

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**FELIPE FRANCISCO NUSDA**

**PROPOSTA DE MODELO PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES DE  
COMPORTAMENTO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA VISANDO A REDUÇÃO DE  
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**FELIPE FRANCISCO NUSDA**

**PROPOSTA DE MODELO PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES DE  
COMPORTAMENTO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA VISANDO A REDUÇÃO DE  
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO**

**Modeling proposal to guide the decision-making process at water distribution  
systems management oriented to losses reduction**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia de  
Produção, do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção / PPGEPP da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski  
Coorientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Negri Pagani

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



---

FELIPE FRANCISCO NUSDA

**PROPOSTA DE MODELO PARA RECONHECIMENTO DE PADRÕES DE COMPORTAMENTO DE  
VAZAMENTOS DE ÁGUA VISANDO A REDUÇÃO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 04 de Maio de 2023

Dr. Ariel Orlei Michaloski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Michael David De Souza Dutra, Doutorado - Universidade Federal de Goiás (UFG)

Dra. Rosangela De Fatima Stankowitz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 04/05/2023.

Esse trabalho é dedicado a todos que contribuíram para que eu chegasse até esse momento. Em especial a minha esposa Carla, pois ela se dedica integralmente para cuidar de mim.

## AGRADECIMENTOS

Acredito que é a gratidão que nos torna seres mais completos. E é desejando essa completude que me percebo uma construção trina, à despeito do maniqueísmo que, aparentemente, rege nosso plano físico.

Na primeira dimensão, onde elevo minha gratidão ao topo da pirâmide, está Deus - O Grande Arquiteto do Universo; pois é ele que sustenta a minha criação e recriação para se tornar algo melhor que um boneco de barro preenchido de *pneuma*. Ele, e não o Demiurgo criador de nosso plano físico nos faz sua feitura e manifesta por meio de Sua Essência. Ele, um arquiteto capaz de criar toda sorte de processos que ajudam o homem a evoluir, degrau após degrau, e é por essa razão que eu agradeço com as seguintes palavras: Deus que habita meu coração, que eu possa ser grato por Tuas inúmeras bênçãos, pela Tua Luz, Vida e Amor que tenho recebido. Que meus esforços sejam sempre inspirados por Ti e que eu me torne, cada dia mais, consciente de Tua presença e orientação divina. Santifica meu coração e minha mente para que eu possa sempre refletir Teu Amor e Tua Divina Sabedoria. Assim seja!

Na base direita, agradeço a minha família. De maneira especial, aos meus pais Vilmar e Ivonete e a minha esposa Carla. Cada um deles tem meu amor intenso, sincero e incondicional e é por eles que eu caminho, que aprendi a andar com retidão e a lutar para que as nossas existências sejam cheias da mística que transforma nossos atos, desde os mais simples, em esquadro e compasso para que sejamos instrumentos para construir um mundo melhor.

Na base esquerda encontram-se os mestres de processo. Professores que dedicam seu tempo e se propuseram a compartilhar comigo, reles aprendiz, a luz do conhecimento. Sou profundamente grato ao Ariel Orlei Michaloski e a Regina Negri Pagani. Cada contribuição nesse processo foi uma joia preciosa. Agradeço, também, porque as características de cada um complementaram dimensões diferentes que eu precisava, profundamente, trabalhar para aparar algumas arestas.

A trilha ainda é longa, mas graças a Deus, à família e aos mestres hoje posso dizer que avancei mais um degrau na direção de construção de um Eu melhor.

“Quem conhece os fatos da natureza é instruído – quem realiza valores dentro de si mesmo é educado” (ROHDEN, 2005).

A Lei da Selva explica claramente que quando um lobo se casa ele pode abandonar a matilha à qual pertence. No momento em que seus filhotes tiverem crescido e puderem se virar sozinhos, ele deve levá-los ao Conselho da Alcateia, que geralmente acontece todo mês, na lua cheia, para que os outros lobos possam identificá-los. Depois dessa inspeção, os filhotes estão livres para ir aonde quiserem e, até que tenham matado sua primeira grande presa, nenhuma desculpa é aceita caso um lobo adulto da matilha mate algum deles. A punição é a morte no local em que o assassino for encontrado; e, se pensarmos um pouco, é assim mesmo que deve ser.

(KIPLING, 2016)

## RESUMO

O gerenciamento de vazamentos em redes de distribuição de água tratada é um desafio significativo para as concessionárias de saneamento. Com o aumento da demanda por água devido ao crescimento populacional e às mudanças climáticas, a operação eficiente e sustentável das redes de distribuição se torna essencial para mitigar as perdas. Este estudo aborda a gestão dos recursos hídricos e os impactos negativos das perdas no processo de gerenciamento desse recurso. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica e de campo em uma concessionária de saneamento ambiental. Com base nos princípios ESG (*environmental, sustainability, governance*), o estudo destaca a importância de melhorar a eficiência na distribuição (dimensão ambiental), reduzir as perdas para garantir um fornecimento regular de água (dimensão social) e garantir conformidade com regulamentos e normas (dimensão governança). Encontrar ferramentas para otimizar o gerenciamento de perdas é fundamental. A contribuição mais relevante desse estudo é a possibilidade de ser adotado por todos os envolvidos na universalização do acesso à água tratada. Os resultados destacaram desafios como monitoramento em tempo real, detecção de vazamentos, otimização de dados, automação de processos e integração de sistemas, que podem ser superados com a aplicação de métodos da tecnologia da informação. O uso de *machine learning* é apontado como uma solução promissora para a detecção de vazamentos, permitindo análise de dados em tempo real, detecção em áreas de difícil acesso, modelagem de pressão e fluxo de água e análise de padrões de consumo para identificar vazamentos de maneira mais rápida e precisa.

**Palavras-chave:** sistemas de distribuição de água tratada; redução de perdas por vazamentos; avaliação de maturidade de processos; ferramentas de apoio à tomada de decisão; ciência de dados.

## **ABSTRACT**

Managing leaks in treated water distribution networks poses a significant challenge for sanitation utilities. With the increasing demand for water due to population growth and climate change, the efficient and sustainable operation of distribution networks becomes essential to mitigate losses. This study addresses water resource management and the negative impacts of losses on the management process. A literature review and field research were conducted at a sanitation utility. Based on the principles of ESG (Environmental, Social, Governance), the study highlights the importance of improving distribution efficiency (environmental dimension), reducing losses to ensure regular water supply (social dimension), and ensuring compliance with regulations and standards (governance dimension). Finding tools to optimize loss management is crucial. The most relevant contribution of this study is its potential adoption by all stakeholders involved in the universalization of access to treated water. The results identified challenges such as real-time monitoring, leak detection, data optimization, process automation, and system integration, which can be overcome by applying information technology. Machine Learning is highlighted as a promising solution for leak detection, enabling real-time data analysis, detection in hard-to-reach areas, modeling of water pressure and flow, and analysis of consumption patterns to identify leaks more quickly and accurately.

**Keywords:** treated water distribution systems; leak reduction; process maturity assessment; decision support tools; data science.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Escassez hídrica em 2010 .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 2 – Representação dos tipos de vazamentos .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3 – Pilares da gestão operacional .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4 – Fluxograma da análise quantitativa .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 5 – Fluxograma da metodologia aplicada neste estudo .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 6 – Processo ETL .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 7 – Funcionamento do algoritmo de machine learning.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 8 – Proposta de roadmap para avaliação de maturidade.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 9 – Procedimentos para confiabilidade na gestão de perdas .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 10 – Fluxograma da varredura sistemática .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 11 – Fluxograma dos procedimentos adotados .....</b>	<b>112</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Motivos causadores de vazamentos em janeiro de 2022 .....</b>	<b>110</b>
<b>Gráfico 2 – Peças substituídas em fevereiro de 2022 .....</b>	<b>111</b>
<b>Gráfico 3 – Comparativo IPL Realizado x Meta IPL .....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Glossário Técnico da Engenharia de Produção .....	28
Quadro 2– Leis Federais relacionadas aos recursos hídricos e seus pressupostos.....	42
Quadro 3 – Metodologia do balanço hídrico <i>IWA</i> .....	56
Quadro 4 - Resumo das técnicas analisadas nesta seção .....	65
Quadro 5 – Níveis de maturidade <i>CMMI</i> .....	72
Quadro 6 – Escala de implementação do <i>CMMI</i> .....	73
Quadro 7 – Tipos de variáveis e suas características .....	74
Quadro 8 – Exemplo de <i>dataset</i> .....	78
Quadro 9 – Classificação da pesquisa .....	88
Quadro 10 – Fases de execução do estudo .....	88
Quadro 11 – Correlação entre Objetivos e hipóteses .....	89
Quadro 12 – Proposta de tabulação dos dados .....	108

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1– Dados sobre perdas de 2019 e 2020.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 2 – Simulação de eventos .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabela 3 – Valores auferidos no período.....</b>	<b>114</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
BI	<i>Business Intelligence</i>
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BMC	Business Model Canvas
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Controle Estatístico de Processos
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integration</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
DM	Distrito de Medição
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
EBSCO	<i>Elton Bryson Stephens Company</i>
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
FAVAD	<i>Fixed and Variable Area Discharge</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GLM	<i>Generalized Linear Model</i>
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IOT	<i>Internet of Things</i>
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
IPL	Índice de perdas por ligação
IWA	<i>International Water Association</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
MDADP	Metodologia de Diagnóstico e Análise de Desempenho de Processos
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PVC	Policloreto de Vinila ( <i>Poly Vinyl Chloride</i> )
RDA	Rede de Distribuição de Água
RMA	Ramal Predial de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SCE-UA	<i>Shuffled Complex Evolution algorithm</i>
SCEM-UA	<i>Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm</i>

SEI	<i>Carnegie-Mellon Software Institute</i>
SME	Sistema de Monitoramento Especializado
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SWOT	<i>Strengths, Weakness, Opportunities and Threats</i>
TMA	<i>Time Marching Approach</i>
VM	Volume medido
VMN	Vazão Mínima Noturna
VP	Volume Produzido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>O problema de pesquisa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivos Específicos .....	19
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b>Correlação entre a temática e a engenharia de produção</b> .....	<b>25</b>
<b>1.5</b>	<b>Delimitação da pesquisa</b> .....	<b>29</b>
<b>1.6</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>29</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>Diagnóstico e avaliação dos recursos hídricos</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>Configuração atual das concessionárias de saneamento</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3</b>	<b>Entendendo os cenários dos recursos hídricos</b> .....	<b>33</b>
2.3.1	O cenário mundial .....	33
2.3.2	O cenário brasileiro .....	38
<b>2.4</b>	<b>O fenômeno das perdas</b> .....	<b>46</b>
2.4.1	Classificação das perdas.....	49
2.4.2	Abordagem Holística das perdas.....	51
<b>2.5</b>	<b>Métodos Utilizados no controle de perdas</b> .....	<b>53</b>
<b>2.6</b>	<b>Considerações sobre o CMMI</b> .....	<b>67</b>
2.6.1	Níveis de maturidade no modelo CMMI .....	71
<b>2.7</b>	<b>Procedimentos de mineração de dados</b> .....	<b>73</b>
2.7.1	Etapa de coleta de dados .....	74
2.7.2	Etapa de pré-processamento de dados.....	75
2.7.3	Etapa de análise de dados .....	75
2.7.4	Etapa de construção de modelo .....	77
2.7.5	Etapa de verificação do modelo .....	79
<b>2.8</b>	<b>Roadmap para avaliação das perdas</b> .....	<b>80</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>82</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia científica aplicada ao estudo</b> .....	<b>84</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização da pesquisa</b> .....	<b>85</b>
<b>3.3</b>	<b>Apresentação das fases da pesquisa</b> .....	<b>88</b>
<b>3.4</b>	<b>Etapa de revisão bibliográfica</b> .....	<b>89</b>
<b>3.5</b>	<b>Procedimentos de coleta, extração e carregamento</b> .....	<b>91</b>
<b>3.6</b>	<b>Proposta de modelo</b> .....	<b>94</b>
<b>3.7</b>	<b>Elaboração de <i>roadmap</i></b> .....	<b>100</b>
<b>3.8</b>	<b>Proposta de protocolo para avaliação CMMI</b> .....	<b>103</b>
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO EM UMA CONCESSIONÁRIA</b> .....	<b>106</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise do Estudo de Caso</b> .....	<b>106</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>116</b>
<b>5.1</b>	<b>Verificação de atendimento à categorização da pesquisa</b> .....	<b>116</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise dos objetivos</b> .....	<b>117</b>
<b>5.3</b>	<b>Teste e resultado das hipóteses</b> .....	<b>118</b>
<b>5.4</b>	<b>Aplicação</b> .....	<b>119</b>
<b>5.5</b>	<b>Método de diagnóstico operacional</b> .....	<b>119</b>
<b>5.6</b>	<b>Importância dos protocolos de análise</b> .....	<b>120</b>
<b>5.7</b>	<b>Contribuição para as concessionárias</b> .....	<b>121</b>
<b>5.8</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>123</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>124</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A era moderna é marcada pela utilização de aparatos tecnológicos para otimização dos mais diversos sistemas produtivos. Neste contexto, Fox *et al.* (2015) conjecturam que a utilização de modelos é um ponto chave para o gerenciamento eficaz em sistemas de distribuição de água tratada.

Paralelo a isto, de acordo com Cai *et al.* (2016), a disponibilidade de água é uma condição fundamental para a manutenção das atividades essenciais nas comunidades humanas. Seu estudo verificou que a demanda agrícola, industrial e municipal cresce continuamente concomitante ao crescimento econômico e demográfico.

Na proposição apresentada por Conejos *et al.* (2017) é evidenciada a importância da utilização de algoritmos que integrem as mais diversas variáveis que afetam as redes de distribuição. Assim, a elaboração de modelos se mostra como uma importante ferramenta para simular cenários críticos e analisar padrões de aumento de consumo ou de ocorrência de vazamentos.

Ao analisar o estudo realizado por Jensen *et al.* (2018) verificou-se que a detecção e localização de vazamentos é uma das áreas em que as concessionárias concentram os maiores esforços considerada a possibilidade de ocorrência de cenários onde a disponibilidade de água potável evolui para quadros de escassez em diversas regiões do planeta.

Isto posto, a ocorrência de vazamentos em redes de distribuição de água é, de acordo com Adedeji *et al.* (2017), Selek *et al.* (2018), Cavazzini *et al.* (2020) e Shukla e Piratla (2020), um dos maiores problemas para as empresas responsáveis por gerenciar a coleta, tratamento e distribuição de água potável.

De acordo com dados mais atuais do SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020) o percentual de perdas de água tratada no Brasil é, em média: nas empresas privadas de 31%, nas empresas privadas com administração pública de 25%; nas empresas de direito público de 26% e nas empresas de economia mista com administração pública de 44%.

Neste contexto, a região analisada apresenta um índice de perdas na distribuição que pode ser categorizado dentro dos piores índices nacionais. Entretanto, esses valores não indicam que o volume é totalmente perdido em razão de vazamentos, pois dentro deste indicador também são mensuradas as perdas



decorrentes de imprecisão nos dispositivos de medição (hidrômetros) e irregularidades.

Analisando estes índices percebe-se a importância da busca de métodos de gerenciamento que estejam focados na redução de perdas, mesmo que ainda não haja um consenso com relação ao valor mínimo que o indicador de perdas na distribuição possa assumir para ser considerado ótimo e economicamente viável.

