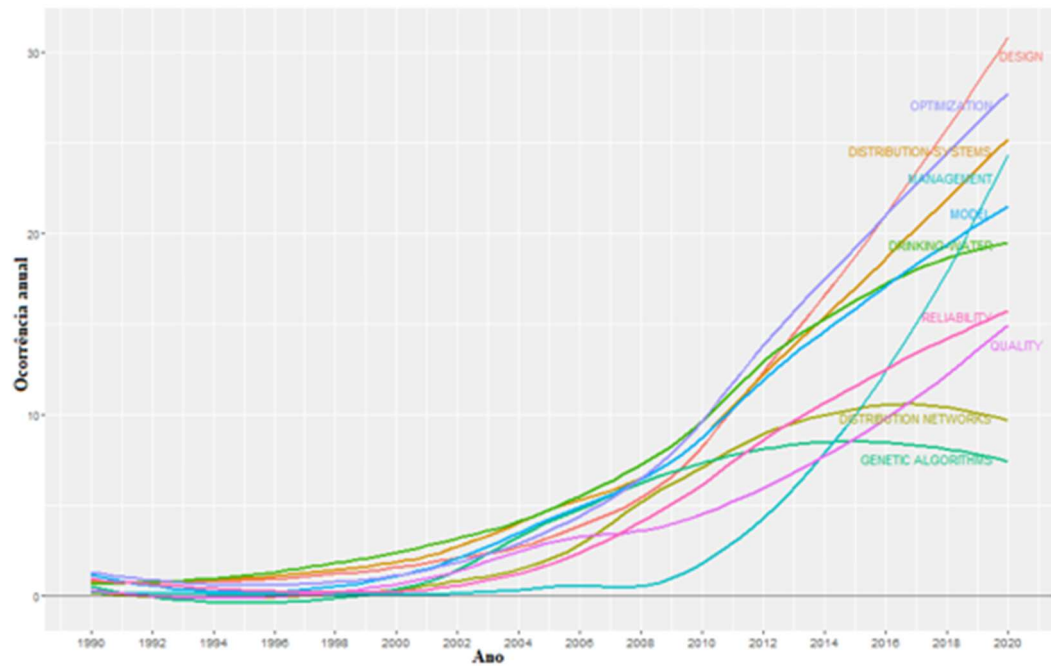
e muito denso, sendo um tema motor da pesquisa. São pesquisas em que sua rede de citações se dão através de artigos de autores com um alto grau, citado por outros autores com grau também elevado, dando ao tema uma maior densidade e conseqüentemente uma maior relevância científica.

5.7.6 Desenvolvimento do tema ao longo dos anos

A dinâmica de desenvolvimento dos temas que trabalham com redes de distribuição de água foi praticamente uma constante até o ano de 1995, conforme demonstra a Figura 23.

No início do século 21 os temas em linhas gerais começaram a obter uma taxa de crescimento significativa ficando perceptível uma alteração na dinâmica dos temas. Os temas, optimization, design, distribution systems e model apresentam uma linha de crescimento constante e estão entre os temas com maiores ocorrências, porém são temas pouco densos e pouco centrais, o tema drinking water também possui uma taxa de crescimento significativa e é um tema muito denso e muito central, mesmo não sendo um dos de maiores ocorrências. Já os temas reliability e distribution networks têm uma taxa de crescimento moderada entre 2000 e 2008, e após este intervalo começam a ter sua linha de desenvolvimento em fase descendente, indo ao encontro do mapa temático que os apontam como temas pouco densos e pouco centrais.

Figura 23 – Dinâmica dos temas



Fonte: autor

Analisando a Figura 23 é interessante observar que o tema management a partir de 2010 começa a obter uma linha de crescimento bem ascentuada. A taxa de crescimento do tema management vai ao encontro dos objetivos das pesquisas realizadas em redes de distribuição de água que visam em sua maioria um controle mais eficiente do sistema, buscando um equilíbrio entre resiliência do sistema e custo operacional.

6. MODELOS ESTATÍSTICOS APLICADOS

Aqui, será realizada uma análise sistêmica das técnicas estatísticas aplicadas em pesquisas que visam controlar o volume de perdas de água em seus sistemas de distribuição.

6.1 Síntese das técnicas estatísticas aplicadas

De posse dos metadados e após uma realização bibliométrica, a pesquisa segue para o seu principal objetivo, que é a realização de uma análise sistemática da arte.

O Quadro 8 é um resumo das técnicas estatísticas as quais os autores utilizaram em suas pesquisas e seus respectivos objetivos.

Quadro 8 – Síntese das técnicas estatísticas aplicadas

Autores	Técnica utilizada	Objetivo
Savic e Walters (1997)	Técnica de Monte Carlo	Implementação de rede de distribuição de água de menor custo
Mailhot <i>et al.</i> ; (2000)	Análise de sobrevida modelo estatístico de Weibull	Detectar falhas futuras
Loganathan, Park, Serali, (2002)	Análise de sobrevida modelo estatístico de Weibull	Detectar falhas futuras
Prasad e Park (2004)	Frente de Pareto	Rede de menor custo e maior resiliência
Nišić <i>et al.</i> ; (2004)	Monte Carlo	Detectar falhas futuras
Cannarozzo <i>et al.</i> ; (2006)	Chi-squared test / Técnica de Poisson / Técnica de auto correlação	Identificar o melhor método de ação no controle de falhas na rede
Cozzolino <i>et al.</i> ; (2006)	Monte Carlo	Pontos de contaminação da rede
Nišić <i>et al.</i> ; (2007)	Monte Carlo / Distribuição de Bernoulli	Quantificar e localizar pontos de monitoramento para evitar falhas futuras

Ostfeld <i>et al.</i> ; (2008)	Monte Carlo	Localização de sensores para detecção de contaminação da água
Daniel <i>et al.</i> ; (2009)	Harmony Search	Definir o menor diâmetro da tubulação
Wang; Zayed e Moselhi, (2009)	Regressão linear múltipla / Regressão linear	Detectar falhas futuras
Christodoulou <i>et al.</i> ; (2010)	Regressão de Poisson / Regressão de Cox / Estimador de Kaplan-Meier análise de sobrevida	Detectar falhas futuras
Xu, Chen e Li, (2011)	Análise de sobrevida modelo estatístico de Weibull	Detectar falhas futuras
Alkassseh <i>et al.</i> ; (2013)	Regressão linear / Regressão linear múltipla	Estimar o volume de perda de água na rede
Wols e Thienen, (2014)	Regressão linear / Regressão linear múltipla / Técnica de Poisson	Identificar relação entre variação climática e rompimento da tubulação de uma rede
Codina <i>et al.</i> ; (2015)	Teorema de Bayes / Teste Kolmogorov-Smirnov	Dectar falhas futuras
Kim <i>et al.</i> , (2015)	Filtro Kalman	Detectar falhas
Sempewoa e Kyokaalia (2016)	Técnica de Markov / Técnica de Poisson	Detectar falhas futuras
Agathokleous e Christodoulou (2016)	Análise de sobrevida Kaplan-Meier	Avaliar a eficiência da aplicação do sistema intermitente de abastecimento de uma rede de distribuição de água
Kakoudakis <i>et al.</i> ; (2016)	Regressão polinomial evolutiva / k-means clustering	Detectar falhas futuras

Ward <i>et al.</i> ; (2016)	Regressão linear	Deterioração da tubulação / Falhas futuras
Zamenian <i>et al.</i> ; (2017)	Regressão de Poisson	Detectar falhas futuras
Xu <i>et al.</i> ; (2018)	Regressão linear / Técnica de Poisson	Detectar falhas futuras
Cantos e Juran (2018)	Análise de sobrevida modelo estatístico de Weibull	Detectar falhas futuras
Chen <i>et al.</i> ; (2019)	Hold-out / Pontuação de Brier	Detectar falhas futuras
Motiee e Ghasemneja, (2019)	Regressão linear / Regressão não linear / Regressão de Poisson / Regressão logística	Detectar falhas futuras
Nam <i>et al.</i> ; (2019)	K-means clustering / Média móvel exponencialmente ponderada (EWMA)	Localização de sensores / detecção de vazamento
Sempewo e Kyokaali (2019)	Técnica de Markov / Regressão linear	Detectar falhas futuras
Chen e Guikema (2020)	Técnica de Poisson / Hold-out / Regressão linear	Detectar falhas futuras com a utilização de dados de quebras passados.
González e Rodríguez (2020)	Regressão linear / Regressão de Poisson / Regressão polinomial evolutiva / K-means clustering	Comparar a eficiência de diferentes modelos estatísticos para auxiliar na prevenção de falhas futuras.
Snider e McBean (2020)	Análise de sobrevida modelo estatístico de Weibull	Detectar falhas futuras
Moslehi e Ghazizadeh (2020)	Teorema de Bayes / Chi-squared test	Detectar falhas futuras

O Quadro 8 sintetiza os autores, técnicas e objetivos dos artigos que serviram como base para a realização da análise sistemática do tema de controle de perdas de água.

De posse da síntese do quadro 8, a pesquisa seguirá com uma breve descrição dos modelos estatísticos aplicados, bem como irá apontar em quais sistemas de distribuição de água foram utilizados, se em sistemas reais ou teóricos.

6.2 Regressão linear

A técnica de regressão linear é bastante utilizada na área da estatística, ela visa determinar a dependência entre as variáveis do eixo X, conhecidas como determinantes e as variáveis do eixo Y, conhecidas como dependentes. Seu modelo é verificado quanto a sua eficiência através do coeficiente de determinação R^2 , o qual varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1, mais representativo é o modelo.

6.2.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 9 indica as pesquisas que usaram a regressão linear como técnica estatística tanto em redes reais como em redes teóricas.

Quadro 9 – Técnica de regressão linear

Modelo	Autores
Regressão linear	Nisic <i>et al</i> (2007)
	Wang, Zayed e Moselhi (2009)
	Puust <i>et al</i> (2009)
	Tanyimboh, Tietavainen e Saleh (2011)
	Alkasseh <i>et al</i> (2013)
	Wols e Thienen (2014)
	Ward <i>et al</i> (2016)
	Xu <i>et al</i> (2018)
	Motiee e Ghasemnejad (2019)
	Sempewoa e Kyokaalia (2019)
	Chen e Guikema (2020)
	González e Rodrigues (2020)

Fonte: Autor

Wang; Zayed e Moselhi (2009) desenvolveram uma metodologia a fim de quantificarem falhas futuras devido à deterioração nas redes de distribuição de água, considerando fatores como: material do tubo, idade, comprimento, diâmetro, profundidade e dados de registros de rupturas. O estudo foi realizado com base em dados de uma rede na cidade de Quebec, Canadá.

O Modelo de regressão linear foi aplicado e demonstrou uma boa correlação entre o índice de falhas e variáveis da rede como, diâmetro, comprimento e idade da tubulação.

Tanyimboh, Tietavainen e Saleh (2011), com base na análise de uma rede teórica, desenvolveram uma metodologia para avaliar a eficiência da aplicação de modelos estatísticos nos sistemas de abastecimento de água, através da regressão linear. O mesmo demonstrou uma correlação robusta entre a modelagem estatística e as falhas na rede.

Alkassseh *et al.* (2013) desenvolveram uma análise estatística para o estudo do índice de vazamentos de uma rede de distribuição de água no vale de Kinta, Perak estado da Malásia. O sistema de distribuição foi dividido por zonas menores para facilitar a análise. O método dos mínimos noturnos que é amplamente difundido nas pesquisas relacionadas ao tema (NISIC *et al.*; 2007); (PUUST *et al.*; 2009) foi utilizado aqui. A técnica de regressão linear foi aplicada e obteve correlação significativa e identificou as variáveis comprimento da tubulação e idade como os mais impactantes no volume de água perdido.

Wols e Thienen (2014) em sua pesquisa com base em análises estatísticas, estabeleceram um relação entre variações climáticas e falhas na rede de abastecimento de água na Holanda. A regressão linear foi utilizada e demonstrou resultados robustos na relação variação de temperatura e rompimento da tubulação. Os modelos de análises desenvolvidos na pesquisa podem auxiliar nas decisões de gerenciamento dos sistemas de distribuição de água na prevenção de falhas futuras.

Ward *et al.* (2016) desenvolveram um método eficaz para a determinação da deterioração da tubulação e detecção de falhas em tubulações de pequeno diâmetro e com falta de dados da rede, tais como: Idade, material da tubulação e sua respectiva localização, em redes de distribuição de água de dois fornecedores ingleses. O método demonstrou robustez significativa apresentando valores de R^2 maiores que 0,959 em todos os cinco tipos de materiais da tubulação.