Ao refletir sobre esta condição é possível concordar com Santos *et al.* (2019), pois estes pesquisadores relatam que a segurança hídrica é uma condição que depende da superação de desafios e, alinhado a este estudo, verifica-se que a redução de perdas se encontra dentro deste rol de desafios.

Baseado neste desafio, Zaman *et al.* (2019) relatam que a operação segura e sustentável de redes de distribuição deve estar focada na mitigação de vazamentos mesmo que eles sejam oriundos da deterioração natural dos tubos ou de eventos extrínsecos repentinos como rompimentos resultantes de ações humanas ou eventos naturais.

## **1.1 O problema de pesquisa**

Ao considerar todas as características do processo de urbanização pode-se notar que ele trouxe à sociedade muitos benefícios, mas também diversos desafios. Dentre os principais desafios é possível destacar a questão da depleção dos recursos naturais em sua amplitude.

Dentro deste contexto, o presente trabalho volta sua análise para os mecanismos de gestão dos recursos hídricos e, de modo muito especial, como as perdas impactam negativamente o processo de gerenciamento deste recurso.

A crescente demanda por este recurso estratégico deve-se, principalmente, ao aumento da densidade populacional, entretanto, outro fator que pode estar correlacionado é que o ciclo hídrico tem se alterado devido às mudanças climáticas. Destes fenômenos resulta o decréscimo de disponibilidade à água. Desta maneira, nota-se que existe uma tendência apontando que a condição de seca será cada vez mais severa e atingirá mais áreas do planeta.

Assim, a motivação deste estudo está intimamente ligada à necessidade de gerenciamento de perdas, pois sua redução é de vital importância no processo de aumento da eficiência dos sistemas de distribuição de água tratada. Ou seja, é

possível inferir que a eficiência deste sistema é inversamente proporcional à existência de perdas. Obviamente, sua ocorrência impacta negativamente nos indicadores de distribuição. Considerando que este é um assunto amplo, essa dissertação irá abordar os aspectos relacionados à ocorrência das perdas na distribuição.

Visando elucidar o fenômeno, verificou-se que, para a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, ABES (2015), a existência de perdas é um fator que compromete a condição de operação das concessionárias de gerenciamento de recursos hídricos uma vez que a disponibilidade destes recursos não acompanha a expansão das cidades.

Considerando esta situação deve-se procurar métodos para tornar o processo de distribuição de água tratada mais eficiente e, conseqüentemente, reduzir os índices de perdas. Sua ocorrência nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) tem sido uma das principais preocupações das concessionárias no Brasil e ao redor do mundo.

Ao analisar o comportamento das concessionárias de recursos hídricos no Brasil, utilizando os dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), percebeu-se que estas empresas devem focar seus esforços no desenvolvimento de estratégias e métodos que tendam a reduzir os vazamentos ao nível econômico ótimo.

Desta forma pretendeu-se responder, por meio da aplicação de algumas estratégias de otimização, a seguinte pergunta: Como elaborar uma ferramenta capaz de auxiliar na tomada de decisão de forma a reduzir vazamentos em redes de distribuição de água tratada em cidades de grande porte, resultando em redução de perdas?

Este estudo aborda a necessidade de gerenciamento de perdas na distribuição de água tratada, destacando a importância de reduzir tais perdas para aumentar a eficiência dos sistemas. A existência de perdas afeta negativamente os indicadores de distribuição e compromete as concessionárias de recursos hídricos, pois a disponibilidade desses recursos não acompanha o crescimento das cidades.

Portanto, é crucial buscar métodos para tornar o processo de distribuição mais eficiente e reduzir os índices de perdas. A análise do comportamento das concessionárias de água no Brasil revela a necessidade de desenvolver estratégias e métodos que visem reduzir os vazamentos de forma economicamente viável. Assim, o objetivo deste estudo é elaborar uma ferramenta que auxilie na tomada de decisões

para reduzir vazamentos em redes de distribuição de água tratada em cidades de grande porte, resultando em uma redução de perdas.

## **1.2 Objetivos**

Considerando todos os argumentos apresentados, este estudo busca realizar a análise das características das perdas na distribuição de água tratada em um município do sul do Brasil e, visando a redução do indicador Índice de Perdas por Ligação (IPL), propor um mecanismo de apoio à tomada de decisão. Para alcançar essa finalidade, foram elaborados os seguintes objetivos:

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Elaborar um protocolo de análise para o fenômeno de perdas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Levantar métodos utilizados no controle de perdas;
- Sugerir algoritmo para análise da diferença de vazão;
- Propor procedimentos para avaliação do nível de maturidade do processo de gerenciamento de perdas;
- Propor um roadmap para subsidiar a tomada de decisão no processo de gerenciamento das redes de distribuição de água tratada visando a redução de perdas.

## **1.3 Justificativa**

A motivação para pesquisa de um protocolo de análise que possibilite o reconhecimento de padrões de comportamento em redes de distribuição de água tratada direcionado ao reconhecimento mais rápido de possíveis zonas de vazamentos e/ou perdas na distribuição é fruto de uma necessidade urgente de gerenciar os recursos hídricos de maneira otimizada.

Atualmente as ações para o controle de perdas de água tratada exibem um padrão reativo lento, ou seja, a ação de mitigação da perda ocorre quando o cliente

informa a concessionária de que há falta de água em seu bairro ou quando é realizada uma pesquisa por método de detecção acústica aleatória. Esta condição carece de uma metodologia mais acurada, pois quando as concessionárias de recursos hídricos apresentam baixa eficiência enfrentam desafios para melhorar a competitividade e atingir a satisfação de clientes e acionistas.

Quando se discute acerca do gerenciamento dos recursos hídricos, um fator importante a salientar é que a demanda é crescente e a cada novo dia encara-se o desafio de encontrar um denominador comum para equalizar consumo e capacidade de suporte do sistema. Caso haja escassez deste recurso, há prejuízos imensos à vida e isto pode resultar em migrações em massa e conflitos entre povos. Por esta razão, é indispensável que sejam produzidas soluções sustentáveis para gestão deste recurso (BUTZKE; PONTALTI, 2012).

Analisando a época contemporânea nota-se que a sociedade é extremamente dependente da disponibilidade e acesso à água potável. Partindo do pressuposto que se vive o paradigma de gerir o mundo através de recursos finitos verifica-se que a busca de eficiência é um dos fatores chaves para prolongar o montante de recursos e trabalhar no sentido de democratizar o acesso a esta *commodity*.

De acordo com Boyle *et al.* (2013) um desafio que é iminente às concessionárias diz respeito ao gerenciamento sustentável dos recursos hídricos dentro do ambiente urbano, pois diversos fatores externos, tais como: mudanças climáticas, secas, crescimento populacional, entre outros, têm contribuído para que os gestores sejam impelidos à busca de abordagens de gerenciamento mais sustentáveis que minimizem as transferências de custos aos clientes.

Diante deste contexto é que se nota a importância do desenvolvimento de um *roadmap* para subsidiar a tomada de decisão orientada à redução de perdas de água tratada. O desenvolvimento deste *roadmap* contribuirá para que os gestores possam compreender de modo mais apurado quais são as fragilidades, ameaças, pontos fortes e oportunidades para que se atinjam níveis aceitáveis de perdas.

Considerada esta situação é possível ponderar que a ocorrência de perdas é um fenômeno associado ao rendimento do sistema e sua redução em redes de distribuição é uma questão elementar. Partindo desta premissa verifica-se que de toda a água bruta captada, tratada e injetada no sistema distribuidor somente uma parte é comercializada, ou seja, para se atender a demanda é necessário produzir um

montante de água superior a esta demanda em razão da existência de perdas no sistema.

Assim, é de precípua importância salientar que o presente estudo não tem por objetivo trazer uma conclusão para o tema, outrossim, sua pretensão é realizar uma exegese sobre referencial teórico e trazer contribuições para o ambiente brasileiro e, quiçá, mundial; ponderando sobre o que se lê em Demo (1997): “todo conhecimento é, por definição, questionável” porque “conhecemos a partir do que já conhecemos porque não sabemos interpretar sem pontos de partida já interpretados”.

A eficiência na gestão de recursos hídricos é um tema que é discutido mundialmente e dada a sua importância está incluído nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU (Organização das Nações Unidas). Considerada a atual conjuntura, verifica-se que a relevância do tema implica de alternativas de aplicação dos mais diversos aparatos tecnológicos para a redução do risco de escassez hídrica.

Para que o estudo seja coeso e traga avanços ao gerenciamento de recursos hídricos é necessário apresentar como o trabalho está organizado. A seção subsequente pretende apresentar, de forma clara e objetiva, como as principais características do estudo estão ordenadas e de que maneira as hipóteses serão analisadas de forma a produzir um resultado que possa se tornar um elemento importante para as concessionárias que gerenciam os recursos estudados.

Assim, é mister apresentar que o tema proposto tem correlação ao campo de estudo abrangido pela Engenharia de Produção. É importante salientar que o estudo visa atender a necessidade de enquadramento aos princípios do *ESG (environmental, social and governance)*

O indicador ESG, além de demonstrar que uma companhia trabalha na adoção/implementação de políticas de responsabilidades: ambiental (*environmental*), social (*social*) e governança (*governance*), tem sido adotado pelas principais bolsas de valores para avaliar o desempenho das empresas. De acordo com a [B<sup>3</sup>], o Índice S&P/B3 Brasil ESG é um índice amplo que visa avaliar o desempenho de títulos que atendem aos requisitos de sustentabilidade e é parametrizado pelas pontuações ESG da S&P DJI (S&P DowJones Index).

Desta maneira o desenvolvimento desta pesquisa pretende trazer contribuições nos seguintes campos:

- Ambiental: a melhora na eficiência da distribuição, resultante da redução de perdas, possibilita que um volume menor de água seja retirado dos mananciais e indiretamente proporciona redução no consumo de energia elétrica e produtos químicos utilizados para tratamento da água.
- Social: processos de gestão mais claros e otimizados focados na redução de perdas possibilitam que a disponibilidade de água seja mais regular e postergue a possibilidade de faltas intermitentes ou até mesmo escassez. Deste modo o sentimento do cliente em relação à concessionária melhora (*KPI – key process indicator* - relacionado à satisfação do cliente).
- Governança: esse pressuposto pode ser considerado o elemento de coesão entre os dois aspectos anteriores. A conotação que este estudo traz à governança está inextricavelmente relacionada à produção de uma alternativa viável para compreensão das condicionantes e mitigação do índice de perdas de água tratada.

Neste contexto é , também, de fundamental importância discutir sobre a importância dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODSs, para as empresas que trabalham com o tratamento e a comercialização de recursos naturais.

Para o caso das concessionárias de recursos hídricos podem ser discutidos os seguintes ODSs:

- ODS6: Água Potável e Saneamento: este ODS tem como objetivo garantir o acesso universal e equitativo à água potável segura e ao saneamento básico adequado para todos até 2030, além de melhorar a qualidade da água e reduzir a poluição. Este objetivo visa abordar questões críticas relacionadas à água e ao saneamento, como a escassez de água, a poluição hídrica, a falta de acesso à água potável e ao saneamento adequado em muitas partes do mundo, bem como a desigualdade no acesso a esses recursos entre diferentes grupos sociais e geográficos. Para alcançar a ODS 6, é necessário trabalhar em várias frentes incluindo a melhoria da gestão dos recursos hídricos, investimento em infraestrutura para o saneamento básico, fortalecimento da capacidade local para a manutenção e operação de sistemas de abastecimento de água e saneamento, promoção da higiene e educação sanitária, entre outras medidas. A contemplação deste ODS é essencial para garantir a saúde, a segurança e a qualidade de vida das pessoas e para proteger o meio ambiente.
- ODS11: Cidades e comunidades sustentáveis: o ODS11 tem como objetivo tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e

sustentáveis até 2030. Este objetivo visa enfrentar os desafios relacionados ao rápido crescimento urbano e os desafios a ele relacionados como a falta de moradia adequada, o aumento da poluição, o congestionamento do tráfego, a falta de serviços básicos e a desigualdade social e econômica em áreas urbanas. Para alcançar a ODS 11, é necessário trabalhar em várias frentes, incluindo a promoção do transporte público sustentável, a construção de habitações acessíveis e de qualidade, a gestão eficiente de resíduos sólidos, a promoção da inclusão social e econômica, o fortalecimento da capacidade local para o planejamento urbano e a proteção do patrimônio cultural e natural. O desenvolvimento do ODS 11 é essencial para garantir cidades mais justas e equitativas, onde todas as pessoas possam ter acesso a serviços básicos, oportunidades de trabalho, moradia adequada e espaços públicos seguros e saudáveis, além de contribuir para a proteção do meio ambiente e a mitigação das mudanças climáticas.

- ODS13: Ação contra a mudança global do clima: este ODS tem como objetivo adotar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, como o aumento da temperatura global, o aumento do nível do mar, a intensificação de eventos climáticos extremos, a acidificação dos oceanos e a perda de biodiversidade. Para alcançar a ODS 13 é necessário trabalhar em várias frentes incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa, a promoção de fontes de energia limpa e renovável, a adaptação aos impactos das mudanças climáticas, a mobilização de recursos financeiros e tecnológicos para países em desenvolvimento e a conscientização e educação sobre a importância da ação climática. Superar o ODS 13 é essencial para garantir um futuro sustentável para as gerações presentes e futuras, protegendo o meio ambiente, a biodiversidade e garantindo a segurança alimentar e hídrica. Além disso, a ação climática também pode criar oportunidades para o desenvolvimento econômico sustentável e a criação de empregos verdes.

Os ODS 6, 11 e 13 estão correlacionados porque abordam questões interconectadas e interdependentes relacionadas à gestão dos recursos naturais, à promoção de cidades e comunidades sustentáveis e à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

Esses três ODS estão correlacionados porque a gestão sustentável dos recursos hídricos e a promoção de cidades e comunidades sustentáveis são

fundamentais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Por exemplo, o uso eficiente da água e a gestão adequada dos resíduos sólidos em áreas urbanas podem reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, as cidades e comunidades sustentáveis podem contribuir para a adaptação e resiliência aos efeitos das mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar, tempestades mais frequentes e secas prolongadas. Investimentos em tecnologias limpas, eficiência energética e transporte sustentável também são essenciais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

A correlação entre os ODS 6, 11 e 13 é importante para as concessionárias de saneamento ambiental porque essas empresas têm um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos e na promoção de cidades e comunidades sustentáveis. Essas empresas são responsáveis por fornecer serviços de água potável e saneamento básico para a população, garantindo o acesso a esses recursos de forma segura e sustentável.

As concessionárias de saneamento ambiental também têm um papel importante na redução das emissões de gases de efeito estufa, através da promoção da eficiência energética, da utilização de tecnologias limpas e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos. Essas medidas contribuem para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e para a promoção da resiliência climática.

Além disso, a correlação entre os ODS 6, 11 e 13 é importante para as concessionárias de saneamento ambiental porque a gestão sustentável dos recursos hídricos e a promoção de cidades e comunidades sustentáveis podem gerar benefícios econômicos e financeiros para essas empresas. A eficiência no uso da água e a gestão adequada dos resíduos sólidos podem reduzir os custos operacionais das empresas, enquanto a promoção de cidades e comunidades sustentáveis pode gerar novas oportunidades de negócios e aumentar a demanda por serviços de saneamento ambiental.