Xu *et al.* (2018) elaboraram um modelo estatístico de sobreposição em uma rede de distribuição de água em Pequim para obter uma relação entre o rompimento da tubulação e a idade. A regressão linear foi utilizada e obteve um bom desempenho $R^2=0,95$.

Motiee e Ghasemnejad (2019) desenvolveram uma pesquisa em uma rede de distribuição de água no Teerã, capital do Irã, com o intuito de preverem falhas utilizando a técnica de regressão linear. As variáveis utilizadas para a pesquisa foram: Diâmetro, comprimento, idade e pressão interna das tubulações.

Sempewoa e Kyokaalia (2019) aplicaram análise de regressão linear nos dados obtidos pelo sistema de distribuição de água em Kampala, Uganda, tendo como variáveis a idade, o diâmetro e os dados de quebra das tubulações do sistema. O modelo demonstrou um fator R^2 relevante de 0,884. Contudo, a pesquisa demonstra que o modelo é mais efetivo em tubulações de diâmetros menores.

CHEN e GUIKEMA (2020) aplicaram modelos estatísticos de regressão linear em dados obtidos de uma rede de distribuição de água, na região centro oeste dos EUA, no intuito de identificarem se as informações de dados de quebras passadas podem auxiliar na previsão de quebras futuras.

González e Rodríguez (2020) em uma rede de distribuição de água na cidade de Bogotá na Colômbia, aplicaram quatro modelos estatísticos diferentes, entre elas a regressão linear a qual obteve uma resposta satisfatório tendo resultado de R^2 entre 0,695 e 0,927.

6.3 Regressão não linear

É uma técnica de regressão em que as variáveis observadas são transformadas através de uma função e são dependentes de uma ou mais variáveis independentes. Tendo seus resultados ajustados após sucessivas aproximações.

6.3.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 10 aponta as pesquisas que usaram a regressão não linear como técnica estatística.

Quadro 10 – Técnica de regressão não linear

Modelo	Autores
Regressão não linear	Motiee e Ghasemnejad (2019)

Fonte: Autor

Motiee e Ghasemnejad, (2019) aplicaram a regressão não linear no desenvolvimento de sua metodologia de pesquisa, para a identificação das variáveis mais impactantes para a ocorrência de falhas. Os resultados da pesquisa com a utilização da regressão não linear demonstraram que ao passo em que se aumenta o comprimento da tubulação, maiores são os número de falhas e quando se aumenta o diâmetro da tubulação este índice tende a diminuir.

6.4 Regressão linear múltipla

Partindo do conceito aplicado na técnica de regressão linear simples, aqui na múltipla também se tenta explicar a influência do eixo determinante no eixo dependente, a diferença está no total de variáveis que podem agir como determinantes nas variáveis do eixo y. Sua eficiência também é testada com a aplicação do coeficiente de determinação R^2 .

6.4.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 11 apresenta as pesquisas que usaram a regressão linear múltipla como técnica estatística.

Quadro 11 – Técnica de regressão linear múltipla

Modelo	Autores
Regressão linear múltipla	Wang, Zayed e Moselhi (2009)
	Alkasseh <i>et al</i> (2013)
	Wols e Thienen (2014)

Fonte: Autor

Wang; Zayed e Moselhi (2009), entre outras técnicas estatísticas no desenvolvimento de sua pesquisa, também utilizaram a regressão linear múltipla para a previsão de falhas futuras. O Modelo de regressão múltipla foi aplicado e também demonstrou uma boa correlação entre o índice de falhas e variáveis da rede.

Alkasseh *et al.* (2013) fizeram aplicação da regressão linear múltipla em sua pesquisa para a identificação das variáveis mais impactantes no volume de perdas de água da tubulação. O resultado do estudo apontou as variáveis idade e comprimento da tubulação como as que mais influenciam no volume perdido de água.

Wols e Thienen (2014) pesquisaram a relação entre variações climáticas e rompimento nas redes de distribuição de água na Holanda, com a utilização da técnica de regressão linear múltipla. Os resultados demonstraram que há ligação direta entre as variações climáticas e o índice de rompimento das tubulações.

6.5 Regressão logística

Visa determinar a partir de um conjunto de variáveis observadas, um modelo que possa prever valores em função de uma variável independente geralmente binária. É uma técnica de regressão para variáveis dependentes, sendo possível saber a probabilidade de um evento ocorrer ou não por interferência de outras variáveis.

6.5.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 12 apresenta as pesquisas que usaram a regressão logística como técnica estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 12 – Técnica de regressão logística

Modelo	Autores
Regressão logística	Motiee e Ghasemnejad (2019)

Fonte: Autor

Motiee e Ghasemnejad (2019) demonstraram com o resultado de sua pesquisa que a regressão logística foi o modelo mais apropriado para a previsão de falhas futuras no sistema de distribuição de água no Teerã, capital do Irã.

6.6 Regressão polinomial evolutiva

Considerada como uma variação da regressão linear múltipla, é uma técnica de análise de regressão a qual a variável do eixo independente e dependente são modelados em um grau polinomial. É aplicada para a descrição de fenômenos não lineares.

6.6.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 13 apresenta as pesquisas que usaram a regressão polinomial evolutiva como técnica estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 13 – Técnica de regressão polinomial evolutiva

Modelo	Autores
Regressão polinomial evolutiva	Kakoudakis <i>et al</i> (2016)
	González e Rodríguez (2020)

Fonte: Autor

Kakoudakis *et al.* (2016) aplicaram a técnica de regressão polinomial evolutiva em uma rede de distribuição de água no Reino Unido, com o intuito de preverem falhas futuras na tubulação da rede, a fim de auxiliar no planejamento de reabilitação da rede de distribuição de água.

No sistema de abastecimento de água na cidade de Bogotá na Colômbia, a regressão polinomial evolutiva foi utilizada como técnica estatística para auxiliar na detecção de falhas futuras obtendo um desempenho robusto com R^2 entre 0,877 e 0,885 (GONZÁLES; RODRÍGUES, 2020).

6.7 Média móvel exponencialmente ponderada (EWMA)

Em uma de suas utilizações o método é aplicado quando há muitos dados observados fora da área de controle. Sendo assim, a técnica é utilizada para o ajustamento dos dados num determinado período de tempo, fazendo uma média ponderada de todas as observações atribuindo pesos diferentes em função da idade dos dados, permitindo que os dados possam ser utilizados (CALZADA; SCARIANO, 2003).

6.7.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 14 apresenta as pesquisas que usaram a média móvel exponencialmente ponderada como técnica estatística nos dados obtidos de uma rede teórica modelada no EPANET.

Quadro 14 – Técnica da média móvel exponencialmente ponderada (EWMA)

Modelo	Autores
Média móvel exponencialmente ponderada (EWMA)	Nam <i>et al</i> (2019)

Fonte: Autor

Nam *et al.*; (2019) propuseram um novo sistema de monitoramento e determinação de localização de sensores em uma rede de distribuição de água ramificada teórica com a aplicação do EPANET, com os dos dados de vazão e pressão monitorados. Nos dados obtidos foram aplicadas análises estatísticas como a técnica de mineração de dados K-means e a média móvel ponderada exponencial padronizada (EWMA padronizada) que é capaz de monitorar pequenas mudanças em todo o processo atribuindo informações de dados da observação atual e passada gerando dados de entrada de vazão e pressão corrigidos. A abordagem obteve resultados robustos e demonstrou ser mais econômica em sua aplicação devido à redução dos sensores a serem utilizados bem como na detecção de pequenas falhas na tubulação.

6.8 Harmony Search

Geem, Kim e Loganathan (2001) propuseram uma nova meta-heurística baseada nos conceitos de harmonia de uma banda, onde cada geração de variável que soe bem é armazenada e será utilizada posteriormente harmonizando com outras variáveis até chegar a uma solução ótima.

6.8.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 15 apresenta as pesquisas que usaram a técnica Harmony Search como modelo estatístico no tratamento dos dados obtidos em uma rede teórica.

Quadro 15 – Técnica Harmony Search

Modelo	Autores
Harmony Search	Daniel <i>et al</i> (2009)

Fonte: Autor

Daniel *et al.* (2009) aplicaram uma técnica heurística denominada Harmony Search (HS), que é baseada nos conceitos de improvisação de uma banda de música. A rede de Hanói foi utilizada para a aplicação da técnica. A referida rede é motivo de várias pesquisas e com isso os resultados obtidos podem ser comparados atestando ou não a eficiência do método para a determinação do menor diâmetro admissível ao sistema, o que acarretará num menor custo de implementação.

6.9 K-means clustering

Na área da estatística, a técnica k-means clustering é utilizada para a mineração dos dados e divisão dos mesmos em grupos devido as suas semelhanças.

6.9.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 16 apresenta as pesquisas que usaram o K-means clustering como técnica estatística.

Quadro 16 – Técnica K-means clustering

Modelo	Autores
K-means clustering	Kakoudakis <i>et al</i> (2016)
	Nam <i>et al</i> (2019)
	González e Rodríguez (2020)

Fonte: Autor

Kakoudakis *et al.* (2016) em sua pesquisa para a realização de mineração de dados utilizaram a técnica k-means clustering.

Nam *et al.* (2019) propuseram um novo sistema de monitoramento e determinação de localização de sensores em uma rede de distribuição de água ramificada teórica modelada no EPANET, obtendo assim os dos dados de vazão e pressão monitorados. Nos dados obtidos foram aplicadas análises estatísticas como a técnica de mineração de dados K-means.

González e Rodríguez (2020) aplicaram a técnica de mineração de dados K-means clustering numa rede de abastecimento de água na cidade de Bogotá na Colômbia, para criar grupos de tubulações em função de suas características como, diâmetro, comprimento e idade da tubulação.

6.10 Técnica Hold-Out

Conhecida também como validação cruzada dos dados, se baseia na divisão das variáveis em dois subconjuntos exclusivos mutuamente, sendo um para a validação do processo e o outro para o treinamento, sendo bem comum a divisão de 1/3 para a validação e 2/3 para o treinamento do processo. É recomendável que seja aplicada em situações em que exista um massivo de dados evitando assim uma grande variância.

6.10.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 17 apresenta as pesquisas que usaram a técnica Hold-Out como aplicação estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 17 – Técnica Hold-Out

Modelo	Autores
Técnica Hold-Out	Chen <i>et al</i> (2019)
	Chen e Guikema (2020)

Fonte: Autor

Em sua pesquisa, Chen *et al.*; (2019) desenvolveram um modelo estatístico que indica a probabilidade de falhas futuras e seus possíveis pontos de vulnerabilidade do sistema em parceria com uma rede de distribuição de água, na região do meio do Atlântico nos EUA com dados temporais entre 2010 e 2014 e o modelo estatístico aplicado foi a técnica Hold-out.

CHEN e GUIKEMA (2020) em uma rede real de distribuição de água nos EUA, utilizaram a técnica estatística Hould-Out nos dados obtidos do sistema de abastecimento para a validação do processo aplicado para a previsão de falhas futuras.

6.11 Pontuação de Brier

Sendo recomendadas para a análise de sistemas binários, é utilizada para a verificação da precisão de análises probabilísticas. Seu intervalo de resposta está entre (0 e 1) e quanto mais próximo de zero melhor é a calibragem do método.

6.11.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 18 apresenta as pesquisas que usaram a pontuação de Brier como técnica estatística.

Quadro 18 – Técnica da pontuação de Brier

Modelo	Autores
Pontuação de Brier	Chen <i>et al</i> (2019)

Fonte: Autor

Chen *et al.* (2019) desenvolveram uma metodologia para a detecção preditiva de falhas em redes de distribuição de água no EUA. A pontuação de Brier foi utilizada para a verificação da precisão das análises estatísticas.

6.12 Técnica de Monte Carlo

Em análises estatísticas a técnica de Monte Carlo se aplica no tratamento de um número expressivo de dados, podendo ser dados estocásticos. Em linhas gerais se trata de realizar N simulações no intuito de se chegar o mais próximo possível ao modelo real de forma heurística.

6.12.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 19 apresenta as pesquisas que usaram a técnica de Monte Carlo como modelo estatístico.

Quadro 19 – Técnica de Monte Carlo

Modelo	Autores
Técnica de Monte Carlo	Savic e Walters (1997)
	Nisic <i>et al</i> (2004)
	Cozzolino <i>et al</i> (2006)
	Nisic <i>et al</i> (2007)
	Ostfeld <i>et al.</i> ; (2008)

Fonte: Autor

A pesquisa desenvolvida por Savic e Walters (1997) que foi apontada na análise bibliométrica como o artigo mais citado com 155 citações locais, utilizou a técnica estatística de Monte Carlo para auxiliar o modelo computacional GANET na obtenção de uma rede de distribuição de água com o menor custo de implementação.

Nišić *et al.* (2004) desenvolveram sua pesquisa com base nos dados monitorados de vazão de uma rede de distribuição de água na região sudeste da Inglaterra. Visando a criação de um método sistemático para a localização dos pontos a serem monitorados nas redes de distribuição de água.

A rede foi simulada utilizando o Software EPANET e em conjunto com o método de Monte Carlo para a simulação da utilização dos aparelhos de uma residência. A identificação dos locais para a implantação dos medidores de vazão foi determinado por métodos estatísticos que sugeriram a instalação nas tubulações em que se observaram as maiores variações nas vazões.

Cozzolino *et al.*; (2006) fizeram uma abordagem estocástica buscando a identificação dos pontos a serem monitorados em um rede de distribuição de água contra agentes contaminantes de um possível ataque terrorista. Os sistemas de abastecimento de água são de forma geral vulneráveis, pois possuem vários pontos de acesso sem uma fiscalização constante e são de difícil simulação, devido as suas características de demanda que flutuam nos diferentes períodos do dia.

Na pesquisa, a técnica de Monte Carlo foi aplicada para a obtenção de cenários hidráulicos em função de diferentes demandas na rede e com base em análises estatísticas foi possível determinar a localização dos pontos a serem monitorados.

Nišić *et al.* (2007) desenvolveram uma metodologia de cunho estocástico aplicando a técnica de Monte Carlo e distribuição de Bernoulli com o intuito de identificar os melhores locais e a quantidade de pontos de monitoramento de uma rede de distribuição de água afim de identificar possíveis falhas futuras auxiliando nas ações proativas de manutenção da rede. O estudo foi realizado em um sistema de distribuição de água de tamanho médio no Reino Unido.

No documento realizado para a batalha das redes de sensores de água (BWSN), os pesquisadores Ostfeld *et al.*; (2008), aplicaram modelos estatísticos como o de Monte Carlo para auxiliar na identificação dos pontos a serem instalados os sensores para a detecção de possível contaminação da água.

6.13 Técnica de Poisson

Descoberta por Siméon Denis Poisson, é uma técnica utilizada para a previsão de ocorrência de um evento num determinado período de tempo e para a identificação de dependência destes eventos. A quantidade de vezes que o evento ocorre num determinado período, a probabilidade de ocorrência do evento para cada intervalo e se o número de ocorrência é independente do outro são características que identificam o método.

6.13.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 20 apresenta as pesquisas que usaram a técnica de Poisson como modelo estatístico em sistemas de distribuição de água reais.

Quadro 20 – Técnica de Poisson

Modelo	Autores
Técnica de Poisson	Cannarozzo <i>et al</i> (2006)
	Wols e Thienen (2014)
	Sempewoa e Kyokaalia (2016)
	Xu <i>et al</i> (2018)
	Chen e Guikema (2020)

Fonte: Autor

Cannarozzo *et al.* (2006) desenvolveram em sua pesquisa numa rede de distribuição de água na cidade de Palermo Itália, uma metodologia com base em análises técnicas estatísticas dos dados de ruptura da tubulação utilizando a técnica de Poisson para auxiliar os gestores do sistema na tomada de decisão entre ações reativas ou proativas no combate a falhas na rede.

Wols e Thienen, (2014) também fazendo uso de análises estilísticas em sua pesquisa, utilizaram a distribuição de Poisson em uma rede de distribuição de água na Holanda para a verificação da influência da variação de temperatura no índice de rompimento da tubulação.

Sempewoa e Kyokaalia (2016) desenvolveram uma pesquisa em uma rede de distribuição de água em Mbuya sudeste de Kampala capital da Uganda, baseados num modelo estocástico utilizando a técnica de Markov e a distribuição de Poisson, com o intuito de preverem falhas futuras, evitando assim o desperdício de água decorrente da ruptura da

tubulação. A atitude proativa é capaz de reduzir custos significativos decorrente de todo o processo pretérito a entrega da água e auxilia na tomada de decisão dos gestores.

Xu *et al.* (2018) elaboraram um modelo estatístico que pode ser aplicado a tubulações com diversas idades para a obtenção do índice de falhas da rede de distribuição de água da cidade de Pequim. O número de Poisson foi utilizado para verificar o nível de incerteza através da simulação de falhas e obtive um bom desempenho $R^2=0,95$.

CHEN e GUIKEMA (2020) fizeram utilização em sua pesquisa da técnica de Poisson para, a identificação da probabilidade da ocorrência de determinados eventos agrupados, que podem auxiliar na previsão de falhas futuras em uma companhia de rede de distribuição de água na região centro oeste dos EUA.

6.14 Chi-squared test

Conhecido também como X^2 teste, é utilizado identificar se existe uma variância significativa entre os valores reais observados e medidos de um determinado processo e seus valores calculados e esperados.

6.14.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 21 apresenta as pesquisas que usaram o Chi-squared test como técnica estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 21 – Técnica Chi-squared test

Modelo	Autores
Chi-squared test	Cannarozzo <i>et al</i> (2006)
	Moslehi e Ghazizadeh (2020)

Fonte: Autor

Cannarozzo *et al.* (2006) desenvolveram uma metodologia numa rede de distribuição de água na cidade de Palermo Itália, fazendo uso da técnica estatística Chi-squared test nos dados de ruptura informados pela companhia de abastecimento com o intuito de decidirem qual o melhor tratamento para as falhas.

As taxas de quebras identificadas pela aplicação do teorema de Bayes no sistema de distribuição de água no Teerã, capital do Irã por Moslehi e Ghazizadeh (2020) foram avaliadas pelo Chi-squared test e obtiveram resultados robustos, comprovando a eficácia da metodologia desenvolvida que levará a uma melhor gestão da rede de abastecimento pelos administradores do sistema.

6.15 Regressão de Poisson

É um modelo linear e no ramo da estatística é aplicado para a identificação de uma possível relação ou dependência das variáveis estudadas. É uma forma de regressão que faz uso de tabelas de contingência e que por isso também é conhecido como um modelo log-linear.

6.15.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 22 apresenta as pesquisas que usaram a regressão de Poisson como modelo estatístico.

Quadro 22 – Técnica da regressão de Poisson

Modelo	Autores
Regressão de Poisson	Christodoulou <i>et al</i> (2010)
	Zamenian <i>et al.</i> ; (2017)
	Motiee e Ghasemnejad (2019)
	González e Rodríguez (2020)

Fonte: Autor

Christodoulou *et al.* (2010), em seu estudo numa rede de distribuição de água na cidade de Limassol, Chipre, desenvolveram uma análise de sobrevivência do referido sistema de abastecimento. As técnicas estatísticas utilizadas foram: Regressão de Poisson, regressão de Cox e Estimador de Kaplan-Meier. Com as informações de possíveis pontos de falhas nos sistemas, os gestores podem tomar melhores decisões nas intervenções no sistema de abastecimento de água.

Zamenian *et al.*; (2017) utilizaram dados históricos de quebras de tubulação de dois sistemas distintos nos EUA, um em Indianápolis e outro em Fort Wayne. Nestes dados, análises estatísticas foram aplicadas como o método de regressão de Poisson, com o objetivo de estimar a taxa de falha mensal do sistema em função de diferentes variáveis como, diâmetro, idade e material da tubulação, bem como fatores externos e climáticos.

Motiee e Ghasemnejad (2019) utilizaram a regressão de Poisson como uma técnica estatística para a detecção de falhas futuras em um sistema de distribuição de água no Teerã, capital do Irã.

González e Rodríguez (2020) utilizaram a técnica de Regressão de Poisson dentre outros modelos estatísticos. E após o comparativos entre quais dos modelos seriam mais eficientes na predição de falhas na rede de abastecimento de água na cidade de Bogotá, a regressão de Poisson demonstrou ser o modelo mais eficiente para a predição de eventos de quebra em tubulações de maiores diâmetros.

6.16 Distribuição de Bernoulli

Na realização de experimentos aleatórios, onde determinados eventos podem ou não ocorrer, a distribuição de Bernoulli é aplicada. Tendo como espaço amostral (0 ou 1), onde 1 indica sucesso e dependência da variável e 0 como falha e consequentemente a não dependência da variável.

6.16.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 23 apresenta as pesquisas que usaram a distribuição de Bernoulli como técnica estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 23 – Técnica da distribuição de Bernoulli

Modelo	Autores
Distribuição de Bernoulli	Nisic <i>et al</i> (2007)

Fonte: Autor

Nišić *et al.* (2007), em sua metodologia para a predição de falhas numa rede de distribuição de água no Reino Unido, identificaram a localização e a quantidade de pontos de monitoramento com a técnica da distribuição de Bernoulli.

6.17 Técnica de auto correlação

A técnica se baseia na correlação de valores de séries temporais ou espaciais, informando a influência de uma variável aleatória em outra, tendo seu resultado expresso no intervalo entre (-1 e 1), onde 1 representa uma perfeita correlação e -1 uma total ausência de correlação. É também utilizada para a identificação de padrões de repetição, os quais podem por vezes serem mascarados devidos a ruídos. Assumem modelos cíclicos, quadráticos ou lineares.

6.17.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 24 apresenta as pesquisas que usaram a técnica de auto correlação como modelo estatístico em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 24 – Técnica de auto correlação

Modelo	Autores
Técnica de auto correlação	Cannarozzo <i>et al</i> (2006)

Fonte: Autor

Cannarozzo *et al.*; (2006) utilizaram a técnica de auto correlação em sua pesquisa na cidade de Palermo Itália, com o intuito de preverem falhas na tubulação a fim de auxiliarem os gestores na melhor decisão de tratativa.

6.18 Teorema de Bayes

A técnica do teorema de Bayes é aplicada para identificar a probabilidade de um determinado evento ocorrer tomando como base a ocorrência de eventos anteriores. Sendo possível, então, alterar a probabilidade de ocorrência de futuras falhas.

6.18.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 25 apresenta as pesquisas que usaram o teorema de Bayes como técnica estatística em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 25 – Técnica do teorema de Bayes

Modelo	Autores
Teorema de Bayes	Codina <i>et al</i> (2015)
	Moslehi e Ghazizadeh (2020)

Fonte: Autor

Codina *et al.* (2015), em sua pesquisa baseada nos indicadores de pressão da rede de distribuição de água da cidade de Madri, Espanha, desenvolveram uma metodologia com base em análises estatísticas para a previsão de falhas futuras na tubulação. Para prever um evento de quebra, o Teorema de Bayes foi utilizado como técnica na metodologia desenvolvida.

Moslehi e Ghazizadeh (2020) desenvolveram uma metodologia estatística em um grande sistema de distribuição de águas no Teerã, capital do Irã, baseado no teorema de Bayes em que relaciona as pressões internas da rede e o seu índice de quebras, identificando pressões limites onde um pequeno acréscimo leva a ocorrência de rompimentos da tubulação.

6.19 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Também conhecido como teste KS ou teste K–S, pode ser utilizado como uma técnica de ajuste para a normalidade da distribuição dos dados, sendo possível tornar a média e a variância dos dados iguais aos estimados na amostra.

6.19.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 26 apresenta as pesquisas que usaram o teste Kolmogorov-Smirnov como técnica estatística em uma rede de abastecimento de água real.

Quadro 26 – Técnica do teste de Kolmogorov-Smirnov

Modelo	Autores
Teste Kolmogorov-Smirnov	Codina <i>et al</i> (2015)

Fonte: Autor

Para a resposta preditiva de eventos de rupturas e falhas que podem ocorrer na tubulação da rede de distribuição de água de Madri, Espanha, Codina *et al.*; 2015 criaram uma metodologia que se norteia pelos dados de pressão da rede, o teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado e mostrou significativa robustez.

6.20 Filtro de Kalman

Muito utilizado na área da estatística para a eliminação de ruídos, fazendo com que as leituras medidas e um determinado período de tempo se tornem as mais próximas possíveis da realidade. O método aplica pesos diferentes a cada variável de acordo com a sua importância.

6.20.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 27 apresenta as pesquisas que usaram o filtro de Kalman como técnica estatística para a diminuição do ruído dos dados obtidos.