Essa correlação também pode ser relacionada à gestão das concessionárias de saneamento ambiental, uma vez que a implementação de medidas alinhadas com os ODS 6, 11 e 13 pode contribuir para a melhoria do desempenho ambiental e social dessas empresas. Essas medidas também podem ser utilizadas para aprimorar o



indicador de ESG (ambiental, social e governança) das empresas, que é um indicador importante para investidores e para a bolsa de valores B3.

Investidores e a bolsa de valores B3 estão cada vez mais atentos às questões ambientais, sociais e de governança das empresas. As concessionárias de saneamento ambiental que conseguem alinhar suas operações com os ODS podem melhorar seu desempenho ESG e, conseqüentemente, aumentar sua capacidade de atrair investimentos e acesso a fontes de financiamento mais favoráveis.

Considerando estes argumentos, o resultado apresentado pelo estudo possibilita que as concessionárias de gestão de recursos hídricos estejam em conformidade com dispositivos legais e normativas de organismos regulatórios.

O indicador ESG (*Environmental, Social and Governance*), ou em português ASG (Ambiental, Social e Governança), refere-se a critérios utilizados para avaliar o desempenho das empresas em relação às questões ambientais, sociais e de governança. Esses critérios estão se tornando cada vez mais importantes para investidores e instituições financeiras que buscam avaliar o impacto e a sustentabilidade de uma empresa a longo prazo.

No contexto da Bolsa de Valores brasileira (B3), os ODS desempenham um papel importante no indicador ESG. As empresas listadas na B3 são incentivadas a alinhar suas estratégias de negócios e práticas operacionais aos ODS, buscando contribuir para o alcance das metas estabelecidas pela ONU. Ao adotar uma abordagem alinhada aos ODS as empresas podem melhorar sua reputação, atrair investimentos sustentáveis e atender às expectativas dos investidores e da sociedade.

Para promover o engajamento das empresas com os ODS a B3 lançou em 2017 o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). O ISE é uma carteira teórica composta por empresas listadas na B3 que se destacam em termos de sustentabilidade e responsabilidade corporativa. Para serem incluídas no ISE as empresas precisam atender a critérios específicos relacionados a questões ambientais, sociais e de governança, incluindo a integração dos ODS em suas estratégias e operações.

#### **1.4 Correlação entre a temática e a engenharia de produção**

Salvendy (2001) apresenta que a Engenharia de Produção evoluiu como uma disciplina importante, associando os conhecimentos próprios das engenharias e

também da gestão e cuja utilização efetiva contribui diariamente para o aumento da produtividade, qualidade de produtos e serviços prestados, bem como melhorias nos ambientes de trabalho.

Considerando a possibilidade de melhora incremental dentro de um sistema produtivo, Warnecke *et al.* (2001) reiteram que as empresas do futuro devem adotar novas metodologias para melhorar suas capacidades de adaptação ao ambiente empresarial de constantes mudanças. Essa adoção permitirá que as empresas melhorem sua penetração, maturidade e área de atuação. A necessidade de adaptação fará com que estruturas tayloristas sejam abandonadas e que a eficiência de processos seja continuamente avaliada.

De acordo com Denkena *et al.* (2016) o desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação criam oportunidades para o desenvolvimento de produtos e também de métodos de produção. A utilização destas tecnologias resulta em densidade de aprendizado onde a adaptação precisa a determinados comportamentos permite a otimização contínua. Um dos temas abordados dentro da ciência da informação está relacionado a utilização de técnicas de modelagem e utilização de algoritmos.

A utilização de modelagem dentro da engenharia de produção é, de acordo com Schleich *et al.* (2017), uma maneira eficiente de promover a predição de condicionantes que interferem dentro de uma cadeia produtiva. A utilização de ferramentas computacionais permite a tomada de decisão pautada na redução de custos e tempo.

A utilização das tecnologias da informação, em um de seus campos, sugere a utilização de sistemas para inferência. Em relação a este método, Winkowski (2019) argumenta que o gerenciamento é um processo de tomada de decisões contínua e é inimaginável que uma companhia não utilize técnicas de previsão; estas técnicas são baseadas em dados do passado e tem o intuito de orientar as ações futuras. Os resultados de sua pesquisa apontam que os métodos de previsão podem ser classificados em três grandes grupos: métodos clássicos (baseados majoritariamente em métodos numéricos e estatísticos), métodos baseados em inteligência artificial e métodos híbridos (combinam inferências estatísticas com modelos de inteligência artificial).

As empresas do futuro devem adotar novas metodologias para se adaptar ao ambiente empresarial em constante mudança, buscando melhorar sua penetração,

maturidade e área de atuação. Isso implica abandonar estruturas tayloristas e avaliar continuamente a eficiência dos processos. O desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação oferece oportunidades para o desenvolvimento de produtos e métodos de produção, permitindo a otimização contínua por meio da adaptação a comportamentos específicos.

A modelagem é uma abordagem eficaz para prever fatores que interferem na cadeia produtiva, auxiliando na tomada de decisões com base na redução de custos e tempo. A utilização de sistemas de inferência, como métodos de previsão, é essencial para o gerenciamento contínuo e pode ser classificada em métodos clássicos, baseados em inteligência artificial e híbridos, que combinam inferências estatísticas e modelos de inteligência artificial.

A correta aplicação destes métodos é um dos elementos chaves para garantir boa saúde às empresas. A utilização de métodos de previsão acurados possibilita, entre outras coisas, a maximização de lucros, a redução dos riscos de tomada de decisões equivocadas e, conseqüentemente, redução de erros e desperdícios.

A aplicação de métodos de previsão pode resultar em condições robustas de otimização. Partindo desta arguição, Knapczyk *et al.* (2019) relatam que a otimização robusta é uma metodologia usada para modelagem e otimização de processos com um alto grau de incerteza. Sua função é propor uma função que apresente os critérios ótimos de funcionamento de um determinado processo. Ou seja, aproximando esta temática do objeto de estudo é possível pensar que a utilização de métodos de previsão pode ajudar a elucidar as condições de operação das concessionárias de recursos hídricos.

De maneira complementar, verifica-se que os paradigmas assumidos pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021) definem que é parte componente do exercício profissional de engenheiro de produção “o projeto, implantação, operação, melhoria e manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologias, informação e energia”.

Desta feita, é possível perceber que este estudo está intrinsecamente relacionado à taxonomia do campo científico Engenharia de Produção. Pode-se inferir que a gestão dos recursos hídricos pode ser considerada ontológica dentro deste campo de estudo.

O desenvolvimento das tecnologias de informação oferece oportunidades para aprimorar a produção e otimizar os resultados através da adaptação a

comportamentos específicos. A modelagem é uma abordagem eficaz para prever fatores que afetam a cadeia produtiva, auxiliando na tomada de decisões com base na redução de custos e tempo. A utilização de métodos de previsão é essencial para um gerenciamento contínuo e pode ser aplicada na operação de concessionárias de recursos hídricos. A correta aplicação desses métodos é fundamental para garantir o sucesso das empresas, maximizando lucros e minimizando erros e desperdícios.

Partindo das definições presentes no Glossário Técnico - Área de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2021) expressa no Quadro 1, verifica-se que o tema: “Proposta de *roadmap* para subsidiar a tomada de decisão, focando na redução de perdas, no processo de gerenciamento das redes de distribuição de água tratada” é uma temática que está corretamente inserida dentro do campo de estudos da Engenharia de Produção.

**Quadro 1 – Glossário Técnico da Engenharia de Produção**

<b>Termo</b>	<b>Definição</b>
Produto	Qualquer bem ou serviço fisicamente tangível ou intangível.
Gestão	É o processo de projetar, conceber, elaborar, executar, avaliar, implementar ou aperfeiçoar ou dar manutenção a um produto ou processo produtivo.
Gestão de Recursos	É o elemento central dentro dos mecanismos de gerenciamento de um processo produtivo.
Recursos	Todos os elementos que contribuem para a existência do produto. Podem ser de natureza: Física (máquinas, ferramentas, matérias-primas, energia ou naturais), humana, econômico-financeira, organizacional, tecnológica e/ou de conhecimento.
Atividades típicas do Engenheiro de Produção	Fazer uso de métodos organizacionais e/ou técnicas matemáticas e estatísticas para projetar, selecionar, modelar, simular, estruturar, avaliar, qualificar, otimizar, dar manutenção em produtos (tangíveis ou intangíveis) resultantes dos sistemas produtivos; bem como produzir normas e procedimentos de controle e auditoria.

**Fonte: Adaptado de ABEPRO (2021)**

Assim, percebe-se a importância da Engenharia de Produção como uma disciplina que combina conhecimentos de engenharia e gestão para melhorar a produtividade, qualidade e eficiência nos ambientes de trabalho. Destaca-se a necessidade de empresas adotarem novas metodologias para se adaptarem às mudanças constantes do mercado, abandonando estruturas ultrapassadas e avaliando continuamente os processos. Também enfatiza o papel das tecnologias de

informação e comunicação na otimização contínua e na adaptação a comportamentos específicos. A utilização de métodos de previsão foi apontada como essencial para a tomada de decisões acertadas, visando a maximização dos lucros e a minimização de erros. Por fim, ressaltou-se a aplicabilidade dessas abordagens em diferentes setores, incluindo a gestão de recursos hídricos. Em síntese, este estudo reforça a relevância da Engenharia de Produção como um campo de estudo e prática para impulsionar a eficiência e o sucesso das organizações.

### **1.5 Delimitação da pesquisa**

Esse estudo utilizará ferramentas intrínsecas à Engenharia de Produção para propor um diagnóstico baseado em níveis de maturidade e, também, propor um *roadmap* para a sistematização das ferramentas de análise processo de redução de perdas em redes de distribuição de água tratada.

Considerando este argumento relata-se que este estudo pretende trazer subsídios para que outros pesquisadores possam sentir interesse no tema e produzir estudos que tragam desenvolvimentos significativos ao campo da gestão de recursos hídricos.

### **1.6 Estrutura do trabalho**

Essa dissertação foi estruturada em cinco capítulos que fornecem subsídios para que uma análise pormenorizada do assunto seja apresentada e resulte num estudo que satisfaça os objetivos propostos.

O capítulo 1 - “Introdução” traz a contextualização inicial acerca da pergunta de partida. Traz conceitos sobre a importância da distribuição de água tratada, o gap de pesquisa a ela relacionado, os objetivos a serem alcançados, a justificativa da escolha do tema, bem como sua correlação com a Engenharia de Produção e delimitação da pesquisa. Por fim, tem-se esta seção que visa trazer um apanhado geral sobre a estruturação da pesquisa.

No capítulo 2 - “Referencial Teórico” foi realizada uma revisão bibliográfica para analisar os arcabouços teóricos das seguintes temáticas: diagnóstico e avaliação dos recursos hídricos, características das concessionárias de gerenciamento de recursos hídricos, cenários dos recursos hídricos, o fenômeno das perdas, métodos

para controle de perdas, características da metodologia *Capability Maturity Model Integration (CMMI)*, procedimentos de extração, tratamento e carregamento de dados (*ETL*), *roadmap* para avaliação das perdas.

O capítulo 3 - “Metodologia da Pesquisa” apresenta como o estudo foi desenvolvido de acordo com os seguintes eixos: metodologia científica aplicada a este estudo, caracterização da pesquisa, apresentação das fases da pesquisa, etapa de revisão bibliográfica, procedimento de coleta, extração e carregamento; proposta de modelo, elaboração do *roadmap* e protocolo para avaliação *CMMI*.

Já no capítulo 4 - “Aplicação em uma concessionária” é apresentada a análise de um estudo de caso e as contribuições social, econômica e ambiental da implementação do *roadmap* para controle de perdas e apoio à tomada de decisões.

Por fim, o capítulo 5 - “Considerações Finais” discute a verificação de atendimento à categorização da pesquisa, análise dos objetivos, teste e resultado das hipóteses, aplicação, método de diagnóstico operacional, importância do protocolo de análise e contribuição para as concessionárias, bem como sugestões para trabalhos posteriores.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção visa apresentar a propedêutica sobre os temas que povoam o universo explorado neste estudo.

### **2.1 Diagnóstico e avaliação dos recursos hídricos**

De acordo com as expectativas definidas por Trojan (2006), a época atual aponta a necessidade de compreender uma quantidade maior de variáveis que servem como preditoras aos sistemas de distribuição de água tratada.

Dentre estas variáveis é importante considerar as características sazonais e socioeconômicas de consumo, o gradiente de variação térmica, a variação da umidade relativa do ar, a diferença de vida útil dos diversos materiais que compõem as redes de distribuição (considerando suas características naturais e também o comportamento herdado de sua armazenagem e instalação), os degraus piezométricos e a expectativa de crescimento vegetativo do espaço urbano.

Outra dificuldade mencionada e que ainda se faz presente é a ausência de sistemas de monitoramento em diversas localidades. Essa situação compromete a aquisição de dados e, conseqüentemente, desfavorece a compreensão por meio de séries temporais (TROJAN, 2006).

A avaliação precisa e o gerenciamento eficaz de recursos hídricos são um tema de fundamental importância para o desenvolvimento e manutenção da vida na terra.

Discute-se intensamente acerca da importância da expansão do sistema distribuidor, entretanto é comum se esquecer da necessidade de melhora nos sistemas para manutenção. É possível considerar que a pressão pela universalização dos serviços pode figurar como um evento que transforma a operação do sistema numa balança desfavorável e que resulta em padrões de operação com baixa sustentabilidade (TROJAN, 2012).

Na perspectiva de Pinto-Coelho e Havens (2016) deve-se ter clara a noção de urgência acerca da gestão eficaz dos recursos hídricos. O somatório das resultantes entre a superexploração dos mananciais, a deficiência da manutenção, a baixa eficácia do controle de perdas e o impacto das alterações climáticas vem desenhando um cenário onde a exclusão hídrica está cada vez mais próxima. Outro

fator importante que se deve avaliar é a sustentabilidade, ou seja, equilibrar o sucesso econômico com a defesa do meio ambiente.

Para Santello (2017) os recursos hídricos podem ser dotados de valor econômico, mas sua principal característica é de ser um bem público destinado ao uso comum da população. Esse argumento é um dos principais eixos norteadores da busca pela eficiência e sustentabilidade para as concessionárias de distribuição de água tratada.

Considerando que no Brasil a disponibilização de água tratada é gerenciada por concessionárias, se faz necessário analisar o que legislação pertinente relata sobre o tema.

## **2.2 Configuração atual das concessionárias de saneamento**

De acordo com o que a Lei 14.026, de 15 de julho de 2020 (Novo marco do Saneamento), a prestação do serviço de saneamento depende da celebração de contrato de concessão e reitera a importância da eficiência dos sistemas, principalmente com relação à redução de perdas (BRASIL, 2020).

Partindo desta premissa, a busca de modelos de gestão aliada à aplicação de ferramentas oriundas do campo da tecnologia da informação é uma alternativa técnica que visa mitigar a ocorrência de perdas. Embora o aspecto ambiental seja importante, é desejável que o critério econômico seja também considerado para instituições privadas. Assim, o custo para a localização e reparação de vazamentos na rede hídrica precisa ser menor que o custo financeiro devido ao vazamento de forma que se crie interesse em prol da eliminação de vazamentos. Ao se propor meios econômicos de localizar e reparar vazamentos, colabora-se então com a questão ambiental.