Quadro 27 – Técnica do filtro de Kalman

Modelo	Autores
Filtro de Kalman	Kim <i>et al</i> (2015)

Fonte: Autor

Kim *et al.* (2015) propuseram um método de monitoramento baseado apenas nos dados de pressão da rede, nos dados obtidos foram aplicados o método do filtro de Kalman, para a eliminação do ruído e minimização da incerteza. O método se mostrou eficaz e aplicável até em vazamentos de pequena proporção, ainda, que em situações ruidosas.

6.21 Técnica de Markov

De cunho estocástico, se baseia na probabilidade de que o próximo evento se baseie apenas no atual e não nos passados, de forma que os eventos anteriores não interfiram na previsão dos futuros. A técnica trata as incertezas dos dados pelo uso de matrizes de probabilidade de transição, se tornando uma eficiente ferramenta na predição de eventos futuros com base em dados qualitativos (SEMPEWO; KYOKAALI 2016).

6.21.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 28 apresenta as pesquisas que usaram a técnica de Markov como modelo estatístico em um sistema de distribuição de água real.

Quadro 28 – Técnica de Markov

Modelo	Autores
Técnica de Markov	Sempewoa e Kyokaalia (2016)
	Sempewoa e Kyokaalia (2019)

Fonte: Autor

Para a redução de custos decorrente das falhas numa rede de distribuição de água, Sempewoa e Kyokaalia (2016) utilizaram em sua pesquisa a técnica de Markov na rede de Mbuya, sudeste de Kampala, capital da Uganda.

Sempewoa e Kyokaalia (2019) em um sistema de distribuição de água em Kampala, capital da Uganda, aplicaram modelos estatísticos baseados em análises de regressão e na técnica de Markov. O modelo Markoviano demonstrou ser mais eficiente em comparação ao modelo de regressão devido aos dados serem mais qualitativos e não quantitativos.

6.22 Análise de sobrevivência

É uma técnica utilizada na área da estatística que visa determinar o tempo de vida de um determinado sistema mecânico até que ocorram eventos de falhas em seu sistema (MAILHOT *et al.*; 2000)

O Quadro 29 apresenta as pesquisas que usaram a análise de sobrevivência em suas variações como técnica estatística em sistemas de distribuição de águas reais.

Quadro 29 – Técnica da análise de sobrevivência

Modelo		Autores
Análise de sobrevivência	Regressão de Cox	Christodoulou <i>et al</i> (2010)
	Estimador de Kaplan-Meier	Christodoulou <i>et al</i> (2010)
		Agathokleous e Christodoulou (2016)
	Modelo estatístico de Weibull	Mailhot <i>et al.</i> ; (2000)
		Loganathan, Park, Sherali, (2002)
		Xu, Chen e Li (2011)
		Cantos e Juran (2018)
		Snider e McBean (2020)

Fonte: Autor

6.22.1 Regressão de Cox

É um modelo de regressão múltipla aplicado na técnica de análise de sobrevivência, com o intuito de determinar o fator de impacto das variáveis independentes que interferem sobre os fatores de risco, obtendo assim o tempo de vida de um determinado processo ou objeto. É um modelo flexível em que é possível modelar e prever a taxa de falha futura da tubulação.

6.22.2 Pesquisas que usaram a técnica

Christodoulou *et al.* (2010), em seu estudo numa rede de distribuição de água na cidade de Limassol, Chipre, desenvolveram uma análise de sobrevivência do referido sistema de

abastecimento. A técnica estatística utilizada foi a regressão de Cox. Com as informações de possíveis pontos de falhas nos sistemas, os gestores podem tomar melhores decisões nas intervenções no sistema de abastecimento de água.

6.22.3 Estimador de Kaplan-Meier

O modelo é também conhecido como estimador de limite de produto. É uma técnica de análise de sobrevivência. A partir de variáveis predominantes, o método estima o tempo de vida do sistema até que ocorra a falha.

6.22.4 Pesquisas que usaram a técnica

A técnica estatística do estimador de Kaplan-Meier foi utilizada por (CHRISTODOULOU *et al.*; 2010) na intenção de identificar o tempo de vida da tubulação da rede de distribuição de água na cidade de Limassol, Chipre.

Agathokleous e Christodoulou (2016) aplicaram análises estatísticas básicas como forma de trabalhar os valores obtidos para a inserção de dados de entrada na aplicação da análise de sobrevivência em uma rede de distribuição de água em que foi implementado um sistema de fornecimento intermitente do abastecimento com o intuito de reduzir o consumo no período de escassez do recurso hídrico.

6.22.5 Modelo estatístico de Weibull

Sendo também uma técnica da linha de análise de sobrevivência, o modelo estatístico de Weibull, visa determinar o tempo de vida de determinado sistema até que o mesmo venha a ter falhas. Podendo ser aplicado mesmo quando o número de dados é relativamente pequeno o modelo se mostra eficaz e é hoje um dos modelos mais aplicados na indústria.

6.22.6 Pesquisas que usaram a técnica

Mailhot *et al.*; (2000) desenvolveram uma metodologia baseado no modelo estatístico de análise de sobrevivência em um sistema de distribuição de água no município de Chicoutimi,

Canadá. O modelo é baseado na distribuição de Weibull que é capaz de prever falhas futuras mesmo com um pequeno histórico de monitoramento da rede.

Loganathan, Park, Sherali, (2002) aplicaram a análise de sobrevivência baseada no modelo analítico de Weibull, para preverem a taxa de rompimento futura da tubulação no intuito de identificarem quais são os tubos possíveis de serem substituídos dentro de uma análise financeira entre o custo de reparo e substituição.

Xu, Chen e Li (2011) desenvolveram em sua pesquisa, modelos para estimar a quebra da tubulação na rede de distribuição de água da cidade de Pequim, China. Baseados no modelo estatístico de Weibull que identificou que os maiores índices de rompimento estavam relacionados a idade da tubulação e que os eventos ocorreriam com mais frequência quando a tubulação atingisse a idade de 20 anos e em técnicas de algoritmo genético. O objetivo da pesquisa é auxiliar na detecção de falhas futuras para um melhor desempenho dos sistemas de distribuição de água.

Cantos e Juran (2018) aplicaram em sua pesquisa numa rede de distribuição de água em Watrelos, França, um modelo estatístico de análise de sobrevivência baseado em Weibull, para a identificação da relação entre o número de falhas, a idade e a probabilidade de ocorrência de eventos de ruptura da tubulação. O estudo visa orientar os gestores do sistema na tomada de decisões.

Snider e McBean (2020) aplicaram a técnica de análise de sobrevivência proporcional ao risco de Weibull no sistema de abastecimento de água real em um grande centro Canadense composto em sua maioria por tubulações de ferro fundido, para auxiliar os gestores do sistema na detecção de eventos de falhas futuras. O modelo demonstrou eficiência sendo superior a outros modelos de análise de sobrevivência como os de Cox e Poisson.

6.23 Frente de Pareto

Criado pelo Italiano Vilfredo Pareto, a técnica consiste em criar um cenário ótimo em que a mudança de qualquer item do referido cenário não possa ser realizada sem interferir nas demais composições, ou seja, na tentativa de melhora do cenário o mesmo não pode ser feito sem prejudicar os demais.

6.23.1 Pesquisas que usaram a técnica

O Quadro 30 apresenta as pesquisas que usaram a técnica da frente de Pareto como modelo estatístico.

Quadro – 30 Técnica da frente de Pareto

Modelo	Autores
Frente de Pareto	Prasad e Park (2004)

Fonte: Autor

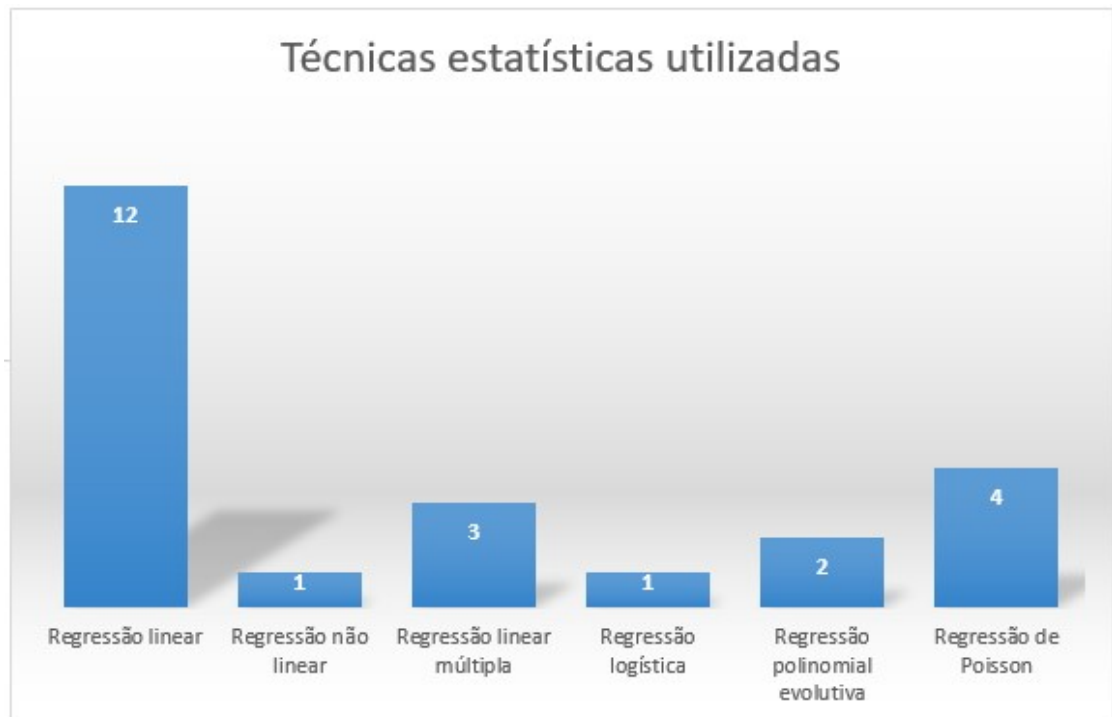
O documento de Prasad e Park (2004) que é o segundo mais citado conforme demonstrado na análise bibliométrica, aplicou a técnica estatística da frente de Pareto para a obtenção de uma maior resiliência do sistema de distribuição de água, visando atender a demanda do sistema em caso de falha do mesmo, obtendo o menor impacto possível nas falhas futuras.

6.24 Resumo das técnicas estatísticas aplicadas

A seguir serão apresentadas as técnicas estatísticas mais empregadas.

A Figura 24 apresenta a quantidade de vezes em que as técnicas de regressão foram aplicadas nas pesquisas analisadas.

Figura 24 – Totalização das técnicas de regressão

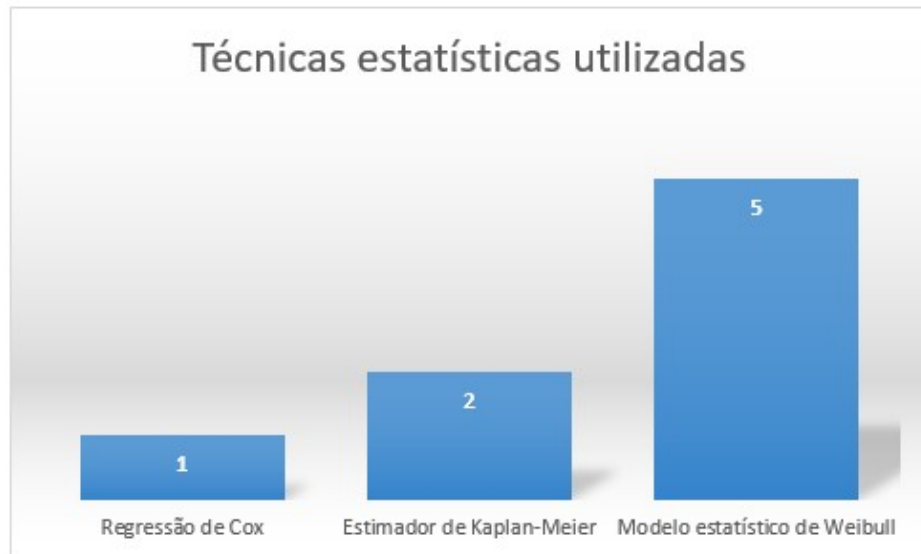


Fonte: Autor

Conforme apresentado na Figura 24, os modelos de regressão foram utilizados em 23 diferentes pesquisas em seis diferentes variações.