Desta maneira, a redução de perdas é imprescindível para a conservação dos recursos hídricos, vislumbrando que a operação eficaz por parte das concessionárias garantirá a universalização de acesso à água potável e, conseqüentemente, proporcionará melhora nas condições de saúde pública e qualidade de vida das populações.

Em razão disto, muitas concessionárias têm a expectativa de que a utilização de tecnologias computacionais representará uma ferramenta útil para a definição de padrões de comportamento em Redes de Distribuição de Água tratada (RDAs) e que,



por meio da aplicação destas técnicas, será possível tornar os procedimentos de manutenção mais preventivos do que corretivos.

Se as tecnologias supramencionadas forem capazes de reduzir o tempo na tomada de decisão, um dos resultados detectados tratará da melhora na eficiência da manutenção e redução do custo do metro cúbico distribuído; o que, por consequência, resultará em melhora das condições de operação das concessionárias.

De posse destes argumentos é possível verificar que a análise realizada por Chen e Han (2018) deve ser considerada fidedigna, pois estes autores argumentam que a água é um dos recursos vitais para a sobrevivência de todas as formas de vida conhecidas em nosso planeta e seu estudo apresenta que menos de 0,3% de toda a água do planeta pertence a rios, lagos ou está em suspensão na atmosfera, ou seja, dos 71% de recobrimento na superfície do planeta somente um pequeno percentual pode ser utilizado para suporte às atividades antrópicas e esta condição representa um dos maiores desafios para as concessionárias.

Por esses motivos, falar sobre a importância do acesso à água é discutir sobre o recurso mais importante para a manutenção da vida no planeta. Cabe ao homem, enquanto ser racional, produzir meios para que este recurso seja utilizado de maneira sustentável e sua distribuição possa atingir a todos, independentemente de condição financeira. Para que o acesso à água seja considerado sustentável é imprescindível que as perdas sejam mitigadas e que seu consumo seja realizado de maneira consciente (BOFF, 2015).

## **2.3 Entendendo os cenários dos recursos hídricos**

Para compreender como a gestão de recursos hídricos é realizada mostra-se de vital importância entender como ela é executada nos âmbitos mundial e nacional.

### **2.3.1 O cenário mundial**

A água potável, recurso indispensável à manutenção de toda e qualquer forma de vida, é um recurso natural renovável, mas que pode ser considerado frágil e finito, pois a poluição pode comprometer diretamente sua potabilidade e o adensamento da população urbana é fator predominante para propagar a poluição dos mananciais (SANTOS; CÂMARA, 2002).

Sendo considerado recurso indispensável, é vital para o suporte da vida humana. Ela é largamente utilizada na agricultura, em processos industriais, para a geração de energia elétrica (principalmente para o modelo adotado no Brasil), em atividades de lazer e para o consumo humano (SHUBO, 2003).

Para Shubo (2003) salvaguardar o acesso e a disponibilidade de água é um fator que deve ser encarado sob um enfoque multifacetado. Dentro desta perspectiva é de grande importância que sejam definidas diretrizes para um uso eficiente e racional dos recursos hídricos, diferenciando necessidades de uso (para água tratada e água bruta) e aprimorando os dispositivos para abastecimento urbano, visando a diminuição do consumo e redução das perdas reais e aparentes. Estas atitudes resultam em menor adução nos mananciais, menor volume de águas residuais ou esgoto e menor consumo de energia elétrica e insumos para transporte e produção de água tratada.

Os cenários de escassez deste recurso afetam as esferas social, econômica e ecológica e quando sua utilização não é racional ou há elevado coeficiente de perdas apresenta-se a necessidade de construção de mais infraestrutura e maior consumo de energia e insumos.

Neste contexto, a gestão eficaz dos recursos hídricos possibilitará que a capacidade de suporte do planeta seja estendida, ou seja, os desdobramentos promovidos por esta ação representarão uma questão vital para a sobrevivência dos seres vivos. Em caso negativo, se expressará um dos fenômenos mais comuns e perversos nas regiões urbanas, que é a chamada exclusão hídrica. Esse fenômeno se refere à impossibilidade de acesso à água potável e prevê que, com o passar dos anos, ele se intensificará ainda mais. Disto resulta a necessidade iminente de se criarem dispositivos capazes de tornar mais eficiente a gestão dos recursos hídricos (DOWBOR, 2005).

Segundo Cortez (2009) há um percentual significativo de pessoas que não possuem acesso à quantidade mínima de água para manter suas necessidades básicas. Seu estudo ressalta que há lugares onde o consumo é elevado e que políticas públicas para salvaguardar o uso racional da água são imprescindíveis. A disponibilidade à água potável é garantia para a manutenção de qualidade de vida e também fator importante para a erradicação da pobreza. Assim como a concentração de renda, há também a concentração de água potável.

A pesquisa de Barros-Platiau *et al.* (2009) versa que dentro do Direito Internacional ainda não há nenhum tratado ou convenção que se refira especificamente à preservação e utilização racional da água potável. As mais notáveis discussões têm ocorrido no Fórum Mundial da Água, que ocorre a cada três anos. Entretanto este evento ainda não é considerado evento oficial da agenda da ONU.

Sabe-se que a disponibilidade de água potável está diretamente relacionada ao bem-estar e também à prosperidade da sociedade; porém, este é um recurso limitado, e por vezes escasso, que tem sua gestão amplamente influenciada por eventos como migração e/ou crescimento populacional e fatores econômicos que interferem na gestão de toda a infraestrutura de abastecimento (FALLIS *et al.*, 2011).

De acordo com as proposições de Fallis *et al.* (2011) a existência de barreiras financeiras, políticas e tecnológicas podem resultar na ocorrência da desigualdade na distribuição deste recurso. Os volumes significativos que são anualmente perdidos em vazamentos e submedições também são um fator determinante para comprometer a condição de abastecimento satisfatório. A redução de perdas é um fator que representa uma alternativa que é economicamente mais viável se comparada a construção de barragens, poços profundos ou dessalinização de água marinha.

É preciso pensar que a maior parte do volume de água tratada que se perde ocorre em pequenas fissuras nas redes de distribuição, assim sendo, adotar medidas para minimizar essas ocorrências é fundamental para o bom uso do recurso. A redução de perdas é uma condição que melhora a disponibilidade hídrica, reduz as chances de contaminação da água distribuída, reduz problemas ambientais e a carga de estresse sobre os mananciais; além disso, traz economia às concessionárias ao reduzir: o uso de energia elétrica nas estações de bombeamento e tratamento e a utilização de produtos químicos para tratamento (FALLIS *et al.*, 2011).

Considerando a importância dos recursos hídricos dentro do cenário mundial, a Declaração Final da Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio +20) reitera a importância da água para os desafios do desenvolvimento sustentável e como ferramenta indispensável para a erradicação da pobreza e proteção da saúde humana. Neste documento, os países signatários se comprometeram a mobilizar a transferência de recursos, capacitação e tecnologia para que o direito de acesso ao saneamento e água potável seja universalizado (ONU, 2012).

Para que este interesse seja alcançado os esforços devem ser direcionados à preservação dos ecossistemas, produzindo ações para a redução de secas e escassez de água visando equilibrar oferta e demanda e, prioritariamente, reduzindo a poluição dos mananciais e objetivando a eficiência no uso do recurso, ou seja, promover a redução significativa das perdas (ONU, 2012).

Analisando os estudos de Koop e Van Leeuwen (2015) verifica-se que estes autores compreendem que problemas globais como as mudanças climáticas, poluição das águas e a urbanização são fenômenos que comprometem significativamente a capacidade de suporte das fontes hídricas. Dentro desta abordagem entende-se que indicadores de escassez hídrica ou de autossuficiência podem ser utilizados para determinar se os recursos hídricos de uma localidade são suficientes ou não para garantir o bem-estar da população.

É possível, também, inferir que ao se garantir um uso consciente deste recurso, pode-se postergar ou até mesmo extinguir a possibilidade de ocorrência de uma crise hídrica, visto que elas não ocorrem repentinamente e são, verdadeiramente, resultados de um processo de gestão ineficaz do recurso. Para evitar esta ocorrência é imprescindível estar atento aos índices de demanda e oferta (ABES, 2015).

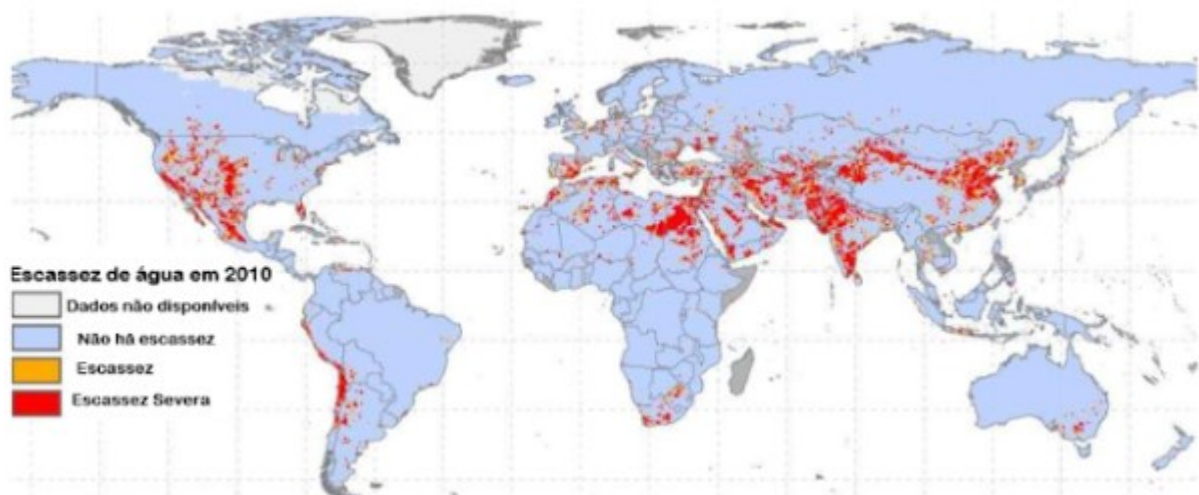
O primeiro sinal de crise é apenas um alerta, num segundo estágio apresentam-se situações de emergência e por fim chegam os racionamentos. As empresas de saneamento devem estar focadas constantemente nas perdas para evitar que ocorram desordens de abastecimento (ABES, 2015).

Por estas razões, a questão da gestão dos recursos hídricos mostra-se uma preocupação mundial, pois eles possuem uma importância crítica para o bem-estar social, econômico e político das sociedades. Os estresses exercidos sobre os recursos hídricos mundiais são resultados do crescimento urbano acelerado e da poluição da água e esses fenômenos podem ser encarados como resultado da má gestão ambiental (VAN LEEUWEN *et al.*, 2015).

Existem diversas alternativas possíveis para realizar a gestão ambiental orientada à eficiência dos recursos hídricos e Cai *et al.* (2016) relatam como métodos que podem ser adotados e desenvolvidos a avaliação do ciclo de vida, a pesquisa operacional e a modelagem de sistemas dinâmicos. Seu estudo relata uma boa estratégia para construção de uma ferramenta robusta de apoio à tomada de decisão correlaciona a utilização da ACV, métodos de avaliação sistemática, modelagem voltada à otimização e adoção de abordagens para tratamento de incertezas.

Considerado o contexto de fragilidade da disponibilidade de água doce, é importante apresentar como o Quadro estava na década passada. Focando nesta prerrogativa, a Figura 1 apresenta o mapa da escassez de água no ano de 2010. Nesta figura é possível notar que regiões entre o Trópico de Câncer e a linha do Equador apresentavam a maior concentração de regiões com escassez severa, entretanto, essa condição não exclui a responsabilidade que as demais regiões têm sobre a gestão deste recurso.

**Figura 1 - Escassez hídrica em 2010**



**Fonte: Burek et al. (2016)**

Com base neste elemento, verifica-se que a perda deste recurso é um fator que interfere de modo muito incisivo na operação dos sistemas de abastecimento e distribuição de água tratada. Desta maneira, a mitigação destes eventos é uma variável estratégica para a manutenção da sustentabilidade das empresas responsáveis por estes serviços (SILVEIRA, 2017).

Outro fato de extrema importância é que grande parte dos povoados humanos se desenvolveu no entorno de cursos d'água e isto gera um rol de impactos que estão relacionados a fatores como demanda, disponibilidade e topografia. A compreensão sobre estes aspectos é fundamental para que se possa planejar a distribuição da água (BID, 2018).

O Informe Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2018) relata que a demanda mundial de água potável tem aumentado cerca de 1% ao ano. Para que o abastecimento seja mantido é necessário que existam mais investimentos nas chamadas soluções baseadas na natureza, ou

seja, no desenvolvimento de processos e modelos que aperfeiçoem a gestão deste recurso respeitando as condições de sustentabilidade ambiental.

Ainda de acordo com este informativo, as mudanças climáticas têm aumentado o número de regiões áridas. A estimativa é que cerca de 3,6bi de pessoas vivem em áreas onde há escassez de água por, pelo menos, um mês ao ano. A previsão é que este número chegue entre 4,8bi à 5,7bi de pessoas em 2050. Estes números têm significativa ligação com o aumento da mortalidade e redução do Produto Interno Bruto per capita (ONU, 2018).

Refletindo sobre a dinâmica dos recursos hídricos é possível conjecturar que o atual século está no limiar da escassez destes recursos e se os sinais forem ignorados, muito em breve será preciso aprender a viver com a falta d'água. A demanda de água aumenta conforme aumentam a população e a riqueza, entretanto, a quantidade de água disponível é, na melhor das hipóteses, fixa. Desta forma, para que o recurso seja preservado, é importante ter macro e micro atitudes; ou seja, proporcionar uma mudança cultural individual e rever métodos corporativos de utilização e gerenciamento (ZETLAND, 2018).

De forma análoga é necessário compreender como o cenário brasileiro se estrutura.

### 2.3.2 O cenário brasileiro

Considerando a arguição de Tucci *et al.* (2000) percebe-se que o gerenciamento dos recursos hídricos é uma preocupação mundial cada vez mais discutida e que se encontra numa agenda mundial apresentada e discutida no Fórum Mundial das Águas. Essa preocupação deve ser norteadada, principalmente, considerando os cenários ambiental e de desenvolvimento econômico e social.

A água doce é utilizada para atender a diversas finalidades, mas é um recurso limitado. Por este motivo ela comumente está relacionada aos conflitos humanos. No Brasil existe abundância deste recurso, entretanto é possível notar que existem discrepâncias entre a disponibilidade e a necessidade. Verifica-se que a região norte é caracterizada pela menor densidade populacional e maior disponibilidade hídrica enquanto outras regiões têm maior densidade demográfica e menor disponibilidade hídrica. Ao considerar que os recursos hídricos são um bem público dotado de valor econômico verifica-se a necessidade de assegurar que ele esteja disponível com

qualidade e volumes aceitáveis, tanto para a geração atual quanto para as futuras (GOMES; BARBIRI, 2004).

A água é também parte das relações sociais, de forma que não é possível ignorar a correlação entre as condições de disponibilidade hídrica e o comportamento das populações humanas. Desta maneira, a gestão dos recursos hídricos se apresenta como a intervenção do homem na dialética da natureza e as dificuldades neste campo de gestão são oriundas do estranhamento entre sociedade e natureza, principalmente da concepção de que a natureza é somente uma fornecedora de commodities destinada ao atendimento das demandas orientadas para o acúmulo de capital. Em contraposição, uma outra gestão possível se orienta na defesa do acesso igualitário para todos os grupos sociais e que seja garantida indefinidamente a sua disponibilidade (IORIS, 2006).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos - Volume 1 - Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil traz um estudo aprofundado, realizado pelo governo federal, sobre o gerenciamento destes recursos. Neste estudo foi ressaltada a importância dos seguintes aspectos: a universalização do acesso à água, sua preservação para atender a diversas finalidades de uso e seu papel frente a conflitos. Para o Brasil a gestão da água é fundamental para a manutenção da soberania nacional e estratégica para o plano de desenvolvimento nacional. Apontados estes aspectos, ressaltou-se a importância da elaboração de um Plano de Recursos Hídricos onde existam ações integradas focadas num melhor aproveitamento da água (BRASIL, 2006).

Analisando a abordagem de Brasil (2006) verifica-se que o Volume 2 - Águas para o futuro: cenários para 2020 - discute que é possível abordar a gestão dos recursos hídricos sobre três cenários:

- Água para todos: é um cenário que se origina a partir da transferência de conhecimento sobre a sustentabilidade dos recursos naturais e do investimento na proteção dos recursos hídricos. Este cenário considera a adoção de tecnologias voltadas para a questão socioambiental de forma a reduzir paulatinamente os condicionantes da exclusão hídrica. Um dos principais condicionantes para se chegar a este cenário diz que os investimentos não devem ser realizados somente para corrigir problemas e sim sejam fruto de um planejamento afinado que permita ações preditivas;

- Água para alguns: este cenário questiona a instalação de usinas hidrelétricas por considerar que o planejamento destas instalações analisa de forma rasa as múltiplas possibilidades de uso dos recursos hídricos. Neste cenário a degradação do recurso é notória, pois os investimentos são escassos, os planejamentos genéricos, a participação social insignificante e há pouca regulamentação sobre o uso da água. É possível, também, inferir que a orientação excessivamente liberal do Estado, personificada na concentração de renda e na desigualdade, é o fator determinante para a existência de sistemas de gestão de recursos hídricos ineficientes. Nota-se que neste cenário se negligencia a expansão urbana com infraestrutura adequada e que este processo compromete a gestão do abastecimento urbano, considerando a incapacidade do Estado de cumprir seu papel enquanto regulador. A gestão dos recursos hídricos quando baseada na abordagem economicista apresentada como efeito uma qualidade de prestação de serviço incompatível com a esperada;
- Água para poucos: Considerando a ineficácia dos investimentos e a gestão deficitária do Estado. Este cenário reflete um crescimento das dificuldades relativas à oferta e qualidade da água. Ele apresenta relação com a existência de um marco regulatório de saneamento que permite interpretações ambíguas e que é pouco eficaz em seu propósito, desta maneira não se produzem condições para a segurança da disponibilidade hídrica e, em contrapartida, este setor continuará carecendo de investimentos. Por conta disto, as metas de universalização do acesso à água e saneamento (ODS 6) não serão alcançadas e apresentarão um agravamento da disponibilidade em razão do aumento do uso da água para diluição da carga remanescente de esgotos. Neste cenário são agravados os problemas de infraestrutura urbana em razão da existência de sistemas inadequados e da falta da incorporação de novas tecnologias e de investimentos mais significativos.

Independente do cenário que instalará, a gestão dos recursos hídricos é fator preponderante para mitigar os problemas relacionados à disponibilidade hídrica. No Brasil os problemas hídricos mais proeminentes estão relacionados ao abastecimento público, por conta da indisponibilidade, da poluição decorrente de esgotos não tratados e pela disputa com a necessidade de irrigação de áreas agrícolas.

Outra condição importante a salientar é que, de acordo com Théry e Mello-Théry (2015), o Brasil, junto de outros oito países, é considerado um “gigante” da água. Esses nove países, juntos, detém cerca de 60% da água doce renovável



disponível no planeta. Entretanto, como a desigualdade social, há uma intensa desigualdade na disponibilidade da água; especialmente quando se compara a região Norte à Nordeste.

Refletindo sobre o contexto da iminência da crise hídrica, Silva *et al.* (2017) consideram que a governança da água é importante para questionar como é gerenciado o uso da água, quais as feições dos sistemas de abastecimento público, qual a função das políticas públicas e qual o papel dos *stakeholders*. Toda a ação de governança deverá direcionar-se à melhora da atual situação, pois caso não se atinja melhora o resultado será de agravamento das condições de qualidade e disponibilidade.

Dentre as possíveis tentativas de resposta à crise hídrica, Alves e Rabelo (2018) argumentam que não existe a possibilidade de serem adotadas soluções de curto prazo e que uma solução eficaz deve ser norteadas por princípios que revisem as atuais políticas de gerenciamento dos recursos hídricos de tal forma que estes rompam abruptamente como os paradigmas historicamente estabelecidos.

Ainda dentro desta abordagem, os pesquisadores Ferraço e Moraes (2018) argumentam que os esforços mais significativos no campo da gestão dos recursos hídricos estão atrelados à condição de salvaguardar o uso múltiplo da água. Sua análise reitera a importância, dentro do cenário nacional, do uso na água para o consumo individual, para o uso industrial, para as atividades agrícolas, para a matriz energética, entre outros usos.

Outros aspectos que são importantes salientar neste estudo é o papel dos múltiplos *stakeholders* na gestão e ocorrência das crises hídricas e o apontamento sobre o papel da legislação específica sobre o tema.

Para Capellari e Capellari (2018) a água, enquanto bem público e essencial à vida, deve possuir proteção jurídica para que a sua exploração, manuseio e controle seja realizado de forma correta, visando salvaguardar a sobrevivência dos indivíduos dos cinco reinos (*monera*, *protista*, *fungi*, *animalia* e *plantæ*).

A água também pode ser considerada como uma herança natural da qual a humanidade se apropriou e atribuiu-lhe valor econômico, por esta razão é que cabe ao Estado intervir nas questões relacionadas ao seu domínio, exploração, mercantilização e uso de forma a regular seu gerenciamento visando evitar sua escassez.

Desta maneira, a legislação tem papel importante na implementação de estratégias de governança da água e destaca pontos importantes da gestão dos recursos hídricos. O Quadro 2 traz as leis federais que apresentam este escopo e seus principais pressupostos:

**Quadro 2– Leis Federais relacionadas aos recursos hídricos e seus pressupostos**

<b>Lei</b>	<b>Pressupostos</b>
Nº 9.433 (08/01/97)	A água é um bem de domínio público; um recurso natural limitado e dotado de valor econômico; em situações de escassez o uso prioritário é o consumo humano e dessedentação de animais; a gestão do recurso deve proporcionar o uso diversificado; bacias hidrográficas são as unidades territoriais onde se implementa a Política Nacional dos Recursos Hídricos e se percebe a atuação do SINGREH; a gestão precisa ser descentralizada e ter a colaboração entre o Poder Público, os usuários e as comunidades.
nº 9984 (17/07/00)	Cria a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). É uma autarquia que tem por interesse integrar os planejamentos das esferas federal, regional, estadual e dos usuários pertinentes à Política Nacional de Recursos Hídricos (de acordo com a lei nº 9.433) e produzir normas regulamentadoras para a prestação de serviços públicos de saneamento básico.
nº 10.768 (19/11/03)	Regulamenta o Quadro funcional da ANA. Seus colaboradores terão as seguintes atribuições pertinentes à prestação de serviços públicos de saneamento básico: elaboração de normas de referência para regulação, outorga, inspeção, fiscalização e controle do uso de recursos hídricos e da prestação de serviços públicos de saneamento básico; implementação e avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos; análise e desenvolvimento de programas e projetos (sobre: despoluição de bacias hidrográficas, eventos críticos em recursos hídricos e promoção de ações educacionais em recursos hídricos); promoção e fomento de pesquisas científicas e tecnológicas nas áreas de desenvolvimento sustentável, conservação e gestão de recursos hídricos e saneamento básico, envolvendo a promoção de cooperação e a divulgação técnico-científica, bem como a transferência de tecnologia nas áreas e outras ações e atividades análogas decorrentes do cumprimento das atribuições institucionais da ANA.
nº 14.026 (15/07/20)	Altera atribuições na ANA com a finalidade de que sejam estabelecidas normas de referência para os seguintes temas: padrões de qualidade e eficiência na prestação de serviços, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico; regulação tarifária dos serviços públicos de saneamento básico; padronização dos instrumentos negociais de prestação de serviços públicos de saneamento básico firmados entre o titular do serviço público e o delegatário; metas de universalização dos serviços públicos de saneamento básico para concessões que considerem, entre outras condições, o nível de cobertura de serviço existente, a viabilidade econômico-financeira da expansão da prestação do serviço e o número de Municípios atendidos; critérios para a contabilidade regulatória; redução progressiva e controle da perda de água; metodologia de cálculo de indenizações devidas em razão dos investimentos realizados e ainda não amortizados ou depreciados; governança das entidades reguladoras, reuso dos efluentes sanitários tratados em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública; parâmetros para determinação de caducidade na prestação dos serviços públicos de saneamento básico; normas e metas de substituição do sistema unitário pelo sistema separador absoluto de tratamento de efluentes; sistema de avaliação do cumprimento de metas de ampliação e universalização da cobertura dos serviços públicos de saneamento básico; conteúdo mínimo para a prestação universalizada e para a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços públicos de saneamento básico.

**Fonte: o autor (2022)**

Ainda dentro da esfera legal, as concessões do saneamento ambiental são operadas, basicamente, por entidades de 6 naturezas jurídicas: Administração Pública Direta, Autarquias, Empresas Privadas, Empresas Públicas, Organização Social e Sociedades de Economia Mista com Administração Pública. Consultando as legislações que dispõem sobre a organização da Administração Federal, pode-se compreender que:

- Administração Pública Direta: são os serviços integrados à estrutura administrativa do governo federal;
- Autarquias: são serviços autônomos instituídos por legislação específica que possuem personalidade jurídica e tem patrimônio e receitas próprias com a finalidade de prestar serviços típicos da Administração Pública que, para maior eficiência, necessitam de gestão descentralizada;
- Empresas privadas: pessoas jurídicas de direito privado que realizam profissionalmente atividade econômica organizada para a produção ou a circulação de bens ou de serviços
- Empresas Públicas: entidade instituída por legislação específica que possui personalidade jurídica de direito privado, com patrimônio próprio e capital exclusivo da União, criadas com a finalidade de atender uma atividade em razão de contingência ou conveniência;
- Organizações Sociais: são pessoas jurídicas de direito privado que não apresentam fins lucrativos e cujas atividades estejam dirigidas à cultura, ao desenvolvimento tecnológico, ao ensino, à pesquisa científica, à preservação e/ou proteção do meio ambiente e à saúde (lei nº 9637 de 15 de maio de 1998);
- Sociedades de Economia Mista: toda entidade que possui personalidade jurídica de direito privado que foi criada através de lei para a exploração de uma atividade econômica.

Pensando sobre a abundância de água doce em nosso país, pode parecer fácil para o Estado ou para as concessionárias gerir os recursos hídricos de maneira eficaz; entretanto, é importante compreender que a água deve ser tratada com um recurso natural limitado.

Neste viés, Borba *et al.* (2018) afirmam que a condição de escassez hídrica é um limitador do desenvolvimento e o Brasil ainda carece de mecanismos de gestão eficazes para gerenciar os recursos hídricos, neste contexto uma ferramenta

indispensável ao gerenciamento eficaz é o monitoramento dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos.

Com o intuito de compreender como se dá a gestão dos recursos hídricos a partir do saneamento ambiental, o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) se mostra como uma interessante fonte de dados. A Tabela 1 apresenta como se organiza o setor de saneamento ambiental no Brasil e é baseada nos dados do SNIS de 2019 e 2020.

**Tabela 1– Dados sobre perdas de 2019 e 2020**

Natureza Jurídica	Ano	Quantidade de municípios atendidos	Percentual do Total	Maior IPL <sup>1</sup>	Menor IPL	IPL Médio
Administração pública direta	2019	1063	19,02%	2798,6	0	239,83
	2020	1300	21,68%	2795,6	0	230,12
Autarquia	2019	500	8,95%	2367,79	0	312,79
	2020	536	8,94%	1996,66	0	370,65
Empresa privada	2019	205	3,67%	993,39	3,79	259,41
	2020	214	3,57%	976,37	1,56	181,41
Empresa pública	2019	83	1,49%	802,3	6,43	164,37
	2020	83	1,38%	892,42	0	220,99
Organização social	2019	5	0,09%	39,01	0	18,4
	2020	6	0,1%	70,52	0	27,07
Sociedade de economia mista com administração pública	2019	3732	66,79%	6821,81	0	244,21
	2020	3856	64,32%	8792,69	0	510,07
Total	2019	5588	100,00%	6821,81	0	
	2020	5995	100,00%	8792,69	0	
Média	2019			2303,82	1,7	206,5
	2020			2587,38	0,26	256,72

**Fonte: Adaptado de SNIS, (2019, 2020)**

Neste contexto é importante considerar a advertência apresentada por Santos *et al.* (2020), pois aproximar-se da sustentabilidade dentro da segurança hídrica depende do combate e superação dos desafios como mudanças nos padrões de uso e consumo, alterações climáticas, crescimento populacional e políticas de usos de solo, entre outras. As dificuldades ligadas ao abastecimento de água no Brasil são resultantes de uma combinação de elementos dentre os quais é possível citar: industrialização, expansão das fronteiras agrícolas e o adensamento populacional urbano sem planejamento.

<sup>1</sup> IPL: Índice de Perdas por ligação (medido em litros por ligação por dia).

Assim sendo, as diversas estratégias adotadas no gerenciamento dos recursos hídricos devem estar focadas na segurança hídrica para garantir o abastecimento regular e satisfatório para suportar todas as atividades antrópicas.

Baseado no estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, (2020) - Contas econômicas ambientais da água: Brasil 2013 - 2017 se verifica que o custo médio do metro cúbico de água pode ser considerado R \$3,06.

Considerando que em 2020 o total de ligações prediais ativas era de 68.623.265, pode-se obter o montante de 17.616.965 metros cúbicos perdidos diariamente. Se este valor for multiplicado custo médio do metro cúbico de água, o resultado dos recursos monetários desperdiçados no processo de distribuição chega ao valor médio de R \$53.907.911,65 por dia. Se esta estimativa for considerada, anualmente são perdidos aproximadamente R \$20 bilhões de reais; esse valor representa 1,36% do PIB do Brasil em 2020. Ainda de acordo com o estudo supracitado, o uso diário das famílias no Brasil é, na média, de 116 litros por habitante, ou seja, o IPL médio em 2020 é superior ao consumo diário de dois indivíduos.

Desta maneira, considerando os argumentos apresentados, fica evidente que apesar da superabundância de recursos hídricos no Brasil é cada vez mais necessário que sejam adotadas medidas de gerenciamento eficientes e eficazes.

Estas medidas se originam na esfera política, conforme apresentado por Momm *et al.* (2021), e se relacionam ao nexo político dos desastres, em especial da condição de exclusão hídrica. Por esta razão, uma das sugestões presentes no estudo está relacionada à importância do desenvolvimento de *roadmap* para promover a gestão sustentável.