Um fator que pode explicar o número de modelos de técnicas de regressão utilizados é o apontado por González e Rodrigues (2020) que mencionam a necessidade de obtenção de dados secundários para a realização de estudos nas redes de distribuição de água. Devido a censura por vezes encontradas nos dados obtidos dos sistemas de distribuição de água, se faz necessário a utilização dos dados secundários e as técnicas de regressão auxiliam na obtenção destas informações.

Figura 25 – Totalização das técnicas de análise de sobrevivência



Fonte: Autor

A Figura 25, traz as variações das técnicas da análise de sobrevivência utilizadas e que foram o segundo modelo mais aplicado. O que vai ao encontro de Mailhot *et al.*; (2000) que citam que os sistemas mecânicos tendem a falhar quando aproximam-se do seu tempo de vida, logo, é coerente que tal técnica esteja entre as mais aplicadas, pois com a falha do sistema ocorre a perda de água que é tema das pesquisas aqui analisadas.

A Figura 26, aponta outra variação de técnica estatística que foi aplicada que é a de tratamento e dispersão de dados e que também estão entre as mais utilizadas.

Figura 26 – Totalização das técnicas de tratamento e dispersão de dados

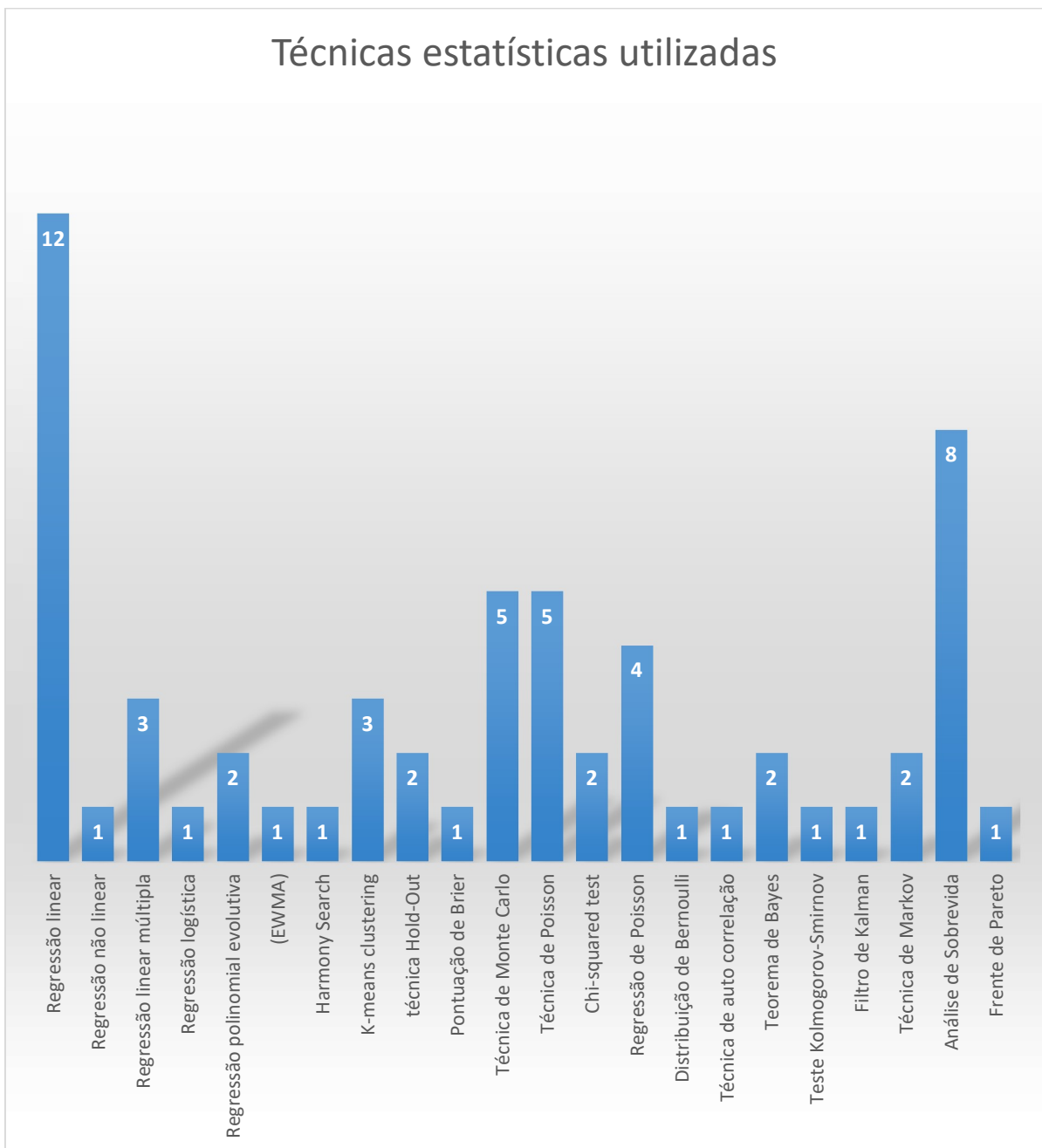


Fonte: Autor

As técnicas de tratamento e dispersão de dados auxiliam no ajustamento dos dados atribuindo pesos, diminuindo a variância e realizando simulações. O que a torna uma técnica de grande valia para pesquisas que tem as redes de distribuição de águas e suas características como alvo de estudos.

Por fim, é apresentado na Figura 27 todas as técnicas estatísticas que foram aplicadas nas pesquisas analisadas que compõem o corpo do presente trabalho.

Figura 27 – Totalização das técnicas estatísticas aplicadas



Fonte: Autor

É possível notar no gráfico apresentado na Figura 27, vinte e duas técnicas estatísticas diferentes aplicadas nos artigos que serviram como base para a realização da revisão sistemática. Modelos como os de regressão, análise de sobrevivência e tratamento e dispersão de dados são os mais empregados conforme foi demonstrado nas Figuras 24, 25 e 26 respectivamente.

Demais modelos são empregados em menores números, o que não significa que sejam ineficazes, afinal, cada pesquisa tem seu objetivo o qual demanda a aplicação de modelos específicos diferentes.

7. CONCLUSÕES

Como foi citado na fundamentação teórica, a água é um recurso finito e vital para a existência humana, logo, toda e qualquer forma de se evitar o desperdício é de suma importância. Neste sentido, o estudo para a redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento se fazem necessários.

Para atingir o objetivo da pesquisa, foi criada uma metodologia com cinco etapas, dando uma visão geral do estado da arte de pesquisas que estudam as redes de distribuição de água.

No presente trabalho foi aplicada uma análise bibliométrica nos metadados obtidos através da base de dados de periódicos Web of science. O objetivo desta análise foi apontar o estado atual da arte, dando um panorama geral sobre as pesquisas que estudam as redes de distribuição de água.

Em um primeiro momento a análise foi realizada com um total de 4150 documentos no intervalo de tempo de 1966 a setembro de 2020, ano em que foi realizada a presente pesquisa. Constatou-se que entre 1966 e 1990 havia pouco esforço denotado por pesquisas que estudavam as redes de distribuição de água. O cenário começa a mudar a partir do início da década de 90, período em que o tema começa a ganhar maiores proporções de pesquisas realizadas, contudo, há que se destacar que mesmo com uma crescente na produção científica o tema ainda apresenta uma média de citações de artigos por ano baixa, indicando que mais pesquisas que estudam o tema precisam ser realizadas.

Geograficamente constatou-se que pesquisas referente ao tema aqui estudado estão sendo realizadas em todo o mundo e as afiliações mais relevantes não estão no mesmo continente, o que mais uma vez indica a difusão do tema pelo mundo. Assim como as afiliações, os autores também são de nacionalidades distintas, sendo de países como Israel, Austrália, Reino Unido, Canadá e Korea, consolidando a importância do tema. Os periódicos também são de países de diferentes continentes, corroborando assim o fato de que o tema de redes de distribuição de água é de suma importância e de senso comum.

Uma observação importante é o apontamento de países que não possuem um grande volume de publicações como Luxemburgo e Marrocos, mas que devido ao número de citações de seus artigos, se tornam países extremamente relevantes e precisam ser utilizados como referências em pesquisas futuras.

A análise bibliométrica também tratou a relevância dos temas que abordam as redes de distribuição de água, apontando temas que começam a cair em desuso como water, drink water,

design, model e reliability e temas que começam a surgir e estão se consolidando como temas mais densos e centrais como optimization, water distribution e water distribution systems.

Pode-se concluir após os resultados obtidos que uma análise bibliométrica é uma importante ferramenta para a obtenção do estado da arte. Com ela é possível ter um melhor entendimento da situação atual no desenvolvimento de pesquisas, familiarizando os pesquisadores com o que há de mais atual e relevante.

Por fim, foi apresentado os modelos estatísticos que foram aplicados nas pesquisas que visam controlar o volume de perdas de água nas redes de abastecimento. As técnicas de regressão são as mais utilizadas e dentre elas a regressão linear se destaca sendo aplicada em 12 estudos diferentes, tal fato vai ao encontro do citado por González e Rodrigues (2020) onde as técnicas de regressão auxiliam no desenvolvimento dos dados secundários.

A análise de sobrevivência em suas variações as quais buscam determinar o tempo de vida do sistema mecânico, também são muito empregadas, tendo o modelo estatístico de Weibull apresentado resultados robustos mesmo quando há poucos dados disponíveis, o tornando um modelo relevante visto que há em grande parte das redes de distribuição de águas censura em seus dados.

O modelo estatístico do filtro de Kalman também é uma importante ferramenta a ser utilizada para pesquisadores que estudam as redes de distribuição de água, onde os dados por vezes são obtidos com ruídos, ruídos estes que podem mascarar informações importantes e que através do filtro de Kalman após o tratamento apresentam dados mais fidedignos.

Demais modelos são aplicados, porém, em menores quantidades o que não significa que são ineficientes. Cada modelo tem sua peculiaridade e de acordo com o objetivo da pesquisa e as necessidades que elas requeiram, modelos outros podem ser empregados.

Sugestões de trabalhos futuros:

- Realizar a análise bibliométrica com dados de mais bases de consultas de periódicos;
- Realizar uma análise bibliométrica apenas com artigos em português e comparar seus índices com os de artigos em inglês;
- Realizar uma revisão sistemática da eficácia dos modelos estatísticos aplicados;
- Realizar um levantamento quantitativo de quantas pesquisas desenvolvidas em redes reais foram efetivamente empregados.

REFERÊNCIAS

- ABDULSHAHEED, A.; MUSTAPHA, F.; GHAVAMIAN, A. A pressure-based method for monitoring leaks in a pipe distribution system: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 69, p. 902–911, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304373>. Acesso em: 05 fev. 2020.
- ABU-SHAMS, I.; RABADI, A. The strategy of restructuring and rehabilitating the greater Amman water network. **International Journal of Water Resources Development**, London, v. 19, n. 2, p. 173-183. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0790062032000089301?casa_token=VdnE13dZ8LwAAAAA:KGiumzBjujxWZJUhpAhBc30sE-jp-97TAU7Az43LIaESewC38goU8snOXzfPLSbVIEfchFyGJPjmZquI. Acesso em: 06 jun. 2020.
- AGATHOKLEOUS, A.; CHRISTODOULOU, S. Vulnerability of urban water distribution networks under intermitente water supply operations. **Water Resour Management**, London, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-016-1450-3>. Acesso em: 03 abr. 2020
- ALKASSEH, J.; ADLAN, M.; ABUSTAN, I.; AZIZ, H.; HANIF, A. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: A case study in Kinta Valley, Malaysia. **Water Resources Management**, London, v. 27, n. 5, p. 1439-1455, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257672704_Applying_Minimum_Night_Flow_to_Estimate_Water_Loss_Using_Statistical_Modeling_A_Case_Study_in_Kinta_Valley_Malaysia. Acesso em: 27 jan. 2020.
- ARANDIA, E.; ECJ, B. J. An R package for EPANET simulations. **Environmental modelling and software**, Utah, v. 107, p. 59-63, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815218300963>. Acesso em: 05 fev. 2020.
- ARREGUÍN-CORTES, F.; OCHOA-ALEJO, L. Evaluation of water losses in distribution networks. **Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 123, n. 5, p. 284-291, 1997. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1997\)123:5\(284\)?casa_token=547RZb0p1bAAAAA:HvLLMqj-4FMGZoR7pOP4BwNvJHW3yAe0EHtf8LIumNZTq0XBKdfVVsjpnasMY-YmXejo9gpz6yyy](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(1997)123:5(284)?casa_token=547RZb0p1bAAAAA:HvLLMqj-4FMGZoR7pOP4BwNvJHW3yAe0EHtf8LIumNZTq0XBKdfVVsjpnasMY-YmXejo9gpz6yyy). Acesso em: 01 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. São Paulo: ABES, 2013. 45p. Disponível em: <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

CALZADA, M. E.; SCARIANO, S. M. The robustness of the MaxEWMA chart to Non-normality. **Communications in Statistics Part B: Simulation and Computation**, New York, v. 32, n. 2, p. 573-590, 2003. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/SAC-120017507>. Acesso em: 27 mai. 2020.