Para operacionalizar a sustentabilidade a gestão de recursos hídricos deverá estar relacionada à cultura do planejamento, considerando fatores endógenos e exógenos, e ser melhor capacitada à ocorrência de eventos caóticos e saber encontrar a medida de equilíbrio entre períodos de estabilidade e instabilidade.

Faz-se interessante concordar que a ocorrência de eventos caóticos é um produto da dinâmica social e por esta razão deve estar no âmago do sistema de gerenciamento e que a compreensão das suas características históricas de recorrência deve servir de embasamento para modelagens onde a melhoria contínua neste sistema seja o objetivo.

Assim sendo, a especificação das ferramentas de planejamento e gerenciamento estão intrinsecamente ligadas à esfera política e esta deve fortalecer

o conceito de resiliência, governança e processos participativos visando alcançar melhorias na eficiência dos processos relacionados à gestão dos SAAs (Sistemas de Abastecimento de Água). Dentro das alternativas para busca de eficiência, um dos aspectos importantes a analisar trata da existência de perdas e das alternativas para controlá-las.

## 2.4 O fenômeno das perdas

Quando os SAAs são analisados percebe-se uma miríade de desafios que, normalmente, incluem a modificação das regulamentações, o envelhecimento das infraestruturas de captação, tratamento e distribuição, a disponibilidade e a qualidade do recurso. Todos estes desafios podem ser agravados por fluxos migratórios e/ou mudanças climáticas. Neste íterim as estratégias de gestão com foco no controle de perdas são ferramentas úteis para compreender e superar estes desafios.

Mesmo que a implementação de ferramentas de gestão e controle de perdas pareça um investimento significativo ela representa um custo que resulta em recuperação econômica quando implementadas. A mitigação de vazamentos traz, entre outros benefícios, a redução sensível do potencial de entrada de patógenos contaminantes dentro dos sistemas de distribuição de água tratada e a redução dos custos operacionais na produção e na distribuição da água tratada.

Por este motivo, compreender as características e comportamentos dos SAAs está intimamente relacionado ao entendimento do que são as perdas de água e a forma como elas ocorrem.

Segundo Thornton *et al.* (2002) as perdas de água ocorrem tanto nos ramais prediais quanto em redes de distribuição. A existência de perdas pode ser considerada um problema universal que afeta países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Este fenômeno pode ocorrer de duas maneiras: a primeira delas ocorre por vazamentos em tubulações e extravasamento de reservatórios, essas são as perdas consideradas reais. Já a segunda modalidade diz respeito a água que não é propriamente perdida, mas não gera receita em razão da imprecisão dos dispositivos medidores ou por fraudes no sistema, essa modalidade é considerada perda aparente.

Do ponto de vista do controle operacional do SAA a atividade de gestão de perdas é uma das atividades de maior importância para a gestão das concessionárias

de recursos hídricos, pois seu acompanhamento está diretamente relacionado ao comportamento e evolução de despesas e receitas (SILVA *et al.*, 2003).

Analisando esta prerrogativa, é possível definir que perda é toda a quantidade de água dentro de um SAA que não é contabilizada nem faturada pela concessionária. Ou seja, representa todo e qualquer volume de água tratada que não chegou ao seu consumidor final e, conseqüentemente, não gerou receita (TROJAN; KOVALESKI, 2005).

Por conta da ocorrência de perdas, as concessionárias de recursos hídricos vivem uma época de grande desafio. Constantemente são pesquisadas e desenvolvidas técnicas para se atingir um uso racional da água e obter um controle de perdas notadamente eficaz. Sabe-se que o melhor indicador para se mensurar a eficiência de uma companhia de saneamento ambiental é o indicador de perdas, pois este não impacta somente na dimensão financeira da empresa, mas interfere diretamente nos aspectos energéticos e ambientais relacionados à produção de água tratada (BACHA *et al.*, 2010).

Assim sendo a boa gestão dos recursos hídricos proporciona a manutenção de sua disponibilidade, ou seja, trabalhando de forma otimizada as empresas de saneamento aperfeiçoaram o atendimento de demandas mantendo um custo operacional baixo.

Para Oliveira *et al.* (2015) é impossível realizar a extinção total e completa das perdas dentro de um SAA. Com base neste excerto devemos considerar dois limites para a redução de perdas: o limite econômico, que se relaciona com mensurar os custos envolvidos na redução das perdas e verificar se estes são menores que o valor representado pelo volume recuperado ou reduzido; e o limite técnico, que se relaciona ao volume mínimo que pode ser obtido com a tecnologia que se tem disponível.

A consideração destes dois limites tem significativa importância e reflete diretamente nos paradigmas de gestão e também na sustentabilidade das empresas de saneamento, tanto do setor público quanto no setor privado. A busca por eficiência operacional e por soluções sustentáveis pressupõe a contínua pesquisa e desenvolvimento de diversos dispositivos e técnicas para aumentar a eficiência, notadamente esses esforços estão focados no controle e redução de perdas no SAA (ABES, 2015).

No Sétimo Fórum Mundial da Água (2015) foi reiterado que a ocorrência de perdas é comum a todos os SAAs, entretanto, seu volume final varia de acordo com

uma infinidade de fatores, dentre os quais pode-se citar: topografia, intempéries, danos causados por pessoas físicas ou jurídicas, má qualidade das tubulações, entre outros. Concordando com a afirmação de Oliveira (2015), supracitada anteriormente, as perdas não podem ser completamente extintas, entretanto, pode-se definir um valor aceitável para sua ocorrência.

Isto posto, verifica-se que cada sistema tem suas particularidades e é por esta razão que definir a economicidade para as perdas se torna uma tarefa árdua. Características como disponibilidade hídrica e os custos envolvidos com sua operação, custos envolvidos com a distribuição e custos operacionais da redução de perdas resultam num conceito chamado “Perdas reais inevitáveis” que devem ser equacionadas considerando as características inerentes a cada SAA (ABES, 2015).

Ainda de acordo com ABES (2015), a ocorrência de perdas se dá naturalmente em razão do processo de deterioração da tubulação, da perda de eficácia dos macromedidores e hidrômetros e também dos aumentos na quantidade de fraudes. Para que estes fatores sejam reduzidos as concessionárias devem planejar substituições e manutenções em tubulações e medidores, bem como realizar, frequentemente, ações para recuperação de ligações inativas e mitigação de fraudes; esta última ação, entretanto, pode extrapolar a competência de atuação das companhias de saneamento, considerando que fraudes podem estar relacionadas a ocupação fundiária irregular.

Por conseguinte, a gestão eficiente de perdas é uma operação fundamental para se atingir uma performance eficiente. Altos níveis de perdas requerem ações baseadas em estratégias e planejamento de longo prazo e devem ser aplicadas constantemente para manter o indicador de perdas dentro do limite onde o SAA seja economicamente viável para ser operado (EUROPEAN UNION, 2015).

Buscando atingir a condição econômica mais favorável faz-se imperioso analisar a ocorrência de perdas em um SAA, visto que este é um aspecto determinante para a avaliação da eficiência em uma concessionária de recursos hídricos. A análise de perdas deve ser um procedimento elementar para se planejar manutenções, investimentos ou outras atividades operacionais focadas na eficiência operacional (SOBREIRA; FORTES, 2016).

Assim, as concessionárias de recursos hídricos estão cientes da existência de um déficit entre o volume de água produzida (VP) e o volume registrado, no mesmo período, pelos hidrômetros conectados aos ramais prediais dos consumidores (VM).



Essa diferença, conhecida como volume não contabilizado, é devida a diferentes fatos como vazamentos no sistema distribuidor, submedição em hidrômetros, consumo público não autorizado ou conexões ilegais (fraudes) de forma que se postula que a relação entre VM e VP é conhecida como eficiência hidráulica (CONEJOS *et al.*, 2017).

De maneira geral, os argumentos supracitados podem ser classificados como perdas. Isto posto, mostra-se imprescindível apresentar um padrão de classificação para o fenômeno, pois a existência de classificação permite que possam ser adotadas ações específicas em cada uma das classes.

#### 2.4.1 Classificação das perdas

A ocorrência de perdas pode ser considerada um problema generalizado que afeta os SAAs de países com os mais variados níveis de desenvolvimento tecnológico ou econômico.

Basicamente, as perdas podem ser classificadas em duas naturezas: reais (água perdida no sistema distribuidor, por meio de tubulações partidas, anéis de vedação deficientes, extravasamento em reservatórios e/ou procedimentos incorretos de descarga) e aparentes (quando não há perda física, mas a concessionária não recebe a contrapartida financeira por ela, seja por problemas de submedição, confiabilidade de macromedidores ou fraudes). A soma destas duas modalidades, acrescida do consumo autorizado e não-faturado é definida como a água que não gera receita (THORNTON *et al.*, 2002).

Para Cunha (2007), mensurar as perdas é um procedimento que pode ser realizado por meio do balanço hídrico e também da observação da diferença de consumo em patamar noturno e diurno. O balanço hídrico é um método eficiente para análise em distritos de medição (DM) e a observação dos patamares é um método contínuo que pode ser realizado com base nos volumes macro e micromedidos. Para ambos os métodos a componente temporal é vital uma vez que todos os volumes, necessariamente, são expressos por quantidade sobre tempo ( $m^3/h$ ,  $l/s$ ....).

Em razão destes argumentos, ABES (2015) reitera que conhecer profundamente o SAA é o passo inicial para resolver o problema de perdas. Para conhecer o sistema é importante ter uma boa base de dados espaço-temporais e também ter um processo participativo e integrador. Ou seja, é importante que exista

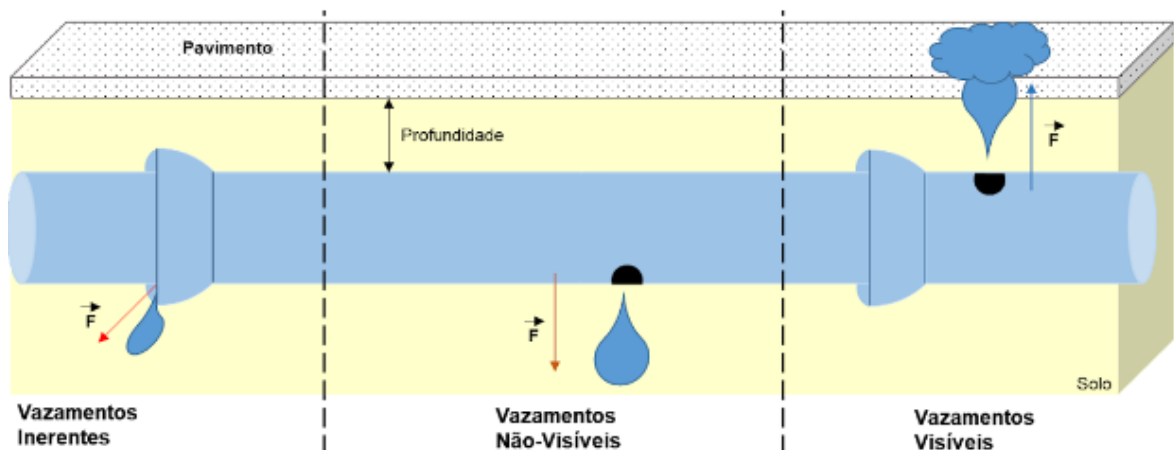
uma política de redução de perdas bem definida para que todos os colaboradores possam se sentir inseridos dentro do processo de gestão de perdas.

Ainda de acordo com ABES (2015) as perdas são classificadas em duas categorias: reais e aparentes. Perdas reais se relacionam aos vazamentos (aparentes ou não) ou extravasamento em áreas de reservação<sup>2</sup>. Esta modalidade de perda impacta diretamente na disponibilização de água tratada e eleva significativamente os custos produtivos. Os vazamentos podem ser categorizados em três tipos:

- Vazamentos Inerentes: todos os vazamentos não visíveis e que são impossíveis de localizar através dos métodos convencionais de detecção acústica.
- Vazamentos Não-Visíveis: são todos os vazamentos que percolam no solo e não afloram na superfície. Este tipo de vazamento pode ser detectado por dispositivos de detecção acústica.
- Vazamentos Visíveis: todo vazamento que aflora à superfície e que é visualmente detectável tanto pela população quanto pelos operadores de redes das concessionárias de recursos hídricos.

A Figura 2 ilustra a condição supracitada.

**Figura 2 – Representação dos tipos de vazamentos**



**Fonte: O autor (2022)**

As perdas aparentes, comumente são chamadas de perdas não-físicas, são decorrentes da existência de ligações clandestinas, ligações irregulares, fraudes em

<sup>2</sup> **Reservação:** armazenamento da água entre o tratamento e o consumo com os objetivos de: suprir as variações horárias de consumo e garantir reservas de emergência a enfermidade crônica resultante (fonte: <https://www.aguabrasil.iciet.fiocruz.br/index.php?pag=sane>).

hidrômetros, baixa confiabilidade na micro e macromedição, erros de leitura e erros de cadastro comercial (GONÇALVES; LIMA, 2007 apud GONÇALVES *et al.*, 2015).

A ocorrência de perdas em sistemas de distribuição de água tratada compromete diversos componentes do cotidiano. Por esta razão é preciso apresentar quais são estes componentes.

#### 2.4.2 Abordagem Holística das perdas

No documento da *European Union* (2015) os autores propõem uma visão holística sobre a ocorrência de perdas, pois sua existência fere as esferas sociais, políticas e ambientais. Pode-se considerar que este indicador é um *KPI (Key Performance Indicator)*, ou seja, um indicador de performance chave para empresas de saneamento e entidades reguladoras. Na tentativa de engendrar essas visões holísticas sobre o tema foram propostas as seguintes perspectivas:

- **Perspectiva do desenvolvimento:** mesmo que a perda por vazamentos volte ao ambiente ela é prejudicial, pois a água já foi retirada do manancial. Em países com disponibilidade hídrica delicada, isso pode acarretar grandes prejuízos. Essa perspectiva é importante, pois cada ecossistema é dependente da água e se ocorrer uma adução massiva, isso implicará em danos para esse ecossistema. Desta forma, garantir a disponibilidade da água é, também, garantir o equilíbrio do ecossistema.
- **Perspectiva política e social:** a disponibilidade de água tem uma dimensão política imensa. As discussões sobre investimentos de agências federais de fomento direcionadas aos projetos de extensão de redes de distribuição e a universalização do serviço de fornecimento, a propriedade sobre as empresas e as concessões, bem como as políticas tarifárias são de responsabilidade dos Estados. A existência das perdas reflete diretamente num outro indicador, a satisfação do cliente externo. Quanto maior o IPL maior o número de reclamações contra o serviço prestado e, em razão disto, maiores são as pressões para que o Estado libere capital em forma de investimentos.
- **Perspectiva Econômica:** a perda excessiva é um fator que contribui para reduzir o volume de água disponível nos mananciais e isto pode se tornar um limitante para a capacidade de desenvolvimento econômico de uma determinada localidade. Os campos que mais obtêm economia quando as perdas são reduzidas são: a redução

dos produtos químicos utilizados no tratamento da água, a queda no consumo de energia elétrica utilizada no tratamento e bombeamento e redução dos valores pagos nas outorgas. Obviamente, reduzir perdas resulta em economia de recursos financeiros. Pode-se realizar um balanço econômico entre o custo do metro cúbico produzido e as perdas (considerando também o custo dos esforços empregados para reduzi-las). Considerando o custo da produção nos diferentes níveis de perdas é possível estimar o ponto mais econômico de operação; ponto este onde os custos operacionais estarão otimizados.