CANNAROZZO, M.; CRIMINISI, A.; GAGLIARDI, M.; MAZZOLA, M. R. Statistical analysis of water main failures in the distribution network of na Italian municipality.

CHARALAMBOUS, B.; FOUFEAS, D.; PETROULIAS, N. Leak detection and water loss management. **Water Utility Journal**, Atenas, v. 8, P. 25-30, 2014. Disponível em: https://www.ewra.net/wuj/pdf/WUJ_2014_08_03.pdf. Acesso em: 01 jun. 2020.

CHEN, T. Y.; GUIKEMA, S. D. Prediction of water main failures with the spatial clustering of breaks. **Reliability Engineering and System Safety**, New York, v. 203, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832020306098>. Acesso em: 25 jul. 2020.

CHINI, C. M.; STILLWELL, A. S. The State of U. S. Urban Water: Data and the Energy-Water Nexus. **Water Resources Research**, Washington, v. 54, n. 3, p. 1796-1811, 2018. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017WR022265>. Acesso em: 18 abr. 2020.

CHRISTODOULOU, S.; AGATHOKLEOUS, A.; CHARALAMBOUS, B.; ADAMOY, A. Proactive risk-based integrity assessment of water distribution networks. **Water Resource Management**, London, v. 24, n. 13, p. 3715-3730, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-010-9629-5>. Acesso em: 03 abr. 2020.

CODINA, A. M.; FELGUEROSO, L. C.; CASTILLO, M.; GARROTE, L. Use of pressure management to redce the probability of pipe breaks: A Bayesian approach. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 141, n. 9, p. 1-12, 2015. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0000519?casa_token=75ocX6GQXMMAAAAA%3A0Ovj10VQHM92ro4NbetHu8M2ShSGnVjk0Ekc2CM7pAsXWPz2ewVxvDBrVL9Pgsr73F6cmT6k_3As. Acesso em: 03 abr. 2020.

COVAS, D.; RAMOS, H.; ALMEIDA, A. B. Standing wave difference method for leak detection in pipeline systems. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, v. 131, n. 12, p. 1106-1116. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28asce%290733-9429%282005%29131%3A12%281106%29?casa_token=GeQHN0oizAsAAAAA%3AAaUJ1jUG_PoOq-3xQ6fSsJbbvfBCedC_T3w_qw9u83enej3DhaDj5nbXdl6vPEQRRWyB16acH5us. Acesso em: 02 jun. 2020.

COZZOLINO, L.; MUCHERINO, C.; PIANESE, D.; PIROZZI, F. Positioning, within water distribution networks, of monitoring stations aiming at an early detection of intentional contamination. **Civil engineering and environmental systems**, New York, v. 23, n. 3, p. 161–174, 2006. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10286600600789359?casa_token=PTCAPR2EGhwAAAAA%3Ah7S774DITVFI3AQx9lAd-q9abRpeXoxS4Cy9QhOFaQx962SFuU4wbqKfX9YYgOByGIczV494PKgJtp1M. Acesso em: 14 mai. 2020.

EGGHE, L. Theory and practise of the g-index. **Scientometrics**, Switzerland, v. 69, n. 1, p. 131-152, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11192-006-0144-7>. Acesso em: 07 out. 2020.

EUSUFF, M. M.; LANSEY, K. E. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v. 111, p. 210-226, 2003. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282003%29129%3A3%28210%29>. Acesso em: 30 jul. 2020.

FARMANI, R.; WALTERS, G. A.; SAVIC, D. A. Trade-off between total cost and reliability for Anytown water distribution network. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 131, n. 3, 2005. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282005%29131%3A3%28161%29>. Acesso em: 16 dez. 2019.

FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LOGGIA, G. L.; NOTARO, V.; PULEO, V. A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network. **Urban Water Journal**, London, v. 9, n. 6, p. 419-428, 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.690434?journalCode=nurw20>. Acesso em: 01 jun. 2020.

GEEM, Z. W.; KIM, J. H.; LOGANATHAN, G. V. A new heuristic optimization algorithm: Harmony Search. *Simulation*, New York, v. 76, n. 2, p. 60-68, 2001. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/003754970107600201>. Acesso em 27 mai. 2020

GHEISI, A. R.; NASER, B. On the significance of maximum number of components failures in reliability analysis of water distribution systems. **Urban Water Journal**, London, v. 10, n. 1, p. 10-25, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/254220811_On_the_significance_of_maximum_number_of_components_failures_in_reliability_analysis_of_water_distribution_systems. Acesso em: 01 jun. 2020.

GIUSTOLISI, O.; SAVIC, D.; KAPELAN, Z. Pressure-driven demand and leakage simulation for water distribution networks. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, v. 134, n. 5, p. 626-635, 2008. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282008%29134%3A5%28626%29?casa_token=aAHPGCbIvNEAAAAA%3AMuv4tk5ROO4SFPq1uYCHUYrYSFBccnmeBT19niZZwapD5iX5yxHMiKely5-LdGOI0gkYpK5FBSCW. Acesso em: 03 jun. 2020.

- GONZÁLEZ, M. M. G.; RODRÍGUES, J. P. Comparison of statistical and machine learning models for pipe failure modeling in water distribution networks. **Water**, Basel, v. 12, n. 4, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1153>. Acesso em: 25 jul. 2020.
- HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 102, n. 46, 2005. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/102/46/16569?pagewanted=all>. Acesso em: 07 out. 2020.
- HOLNICKI-SZULC, J.; KOLAKOWSKI, P.; NASHER, N. Leakage detection in water networks. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, New York, v. 16, p. 207-219, 2005. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=Leakage+detection+in+water+networks&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Acesso em: 01 jun. 2020.
- HU, C.; SHU, X.; YAN, X.; ZENG, D.; CONG, W.; WANG, L. Inline wireless mobile sensors and fog nodes placement for leakage detection in water distribution systems. **Software – Practice and experience**, New York, v. 50, n. 7, p. 1152-1167, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez38.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/spe.2631>. Acesso em: 09 out. 2020.
- HUNAIDI, O.; WANG, A. A New system for locating leaks in urban water distribution pipes. **International Journal of Management of Environmental Quality**, Reston, v. 17, n. 4, p. 450-466, 2006. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/14777830610700928/full/html?casa_to ken=wPUx0173JPYAAAAA:N7Sm_u-Y1n4GVtKlvSvZVLGs4PpD8Uqor30WjhSx287pm0V__XRiBNnM4ZpfbPSUz8lQOMHtBkN6LP1x0FofDmKzzSaretasJp23iA_3izDGf8QDK6Ww. Acesso em: 02 jun. 2020.
- HUNAIDI, O.; WANG, A.; BRACKEN, M.; GAMBINO, T.; FRICKE, C. Acoustic methods for locating leaks in municipal water pipe networks. In *International Water Demand Management Conference*, Dead Sea, Jordan. Retrieved in 11 December 2015. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.6.3793&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 01 jun. 2020.
- KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S. Using the bimonthly water balance of a non-fully monitored water distribution network with seasonal water demand peaks to define its actual NRW level: the case of Kos town, Greece. **Urban Water Journal**, London, v. 11, n. 5, p. 348-360, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2013.806563>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- KARADIREK, I. E.; KARA, S.; YILMAZ, G.; MUHAMMETOGLU, A.; MUHAMMETOGLU, H. Implementation of hydraulic modelling for water-loss reduction through pressure management. **Water Resources Management**, Bern, v. 26, n. 9, p. 2555–2568, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-012-0032-2>. Acesso em: 18 abr. 2020.

KIM, Y.; LEE, S. J.; PARK, T.; LEE, G.; SUH, J. C.; LEE, J. M. Robust leakage detection and interval estimation of location in water distribution network. **IFAC-PapersOnLine**, Laxenburg, v. 28, n. 8, p. 1264-1269. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315012239>. Acesso em: 04 abr. 2020

Lambert, A. O. Accounting for Losses: the bursts and background concept. **Water and Environment Journal**, London, p. 205-214, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/229918719_Accounting_for_Losses_The_Bursts_and_Background_Concept. Acesso em: 02 jun. 2020.

LIU, J.; LANSEY, K. E. Multiphase DMA design methodology based on graph theory and many-objective optimization. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v. 146, n. 8, 2020. Disponível em: <https://ascelibrary-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0001267>. Acesso: 05 out. 2020.

LUBOMIR, C.; MILAN, CISTY. RIRR – New open-source model for the design, analysis and modelling of irrigations systems. **Hydrology and Water Resources**, Bern, v. 3, p. 251-258, 2016. Disponível em: <https://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article8684>. Acesso em: 28 jan. 2020.

MAIER, H. R.; SIMPSON, A. R.; ZECCHIN, A. C.; FOONG, W. K.; PHANG, K. Y.; SEAH, H. Y.; TAN, C. L. Ant Colony Optimization for Design of Water Distribution Systems. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v.111, p. 200-210, 2003. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282003%29129%3A3%28200%29>. Acesso em: 30 jul. 2020

MELIA, D. M.; REY, P. L. I.; SOLANO, F. J. M.; MIQUEL, V. S. Design of water distribution networks using a pseudo-genetic algorithm and sensitivity of genetic operators. **Water resour management**, London, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-013-0400-6>. Acesso em: 03 abr. 2020.

MESQUITA, A. M.; RUIZ, R. M. A financial economic model for urban water pricing in Brazil. **Urban Water Journal**, London, v. 10, n. 2, p. 85-96, 2012. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=A+financial+economic+model+for+urban+water+pricing+in+Brazil&btnG=. Acesso em: 05 jun. 2020.

SHEKOFTEH, M.; GHAZIZADEH, M. J.; YAZDI, J. A methodology for leak detection in water distribution networks using graph theory and artificial neural network. **Urban Water Journal**. London, v. 17, n. 6, p. 525-533, 2020. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez38.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1080/1573062X.2020.1797832>. Acesso em 09 out. 2020.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Group decision-making for leakage management strategy of water network. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdã, v. 52, n. 2, p. 441-459, 2007. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344907001449?casa_token=cnF3ST1L5JEAAAAA:qaI2sa_rWL_fioB7HeB4R2moKW8OOCcft2xPd5at9puKQFKi6W5gh3ye_IAPL6VCkfA25xqEGNg. Acesso em: 01 jun. 2020.

NAM, K.; IFAEL, P.; HEO, S.; RHEE, G.; LEE, S.; YOO, C. An eficiente byrst detection and isolation monitoring system for water distribution networks using multivariate statistical techniques. **Sustainability**, Bern, v. 11, n. 10, 2019. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2970>. Acesso em: 03 mar. 2020

NAZIF, S.; KARAMOUZ, M.; TABESH, M.; MORIDI, A. Pressure management model for urban water distribution networks. **Water Resources Management**, London, v. 135, n. 3, p. 437-458, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-009-9454-x>. Acesso em: 02 jun. 2020.

NICOLINI, M.; ZOVATTO, L. Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. **Journal of Water Ressources Planning and Management**, Reston, v. 135, n. 3, 2009. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282009%29135%3A3%28178%29>. Acesso em: 16 dez. 2019.

NISIC, B. J.; MAKSIMOVIC, C.; BUTLER, D.; GRAHAM, N. J. D. Use of flow meters for managing water supply networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 130, n. 2, p. 171-179, 2004. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/248880248_Use_of_Flow_Meters_for_Managing_Water_Supply_Networks. Acesso em: 18 abr. 2020

NISIC, B. J.; GRAHAM, N. J. D.; MAKSIMOVIC, C.; BUTLER, D. Cost-effective leakage reduction through district metering. **Water Resour Management**, London, p. 181-187.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/239410454_Cost-effective_leakage_reduction_through_district_metering. Acesso em: 03 abr. 2020.

OSTFELD, A. *et al.* The battle of the water sensor networks (BWSN): A design challenge for engineers and algorithms. **Journal of Water Resources Planning and Management**,

Reston, v. 134, n. 6, p. 556-569, 2007. Disponível em:

<https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282008%29134%3A6%28556%29>. Acesso em 30 jul. 2020.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4 ed. São Carlos: EESC – USP, 2006.

PRASAD, T.; PARK, N. Multiobjective genetic algorithms for design of water distribution networks. **Journal of water resources planning and management**, Reston, v. 130, n. 1, p. 73-82, 2004. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:1(73)?casa_token=-)

[9496\(2004\)130:1\(73\)?casa_token=-RrMrwRK5qIAAAAA:5G9oYmZkvGyyRpAJbY2jd5Rcjne-DXIWnsOljCVoXX7Ar4BNK41jtchSYdOWX6gKqcyDsxM4WZ9SFA](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:1(73)?casa_token=-RrMrwRK5qIAAAAA:5G9oYmZkvGyyRpAJbY2jd5Rcjne-DXIWnsOljCVoXX7Ar4BNK41jtchSYdOWX6gKqcyDsxM4WZ9SFA). Acesso em 30 jul. 2020.

PUUST, R.; KAPELAN, Z.; SAVIC, D. A.; KOPPEL, T. A review of methods for leakage management in pipe networks. **Urban Water Journal**, London, v. 7, n. 1, p. 25-45, 2010.

Disponível em:

<https://iahr.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15730621003610878#.Xfe7XGRKiUk>. Acesso em: 16 dez. 2019.

SAEGROV, S.; SCHILLING, W.; ROSTUM, J.; TUHOVCAK, L.; EISENBEIS, P.; HERZ, R.; LEGAUFFRE, P.; BAPTISTA, J. M.; CONROY, P.; FEDERICO, V.; MAZZACANE, S.; SCHIATTI, M. Computer-aided rehabilitation of water networks (CARE-W). **Water Science and technology**, London, v. 3, n. 1, p. 19-27, 2003. Disponível em:

<https://iwaponline.com/ws/article/3/1-2/19/25723/Computer-aided-rehabilitation-of-water-networks>. Acesso em: 27 jan. 2020.

SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. Genetic algorithms for least-cost design of water distribution networks. **Journal of resources planning and management**, Reston, 1997.

Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282003%29129%3A3%28210%29>. Acesso em: 30 jul. 2020.

SEMPEWO, J. I.; KYOKAALI, L. Prediction of the future condition of a water distribution network using a Markov based approach: A case study Kampala water. **Procedia Engineering**, London, v. 154, p. 374-383, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816318847>. Acesso em: 03 abr. 2020.

SILVA, A. T. Y. L. **Proposição de estratégia operacional ótima em rede de distribuição de água**. 2019. Dissertação (Mestrado em meio ambiente e recursos hídricos) – Afiliação Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1910>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SILVA, F. G. B. **Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos**. 2003. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Afiliação de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23112016-163209/pt-br.php>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SNIDER, B.; McBEAN, E. A. Improving urban water security through pipe-break prediction models: Machine learning or survival analysis. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v. 146, n. 3, p. 1-9, 2020. Disponível em:

https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0001657?casa_token=7zy3FIVW9NoAAAAA%3A1Te4wL9u8fznDubWyw7pCSZdmZPOrFNaGcEQZH2HdW7xjw2BsWLd51E_A8Xgx3B3XxiCr4wNSS3z. Acesso em: 25 jul. 2020.

SURENDRAN, S.; MAHARAJ, K. T. Effectiveness of log-logistic distribution to model water-consumption data. **Aqua**, London, v. 67, n. 4 p. 375-383, 2018. Disponível em:

<https://iwaponline.com/aqua/article-abstract/67/4/375/39004/Effectiveness-of-log-logistic-distribution-to?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SUZUKI, R.; SHIMODAIRA, H. Pvclost: An R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering. **Bioinformatics**, Oxford, v. 22, n. 12, p. 1540-1542. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioinformatics/article/22/12/1540/207339>. Acesso em: 06 fev. 2020.

TABESH, M.; ROOZBAHANI, A.; ROGHANI, B.; SALEHI, S.; FAGHIHI, N. R.; HEYDARZADEH, R. Prioritization of non-revenue water reduction scenarios using a risk-based group decision-making approach. **Stochastic environmental research and risk assessment**, New York, v. 34, n. 11, p. 1713-1724, 2020. Disponível em: [https://link-springer-com.ez38.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs00477-020-01858-1](https://link.springer-com.ez38.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs00477-020-01858-1). Acesso em: 01 nov. 2020.

TABESH, M.; SHIRZAD, A.; AREFKHANI, A. V. A comparative study between the modified and available demand driven based models for head driven analysis of water distribution networks. **Urban Water Journal**, London, v. 11, n. 3, p. 221-230, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2013.783084>. Acesso em: 03 jun. 2020.

TANYIMBOH, T. T.; TIETAVAINEN, M. T.; SALEH, S. Reliability assessment of water distribution systems with statistical entropy and other surrogate measures. **Water Science & technology: Water supply**, London, v. 11, n. 4, p. 437-443, 2011. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/11/4/437/25197/Reliability-assessment-of-water-distribution>. Acesso em: 03 abr. 2020.

TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Using ELECTRE TRI to support maintenance of water distribution networks. **SOBRAPO Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 2, p. 423-442, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382012005000013&script=sci_arttext. Acesso em: 03 jun. 2020.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: USP, 2006.

VÍTKOVSKÝ, J. P.; SIMPSON, A. R.; LAMBERT, M. F. Leak detection and calibration using transients and genetic algorithms. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 126, n. 4, 2000. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2000\)126:4\(262\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(2000)126:4(262)). Acesso em: 16 dez. 2019.

WANG, X.; FANG, Z.; SUN, X. Usage patterns of scholarly articles on Web of science: A study on Web of science usage count. **Scientometrics**, New York, v. 109, n. 2, p. 917-926, 2016. Disponível em: <https://link-springer-com.ez38.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11192-016-2093-0>. Acesso em: 11 nov. 2020.

WANG, X. J.; LAMBERT, M. F.; SIMPSON, A. R.; LIGGETT, J. A.; VÍTKOVSKÝ, J. P. Leak detection in pipelines using the damping of fluid transients. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, n. 7, v. 128, p. 697-711, 2002. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=Leak+detection+in+pipelines+using+the+damping+of+fluid+transients&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Acesso em: 01 jun. 2020.

WANG, Y.; ZAYED, T.; MOSELHI, O. Prediction models for annual break rates of water mains. **Journal of performance of constructed facilities**, New York, p. 47-54, 2009. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290887-3828%282009%2923%3A1%2847%29?casa_token=n-SerJQay60AAAAA%3AezkNQym1hGTp-gljgvJ4skbw_S5MWweaot58VkzoVACKUh6A-CWpv40bAp4kNR1-vTn9x0AvRR58. Acesso em: 03 abr. 2020.

WARD, B.; SELBY, A.; GEE, S.; SAVIC, D. Deterioration modelling of small-diameter water pipes under limited data availability. **Urban Water Journal**, London, n. 7, v. 14, p. 743-749, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2016.1254252>. Acesso em: 16 abr. 2020

WOLS, B. A.; THIENEN, P. V. Impacto f weather conditions on pipe failure: A statistical analysis, **Journal of water supply: Research and technology**, London, p. 212-224, 2014. Disponível em: <https://iwaponline.com/aqua/article/63/3/212/29177/Impact-of-weather-conditions-on-pipe-failure-a>. Acesso em: 03 abr. 2020.

WU, Z. Y. Unified parameter optimization approach for leakage detection and extended-period simulation model calibration. **Urban Water Journal**, London, n. 1, v. 6, p. 53-67, 2009. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15730620802541631?casa_token=yujcf87Kt8gAAAAA%3AT9D6dnjFJd6rlwf5Y-ExqiSO9YmhtOZhHPb8fhD1dFWTX4jLzJUIwDIbcu5nYHroSUIDmH8ELNN-COdf. Acesso em: 01 jun. 2020.

WU, Z. Y.; SAGE, P.; TURTLE, D. Pressure-dependent leak detection model and its application to a district water system. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, n. 1, v. 136, p. 116-128, 2010. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282010%29136%3A1%28116%29?casa_token=De8aLlYK3KMAAAAAA%3AsO7_Pzcpigs2hTfdBT4auvRCHbPVXl3mte58XIWeyXD8o-aVtHzPTBozIRIIP5iPa3oaAKICWE9J. Acesso em: 01 jun. 2020.

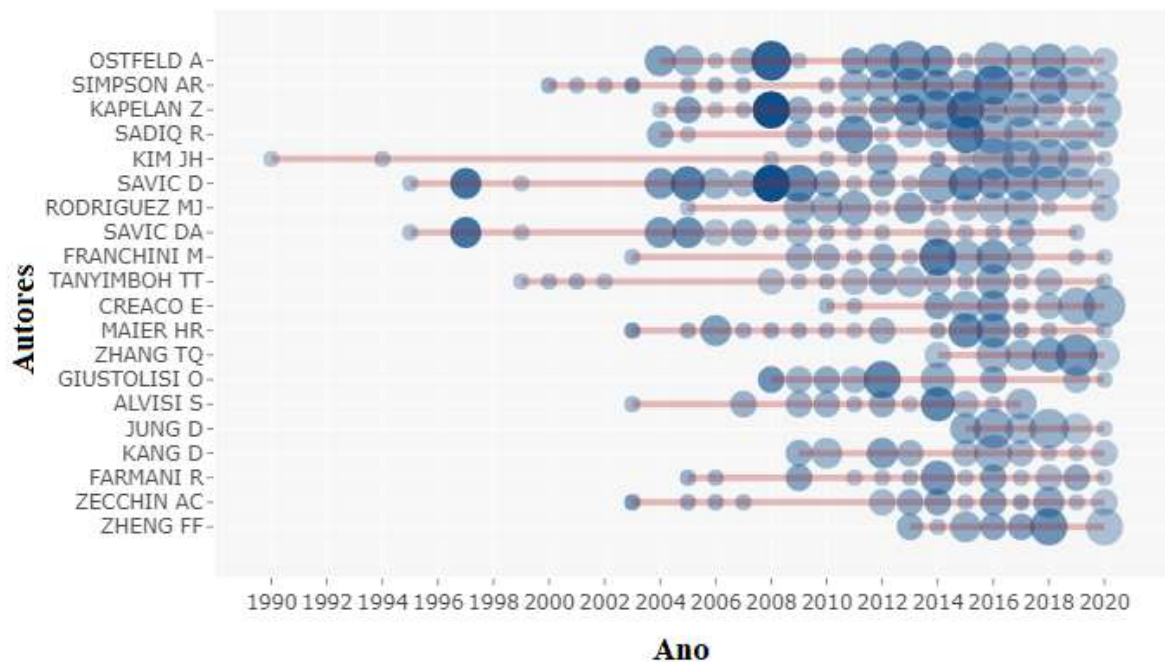
WU, Z. Y.; WANG, R. H.; DIEZO, D.; WALSKI, T. Mining water consumption and GIS-based data for loading water distribution models. In *World Water and Environmental Resource Congress* (pp. 1-9), Philadelphia, USA. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40685\(2003\)23](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40685(2003)23). Acesso em: 01 jun. 2020.