- **Perspectiva Tecnológica:** com o passar do tempo de instalação as redes de distribuição de água tratada (RDAs) e os ramais prediais de água (RMAs) sofrem desgastes e fadigas. Estes processos culminam em perdas por vazamentos e por esta razão RDAs e RMAs devem ser constantemente analisados e reparados. Para atender a esta finalidade deve existir constante pesquisa para o desenvolvimento de materiais para produção de tubulações mais resistentes, de dispositivos que proporcionem uma detecção mais acurada de vazamentos bem como a evolução do ferramental de reparo (o que resulta na redução do tempo de manutenção e, por consequência, redução de perdas).
- **Perspectiva Legal e de Regulação:** para que níveis de regulação e das perspectivas legais sejam atendidas é imprescindível considerar as expectativas dos vários *stakeholders*. Para os consumidores a importância está relacionada à eficiência e eficácia do serviço prestado, o consumidor deve perceber que o valor que paga pela prestação do serviço é bem investido, compreendendo o benefício resultante do fornecimento de água tratada. Para as agências de fomento ou financiamento é importante perceber que os investimentos e os custos de operação estejam bem definidos e justificados no plano de negócios, os diretores e acionistas esperam que o SAA seja gerido eficientemente para resultar em retorno sobre os investimentos, representando a proteção da imagem da empresa. Já para os órgãos ambientais a importância maior se relaciona às outorgas e gerenciamento de demandas; por fim tem-se o Estado que visa salvaguardar o acesso a água tratada e provisionar sua suficiência para o desenvolvimento econômico e a saúde pública.

Ao considerar todas as perspectivas apresentadas o estudo é compelido a analisar sistematicamente uma variedade de métodos testados e corroborados para

gerenciar perdas. Considerando isto, mostra-se de vital importância apresentar uma explicação condensada de cada um destes métodos.

## 2.5 Métodos Utilizados no controle de perdas

A proposição de modelos de previsão de vazamentos é um assunto complexo que tem um impacto significativo no sistema de distribuição de água. As metodologias mais comuns consideram as diferenças entre valores macromedidos e micromedidos em setores estanques bem como a adoção do fator de pesquisa (que se baseia na diferença entre os patamares diurno e noturno).

As metodologias utilizadas para esta finalidade resultam da evolução tecnológica que se iniciou no século XIX com as equações de Kuichling, com a definição de distritos de medição com tubo de Pitot e com a detecção de vazamentos com hastes de madeira. As primeiras hastes mecânicas de escuta foram desenvolvidas na primeira metade do século XX e os primeiros medidores de consumo (THORNTON *et al.*, 2002).

Na segunda metade do século foram desenvolvidos os geofones eletrônicos, os correlacionadores eletrônicos de ruído e os primeiros dataloggers à bateria. No século XXI foram desenvolvidos os primeiros sistemas de detecção de vazamentos integrados aos sistemas de informações geográficas (GIS) e criadas as recomendações da *International Water Association (IWA)* para a padronização do gerenciamento dos recursos hídricos, incluindo os indicadores de perdas reais anuais inevitáveis e o índice de vazamentos em infraestrutura (THORNTON *et al.*, 2002).

De acordo com o estudo de Poulakis *et al.* (2003) é possível realizar a detecção de vazamentos por meio de um *framework* probabilístico bayesiano. Esta metodologia pode manipular de maneira eficiente as inevitáveis incertezas nos procedimentos de medição e iluminar prováveis erros de modelagem. Baseada em dados das simulações de fluxo, esta metodologia pode apontar o evento de vazamento mais provável elencado por magnitude e localização bem como o percentual de incerteza nesta estimativa. Este método se mostrou altamente eficiente para as condições modeladas, ou seja, numa situação hipotética onde todas as variáveis estavam controladas.

Por outro lado, para Gumier (2005) e Gumier e Luvizotto Júnior (2006) a proposição de um algoritmo baseado no método elástico de análise do regime

permanente (*Time Marching Approach - TMA*), derivado da aplicação do algoritmo heurístico de Nelder-Mead, que pode se mostrar útil a localização de vazamentos.

Sua análise de aplicação do método apresentou que para uma rede simulada com variáveis totalmente conhecidas o método pode ser considerado válido, entretanto, aponta que a seleção de nós interfere na confiabilidade dos resultados e não apresenta uma padronização para a seleção destes nós. Traz como sugestão que a escolha dos nós deve estar relacionada à suspeita de proximidade do vazamento sendo que quanto mais acurada essa escolha do nó de monitoramento maior será a probabilidade de encontrar, de fato, o vazamento (GUMIER; LUVIZOTTO JÚNIOR, 2006).

Os resultados da aplicação de sua proposição apontam a importância do desenvolvimento/ aplicação de dispositivos de monitoramento nas redes de distribuição de água e a necessidade de especificação de modelos que tratem séries temporais em regime transitório e permanente com a finalidade de melhorar a acuidade diagnóstica (GUMIER; LUVIZOTTO JÚNIOR, 2006).

Sob outro ponto de vista, de acordo com Trojan (2006), uma alternativa interessante para a gestão das perdas se relaciona com a implementação de um Sistema de Monitoramento Especializado (SME) que é dependente de outros sistemas que produzam informações de maneira padronizada.

A correlação entre as informações oriundas destes bancos de dados resultou na construção de um novo banco de dados para o SME e que servirá de subsídio para a tomada de decisão. O pesquisador alerta que a produção de dados dos sensores deve possuir rotinas que delimitem, precisamente, a ocorrência de falhas para que estas não produzam dados equivocados que, conseqüentemente, comprometam o processo de tomada de decisão (TROJAN, 2006).

Os resultados do trabalho apontam a importância do acompanhamento da evolução da vazão mínima noturna e também a importância da correção de problemas relacionados às características hidráulicas e ocorrências de falhas nos dispositivos de automação presentes no sistema. A utilização do SME, conforme orientada pelo pesquisador, mostra-se como uma ferramenta que permite responder com agilidade à ocorrência de falhas e ao considerar que o volume perdido em um vazamento é diretamente proporcional ao tempo de ocorrência e a tomada de decisão rápida traz resultados positivos para a redução de perdas do (TROJAN, 2006).

Já o método proposto por Puust *et al.* (2006) relata que pode ser considerada útil a predição baseada em *machine learning* supervisionado que decorre da aplicação do algoritmo SCEM-UA (*Shuffled Complex Evolution Metropolis*) que pode ser considerado como um aprimoramento do algoritmo SCE-UA (*Shuffled Complex Evolution*), aplicado à problemas de calibração de modelo hidráulicos em regime transitório. Sua utilização depende da definição de um ponto de iteração guia selecionado com base em estatísticas de uma distribuição normal multivariada.

A utilização deste algoritmo demonstrou que ele não depende de um ponto guia de alta acurácia e seus resultados são convergidos de maneira satisfatória. Entretanto, nos estudos de caso, a aplicação do algoritmo apontou algumas necessidades que podem não ser encontradas no mundo real: a necessidade de tomadas de pressão perfeitas e a quantidade de vezes que o algoritmo deve ser rodado para que produza resultados confiáveis (PUUST *et al.*, 2006).

Para casos de medição de pressão imprecisa dentro de uma rede de distribuição com maior complexidade, o algoritmo se mostrou eficiente em zonas onde há menor quantidade de vazamentos e apresentou fragilidade em zonas onde existem quantidades maiores de vazamentos. A ineficiência do algoritmo parece, de acordo com o pesquisador, estar relacionada à pressão de ruído nas medições de pressão e outras falhas de medição dentro do setor estudado. Desta maneira, o algoritmo poderá ser considerado válido para casos onde a quantidade e qualidade dos dados de medição sejam suficientes para treinar o modelo (PUUST *et al.*, 2006).

De maneira análoga, ao analisar o método proposto por Nasirian *et al.* (2013) que é baseado na utilização de algoritmos genéticos para calibração de modelos de redes de distribuição de água tratada e da detecção de vazamentos verificou-se que os resultados encontrados em três ensaios mostraram que a detecção por meio de algoritmos genéticos é possível, entretanto, a sua acurácia depende de uma vasta quantidade de pontos de medição de pressão e, portanto, a credibilidade da utilização deste tipo de algoritmo não é satisfatória.

Todavia, a metodologia do balanço hídrico, proposta pela IWA, se mostra como uma ferramenta com validade significativa, pois analisa diversos componentes. Através de sua adoção os gestores podem amplificar a compreensão acerca da magnitude e características das perdas e, se a análise estiver correta, pode orientar para ações que resultem na redução do volume não faturado (BAKOIANNIS; TZAMTZIS, 2014). Entretanto, esta metodologia não possui nenhuma característica

que resulte na possibilidade de realizar previsões acerca das prováveis zonas de ocorrência de vazamentos ou outras modalidades de perda.

Ainda para Bakogiannis e Tzamtzis (2014) a utilização do Balanço Hídrico pode ser considerada um *framework* que “fatia” os volumes para que se possa tornar mais fácil o cálculo de eficiência operacional de uma concessionária ou empresa de gerenciamento de recursos hídricos. Este método é amplamente considerado como ferramenta válida para o cálculo dos volumes.

O Quadro 3 apresenta as categorias utilizadas para o cálculo do balanço hídrico.

**Quadro 3 – Metodologia do balanço hídrico IWA**

Volume produzido	Consumo Autorizado	Consumo autorizado e faturado	Consumo medido e faturado	Água que gera receita
			Consumo não medido e faturado	
		Consumo autorizado e não faturado	Consumo medido e não faturado	Água que não gera receita
			Consumo não medido e não faturado	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado	
			Medição imprecisa e dados não-confiáveis	
		Perdas reais	Vazamentos na distribuição e perdas visíveis	
			Extravasamento em reservatórios	
		Vazamentos na ligação predial		

**Fonte: adaptado de Bakogiannis e Tzamtzis (2014)**

Alinhado a esta proposta, o estudo realizado por Xu *et al.* (2014) relata que as técnicas mais difundidas na pesquisa de vazamentos podem ser classificadas em três categorias: detecção de ruídos, monitoramento de pressão e vazão e outras técnicas, sendo que as duas primeiras são as mais utilizadas. A detecção de vazamentos por ruídos se baseia na propagação dos ruídos quando a água passa por orifícios, fraturas ou materiais externos ao tubo. Essas ondas propagadas são capturadas nos aparelhos de geofone e auxiliam na identificação do local de ocorrência do vazamento.

O monitoramento de pressão e vazão se baseia na verificação de alterações nas características normais de comportamento das redes de distribuição, este método relata que quando há um vazamento, comumente, a pressão na tubulação reduz e o fluxo aumenta. As outras técnicas consistem na detecção de visual (vazamentos aparentes) ou na observação da modificação da vegetação de um local, por exemplo (XU *et al.*, 2014).



Sob outro viés, dos estudos de van Zyl (2014), Schwaller e van Zyl (2014) e Fox *et al.* (2015) pode-se inferir que, baseado na equação de Torricelli, os vazamentos têm comportamento de fluxos em orifícios que podem explicitar as características tanto de vazamentos individuais como em distritos de medição (setores estanques) que apresentam vazamentos.

Ao se associar a equação de Torricelli ao modelo FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharge*), obtém-se a possibilidade de estimar as perdas por vazamentos tanto em orifícios de seção constante como em orifícios de seção variável, ou seja, torna-se uma ferramenta de análise útil para regiões onde as cargas piezométricas variam com a extensão das redes de distribuição. De acordo com os pesquisadores, a adoção de alternativas para gerenciamento e controle de pressão é um ponto fundamental para a redução de vazamentos (SCHWALLER; VAN ZYL, 2014).

De outra forma, verificando as arguições de Trojan e Morais (2015), pode-se inferir que a utilização de análise multicritérios<sup>3</sup> pode se apresentar como uma metodologia útil à tomada de decisão focada na redução das perdas em redes de distribuição de água. Os pesquisadores apontam que este método inicia na verificação das ocorrências, passa à etapa de classificação e posteriormente a fase de agregação. Percebe-se que a análise multicritérios guarda similitudes com a técnica baseada na utilização de algoritmos genéticos, entretanto os resultados alcançados pelo estudo apresentam esta abordagem como uma ferramenta útil para produzir subsídios para os tomadores de decisão, do ponto de vista da manutenção.

Considerando a pesquisa de Adedeji *et al.* (2017) pode-se verificar que a estruturação de um algoritmo de detecção de vazamentos, baseado no método conhecido como Método de Newton-Raphson<sup>4</sup>, pode ser válido quando aplicado em dados coletados em redes de distribuição de água tratada. Esse algoritmo considera um range pré-definido para analisar os fluxos nos nós de uma simulação e, posteriormente, retorna à informação sobre a ocorrência (ou não) de vazamentos. Apesar de todo o rigor matemático apresentado pelos autores, os resultados apontam

---

<sup>3</sup> O método multicritérios é uma abordagem utilizada para tomar decisões quando há múltiplos critérios a serem considerados. Ele permite a avaliação de diferentes alternativas em relação a vários critérios, levando em conta a importância relativa de cada critério.

<sup>4</sup> O Método de Newton-Raphson é, de forma resumida, é um algoritmo utilizado para encontrar aproximações de raízes de uma função. Ele envolve o uso de derivadas da função para iterativamente se aproximar da raiz desejada. O método utiliza uma fórmula recursiva para atualizar a estimativa da raiz a cada iteração, convergindo rapidamente para a solução. É amplamente utilizado em cálculo numérico e otimização.

que a detecção precisa dos pontos de vazamento ainda é um tema que depende do desenvolvimento de outras pesquisas para que possa se tornar um método de eficácia considerável.

Estudando a pesquisa de Selek *et al.* (2018), se verificou que seus resultados sintetizam que a combinação dos métodos de balanço hídrico, setorização, monitoramento e análise, modelagem hidráulica e gerenciamento de pressão podem ser considerados uma alternativa eficaz para a redução das perdas. Os resultados do estudo não discutem o ganho percentual nem absoluto que as combinações destes métodos resultam e, também, não discutem a possibilidade de previsão de ocorrências de vazamentos.

De forma complementar, o trabalho de Lizarraga-Raygoza *et al.* (2018) propõe a utilização de um algoritmo que associa as equações da dinâmica de fluídos. Neste estudo o comportamento da tubulação passa a ser descrito através da combinação entre a equação da fricção e modelagem de tubulação (derivada da equação de Torricelli). O algoritmo proposto realiza uma comparação entre as vazões de entrada e saída de um nó e apresentou resultados satisfatórios em um modelo simulado, entretanto, os autores relatam que para se manter a eficácia do algoritmo em condições reais de operação é preciso conhecer todas as características da tubulação, ou seja, para condições além do simulado ele não se mostra eficiente.

Ainda dentro do campo das tecnologias da informação, ao analisar o estudo de Kang *et al.* (2018), verifica-se que estes autores realizaram a proposição de um algoritmo (baseado na teoria dos grafos) aliado a um dispositivo de monitoramento. O estudo apontou que o tratamento de sinais não foi capaz de superar o range de frequências oriundas dos sistemas de distribuição de água, apresentando-se com baixa acurácia. Desta forma, a análise do algoritmo se mostrou equivocada. Este estudo possibilitou inferências que apontam para a importância de um filtro eficaz para discernir o comportamento de um vazamento.