XU, Q.; CHEN, Q.; LI, W. Application of genetic programming to modeling pipe failures in water distribution systems. **Journal of Hydroinformatics**, London, n. 3, v. 13, p. 419-428, 2011. Disponível em: <https://iwaponline.com/jh/article/13/3/419/3062/Application-of-genetic-programming-to-modeling>. Acesso em: 19 maio. 2020

XU, Q.; QIANG, Z.; CHEN, Q.; LIU, K.; CAO, N. A superposed model for the pipe failure assessment of water distribution networks and uncertainty analysis: A case study. **Water Resour Manage**, London, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1899-8>. Acesso em: 04 abr. 2020

APÊNDICE A

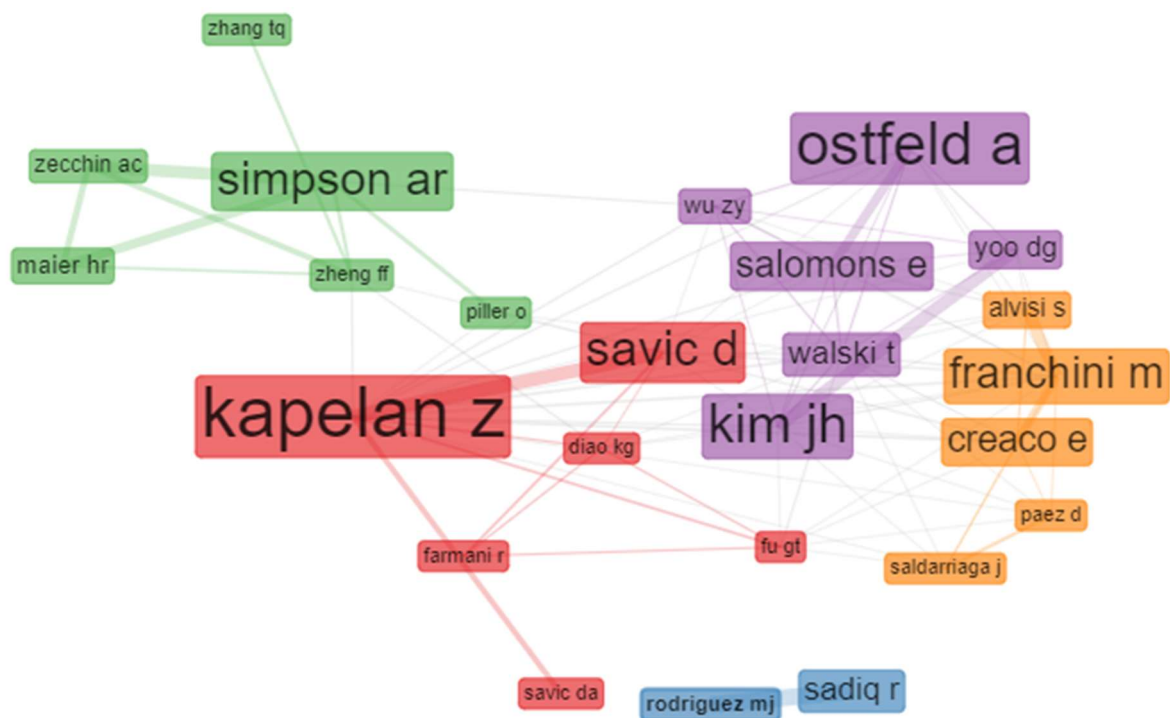
Apêndice A - Produção dos 20 principais autores ao longo do tempo



Fonte: Autor

APÊNDICE B

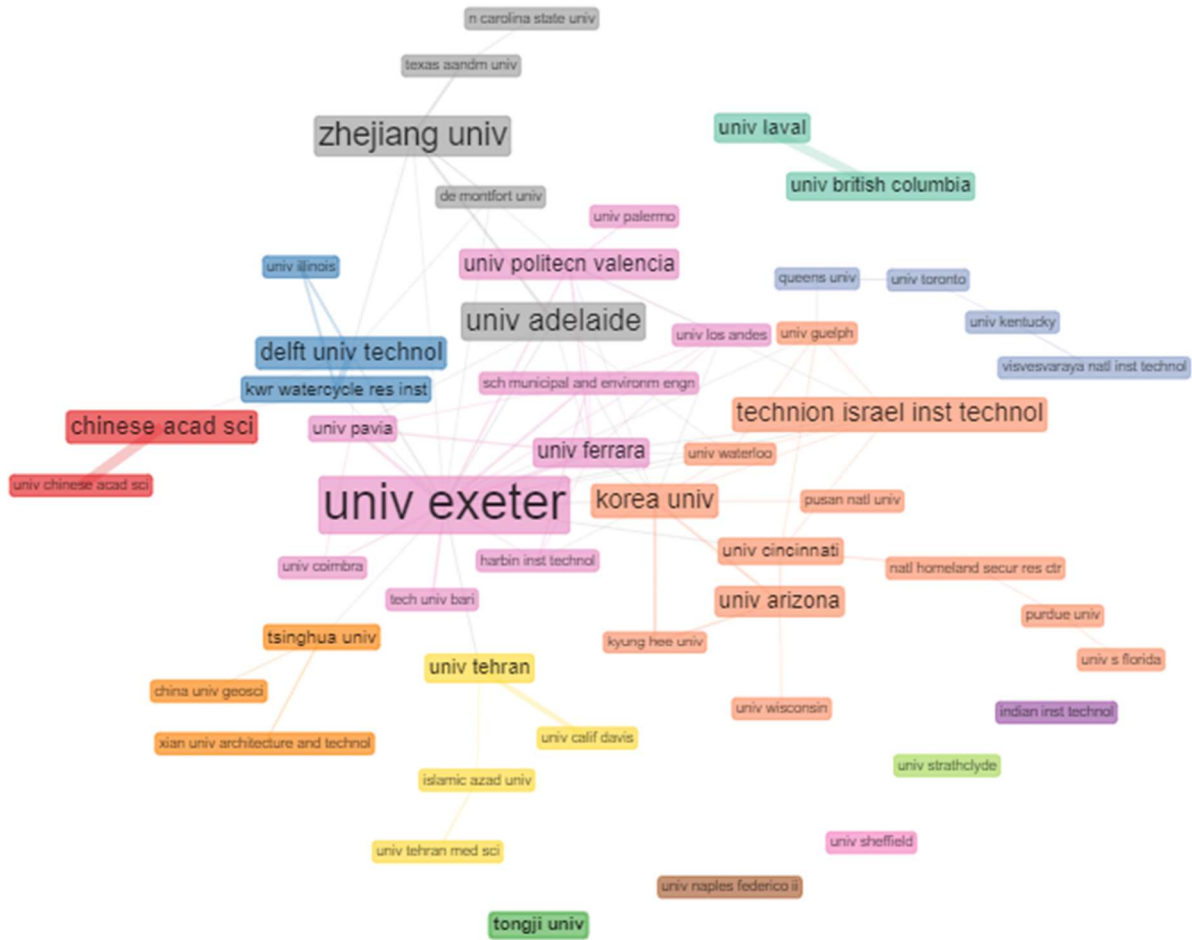
Apêndice B – Rede de colaboração entre os autores



Fonte: Autor

APÊNDICE C

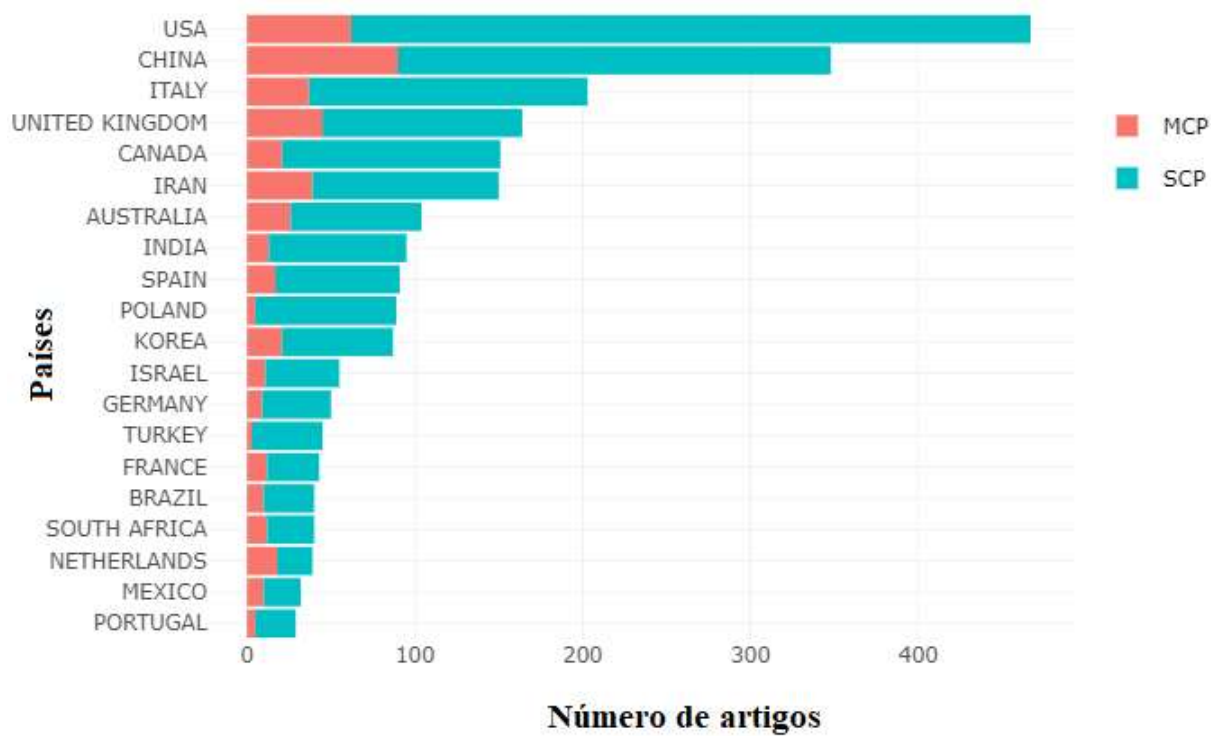
Apêndice C – Rede de colaboração das 50 afiliações mais produtivas



Fonte: Autor

APÊNDICE D

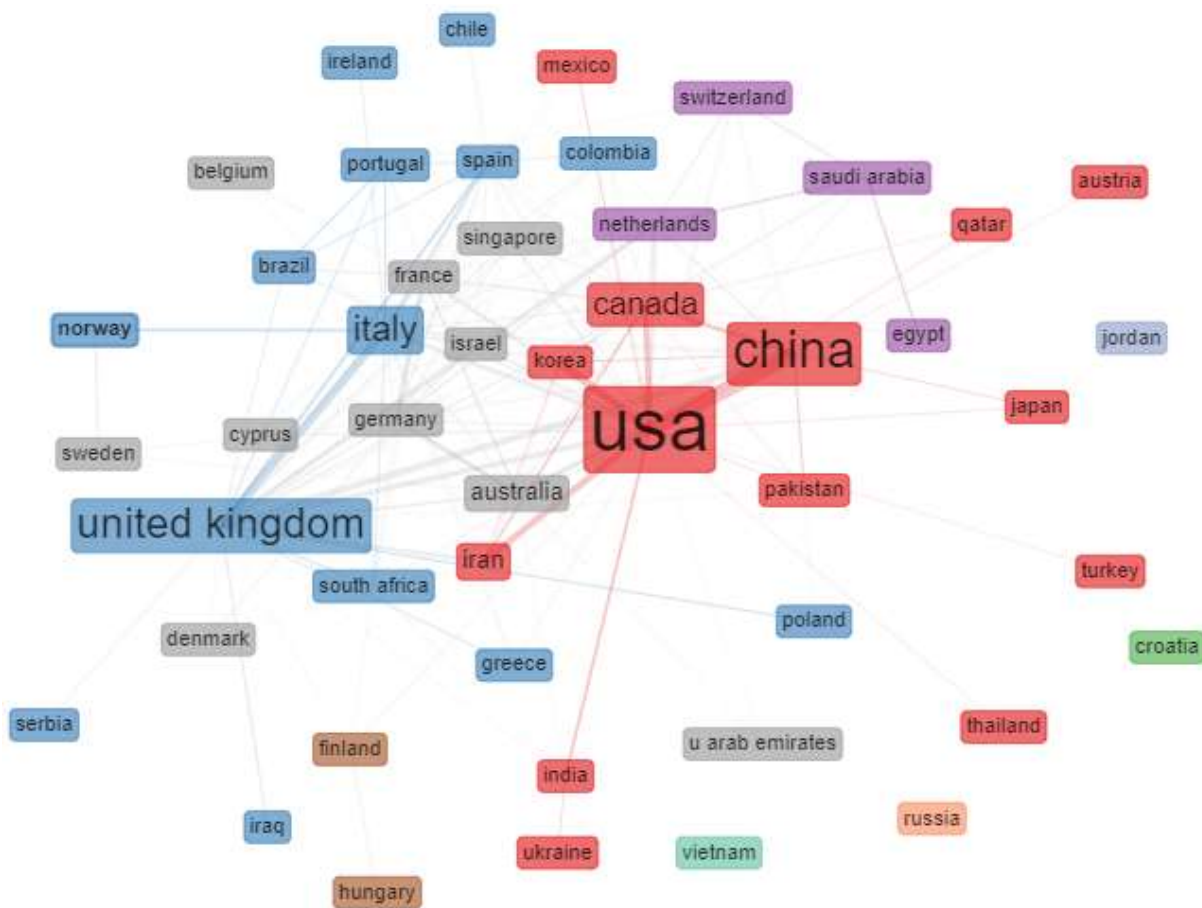
Apêndice D – Colaboração entre países



Fonte: Autor

APÊNDICE E

Apêndice E - Rede de colaboração entre os 50 principais países



Fonte: Autor