De maneira análoga, para Jensen *et al.* (2018) as redes de distribuição de água podem ser descritas como um grafo<sup>5</sup> orientado e conectado onde os vértices podem representar os pontos onde estão as ligações prediais. Esta representação por

---

<sup>5</sup> Um grafo é uma estrutura matemática composta por um conjunto de vértices (ou nós) e um conjunto de arestas que conectam esses vértices. Os vértices representam entidades ou objetos, enquanto as arestas representam as relações ou conexões entre eles. Os grafos podem ser usados para modelar uma variedade de situações.

grafos associa pressão, demanda e cota em cada vértice. O modelo proposto neste trabalho realiza um particionamento que visa seccionar os grafos em dois grupos: onde ocorre a injeção de água e onde ocorre consumo. Numa condição ideal o volume de entrada deverá ser igual ao volume de saída. Este modelo aponta que é preciso identificar os ruídos (diferença entre a pressão real e a pressão esperada), pois eles interferem na acuidade do modelo. Assumiu-se que estes ruídos apresentam uma distribuição Gaussiana (padrão de distribuição onde há explicitamente um valor central e a distribuição dos valores respeita a simetria bicaudal onde a frequência de valores extremos é muito pequena).

Em síntese, a proposta do artigo de Jensen *et al.* (2018) era investigar se os ruídos podem apresentar uma assinatura espectral útil para a definição de áreas com possibilidade de vazamentos. O resultado do estudo aponta a importância da consideração dos ruídos associando-os à interpretação de séries históricas dos dados coletados nos sistemas de distribuição. Os autores inferem que é possível, num futuro próximo, criar um algoritmo para isolar áreas de vazamento. Apontam, ainda, que é preciso especializar os testes de hipóteses e de correlação cruzada.

Ao consultar Al-Washali *et al.* (2018) é possível compreender que sua análise parte da definição de distritos de medição e, posteriormente, da coleta de dados de pressão provenientes da instalação de dataloggers para aferir os padrões de comportamento noturnos de consumo (vazão noturna). A estimação da vazão noturna, de acordo com os autores, é um parâmetro sensível que deve considerar as particularidades da região analisada e não somente assumir valores prontos (de outras regiões ou épocas). De acordo com estes autores, os esforços para a localização de vazamentos devem, necessariamente, considerar o nível econômico de perdas, ou seja, o custo para a detecção e conserto não pode superar o benefício representado pela recuperação de volume.

Assim sendo, o modelo analisado no estudo correlaciona as seguintes variáveis: extensão da tubulação, número de ligações prediais e pressão média no trecho. Baseado nestas variáveis alguns parâmetros foram inseridos: quantidade inevitável de vazamentos, crescimento vegetativo de vazamentos (média de 3m<sup>3</sup>/km/dia), custo da água produzida e custo da pesquisa de vazamentos (por km). A realização da equação que considera essas variáveis visa produzir um coeficiente de frequência de intervenção economicamente viável baseado na execução de pesquisas de vazamentos (AL-WASHALI *et al.*, 2018).

Por fim, a generalização baseada na análise de um distrito de medição depende do quanto este distrito é representativo para o sistema inteiro. A acurácia desta modelagem depende da quantidade de dados armazenados ao longo do tempo e de quão confiáveis são os dados de vazão noturna. Para a localidade estudada, os autores apontam não ser possível tecnicamente, operacionalmente e tampouco economicamente extrair um modelo preditivo eficaz, devido às particularidades da rede de distribuição. Um dos argumentos que os resultados enfatizam é da importância da adaptação de modelos às especificidades de cada localidade. A estimação da vazão mínima noturna deve prever a diferença entre a condição de redes e reservatórios completamente cheios (sistema saturado) e a condição de intervalo de tempo que se considera para a vazão mínima noturna (VMN). Outro cuidado importante está relacionado à superestimação de vazamentos no período diurno em razão do decréscimo nas pressões (AL-WASHALI *et al.*, 2018).

Em contrapartida, o estudo de Bonthuys *et al.* (2019) concluiu que a potencial redução de ocorrência de vazamentos (obtenção do nível econômico de vazamentos) pode ser obtida quando se faz o correto gerenciamento da pressão de trabalho nas redes de distribuição. De acordo com estes autores a calibração da pressão ótima de trabalho só pode ser obtida através da correta modelagem hidráulica do sistema distribuidor.

Diferentemente do estudo anterior, na revisão de literatura realizada por El-Zahab e Zayed (2019) fica claro que o processo de pesquisa de vazamentos através do método acústico ou de sensores encontra grande dificuldade para obter precisão quando há interferência de bombas (*boosters*) ou de descargas/hidrantes abertos. Esta dificuldade se dá em razão da complexidade de filtragem eficaz para diferenciar esses tipos de sinais. A ocorrência de falsos-positivos resulta em um desperdício de tempo e de outros recursos. De acordo com estes autores é possível definir duas modalidades de sistema de pesquisa de vazamentos: sistemas estáticos (baseados em sensores e dataloggers, colocados em pontos específicos das redes de distribuição, que coletam e enviam dados para uma central) e sistemas dinâmicos (operam através de recursos móveis - dispositivos ou humanos - e fazem a varredura de um setor a partir de uma suspeita).

Do ponto de vista dos sistemas estáticos García-Ávila *et al.* (2019) propõem que a utilização de válvulas redutoras de pressão, após realização de modelagem computacional, apresentou-se como uma forma eficiente de otimizar a performance

das redes de distribuição de água tratada, ou seja, a propensão à ocorrência de vazamentos se mostrou significativamente relacionada com a pressão interna na tubulação, ou seja, a probabilidade da ocorrência de vazamentos é diretamente proporcional à pressão.

Por outro lado, considerando as proposições de Zhang *et al.* (2019) verifica-se que uma das conclusões possíveis é que a análise de dados em tempo real é uma estratégia para a detecção de anomalias como vazamentos. Neste estudo os métodos de detecção de vazamentos foram agrupados em três categorias de acordo com a fonte dos dados: 1) dados obtidos por sensores fora das redes de distribuição, 2) dados de sensores instalados periodicamente nas redes de distribuição e 3) dados de uma rede permanente de sensores. Assim, o estudo apontou que a seleção de uma destas formas depende da quantidade de investimento que a concessionária está disposta a realizar. A ajustada correlação entre séries temporais de dados de consumo, rompimentos de tubulações, material da tubulação, condições climáticas e de solo pode se apresentar como apoio ao planejamento de substituição de tubulações e, conseqüentemente, redução no número de ocorrências de vazamentos.

Analogamente, no estudo de Corral-Plaza *et al.* (2020) é apresentado que o crescimento exponencial da disponibilidade de dispositivos que coletam informações sobre elementos do mundo real pode servir de aparato para que as concessionárias de recursos hídricos gestionem seus processos de modo mais eficaz. Entretanto, para que estes dados possam ser úteis e auxiliem na tomada de decisão é imprescindível que processamento e análise seja um processo conciso e que tenda a reduzir a heterogeneidade destes dados. É dentro deste paradigma que os modelos de *machine learning*<sup>6</sup> podem ser utilizados para detectar situações de ocorrências de vazamentos.

Ainda dentro do campo da *IoT*<sup>7</sup> (*Internet of Things*), a pesquisa de Nie *et al.* (2020) relata que a análise dos padrões de consumo de água dentro de períodos de tempo é um dos aspectos que depende da coleta e tratamento de dados. Os processos de *Data Science* aplicados ao gerenciamento de redes de água podem ser

---

<sup>6</sup> *Machine Learning* é um campo da inteligência artificial que desenvolve algoritmos para permitir que as máquinas aprendam e tomem decisões com base em dados, sem serem explicitamente programadas para cada tarefa. Os modelos são treinados em grandes conjuntos de dados para identificar padrões e fazer previsões.

<sup>7</sup> *IoT* (*Internet of Things*) é um conceito que se refere à conexão de dispositivos físicos à internet para coletar e trocar dados.

utilizados como ferramentas para auxiliar na definição de áreas com problemas de abastecimento. De acordo com este estudo, o montante de dados coletados ao longo dos sistemas de distribuição de água pode trazer subsídios para a melhora da modelagem matemática dos e interpretação em *softwares SCADA*.

Neste mesmo campo, o estudo de Conejos *et al.* (2020) apresenta que a utilização da técnica denominada “gêmeos digitais<sup>8</sup>” (*digital twins*) pode ser desenvolvida e aplicada aos sistemas de distribuição de água tratada. Esta aplicação mostra que a utilização de modelagem é cada vez mais importante para o suporte à tomada de decisão nestes sistemas, principalmente quando se trata da detecção de vazamentos, otimização operacional, eficiência energética e planejamento de manutenção.

De acordo com Pesantez *et al.* (2020) a coleta de dados de consumo de água pode ser utilizada para o desenvolvimento de modelos de inferência. Dentre as oportunidades para estes modelos é possível citar a identificação de vazamentos e a elaboração de estratégias para reduzir o stress das redes de distribuição em períodos de pico de demanda. De maneira simplificada estes modelos processam os dados e comparam como padrões definidos como normais de forma que o resultado alerta o operador do sistema quando o comportamento difere deste normal.

Neste íterim, para Ramos *et al.* (2020), o Gerenciamento Inteligente da Água é um método que contribui para a redução de vazamentos, pois a aplicação de tecnologias inteligentes nos SAAs traz, entre outros benefícios, o monitoramento de redes de forma a identificar estruturas degradadas, abastecimentos irregulares e/ou desvios significativos no volume fornecido aos consumidores. A aplicação deste método proporciona às concessionárias a construção de uma base de dados eficiente para identificar zonas de perdas ou de ligações irregulares. Por fim, este método alinha os propósitos do controle de perdas a estratégias para a obtenção do nível econômico de perdas.

Considerando estratégias de nível gerencial, Pereira *et al.* (2020) relatam que o coeficiente de perdas no Brasil é de cerca de 38% e os fatores que estão mais fortemente relacionados à sua ocorrência são: a idade das tubulações, a inexistência de programas de monitoramento, a má qualidade das instalações e a pressão

---

<sup>8</sup> *Digital Twins* são réplicas virtuais de objetos, sistemas ou processos do mundo real. Eles são criados através da coleta de dados em tempo real de sensores e outros dispositivos conectados, permitindo a simulação e análise do comportamento do objeto real.

excessiva. Na proposta do estudo, a obtenção de um modelo de gestão de recursos hídricos focada na sustentabilidade deve considerar o relacionamento entre as áreas de engenharia, relações sociais, econômica e de gestão ambiental. A eficácia da correlação entre esses atores culmina num planejamento de manutenção por prioridades com uma agenda estritamente sistemática e organizada. Este plano de ação pode considerar a metodologia *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve e Control)* como um método útil para atingir estes objetivos.

De modo complementar, Shukla e Piratla (2020) apontam que a elaboração de algoritmos destinados à detecção de vazamentos possui alguns desafios derivados da dificuldade da compreensão da dinâmica das redes de distribuição de água tratada. A proposta deste trabalho apresenta a utilização de redes neurais convolucionais (CNN) para prever a gravidade dos vazamentos com base em dados da vibração de um fluxo induzido. A utilização da técnica proposta apresentou acurácia de cerca de 95% em tubulações de PVC, entretanto este método depende da coleta de dados de acelerômetros instalados à montante e à jusante de pontos selecionados na tubulação, o que representa uma baixa exequibilidade para o contexto brasileiro.

Diferentemente dos estudos supramencionados, a análise de Cavazzini *et al.* (2020) relata que as diversas estratégias para gerenciamento da pressão focadas na redução de vazamentos ainda possuem diversos desafios para que se obtenha um procedimento definitivo acerca deste tema. Este estudo introduz um novo indicador, denominado Índice de Performance de Vazamentos, que foi testado a partir da combinação de abordagens de gerenciamento de pressão já conhecidas.

No mesmo sentido, Zhang *et al.* (2020) defendem a importância do controle das pressões de trabalho em redes de distribuição de água tratada para evitar vazamentos. O estudo propôs uma metodologia onde a pressão de saída de boosters é otimizada para atender condições de consumo baseada em dados coletados ao longo do tempo. Assim sendo, o método descrito aqui se mostra restrito a condições de água bombeada e pode-se inferir que o gerenciamento da pressão em redes operadas por gravidade possui algumas diferenças que exigem outras especificações para seu controle.

Partindo das análises de pressão, Hu *et al.* (2020) propõem uma metodologia baseada na combinação do método *MFNC (multiscale fully convolutional networks)* com o método *DBSCAN (density based spatial clustering of applications with noise)*. De maneira sucinta o método *DBSCAN* classifica a tubulação de acordo com suas

características focando em trazer um número reduzido de categorias e o método *MFCN* delinea as possíveis zonas de vazamento.

Ao analisar o estudo de Li *et al.* (2020) nota-se que os pesquisadores avaliaram que a instalação de acelerômetros para capturar o espectro dos ruídos dentro de uma tubulação pode se apresentar como um método para localizar vazamentos. Uma das dificuldades encontradas neste método é que existe complexidade quanto a diferenciação entre os padrões de ruído captados pelos acelerômetros, principalmente quando estes ruídos fazem parte de uma mesma banda de frequência. Com base nesta dificuldade os pesquisadores propuseram um método de identificação dos sinais onde os sinais aleatórios e os periódicos seriam bem definidos. De acordo com os resultados obtidos, o método proposto se apresentou útil para classificar os sinais, foi testado em redes plásticas e em metálicas e reduziu o erro na localização de vazamentos a um coeficiente de menos de dois por cento.

Em um estudo que dá continuidade ao supramencionado, Li *et al.* (2020) reiteram a importância de um método eficiente para realizar o processamento de sinais. Quando os sinais são corretamente caracterizados, o local do vazamento pode ser encontrado calculando-se a diferença entre a onda (acústica) de pressão do ponto de vazamento entre dois acelerômetros.

Por outro lado, a pesquisa de Vrachimis *et al.* (2021) aponta que o principal desafio concernente à pesquisa de vazamentos ocorre em razão da combinação do tamanho dos sistemas de distribuição de água, das altas incertezas com relação à modelagem dos parâmetros destas redes e a demanda de consumo. Uma das possíveis alternativas para mitigar estas dificuldades pode ser o estudo sistemático para encontrar o melhor ponto de coleta de dados de sensores de fluxo e pressão.

De maneira análoga o estudo de Li *et al.* (2021) relata que a detecção de vazamentos pode ser alcançada quando se aplicam técnicas de reflectometria. A metodologia proposta diz respeito à emissão de um sinal que obtém como resposta uma alta resolução, capaz de indicar, derivado de sua resposta espectral, a localização precisa de vazamentos ou entupimento de tubulações. De acordo com o estudo, a técnica de reflectometria pode se apresentar como ferramenta muito importante para a avaliação das condições físicas das tubulações de distribuição de água tratada.

Assim, as técnicas analisadas nesta seção são apresentadas no Quadro 4:



Quadro 4 - Resumo das técnicas analisadas nesta seção

Ano	Pesquisador(es)	Classificação do Método	Resumo da técnica
2003	Poulakis <i>et al.</i>	Simulação hidráulica	Aponta prováveis pontos de vazamento com base em resultados de simulação hidráulica.
2005 2006	Gumier, Gumier e Luvizotto Júnior	Simulação hidráulica	Aplicação de algoritmo de análise em de simulações hidráulicas pode auxiliar na redução de perdas.
2006	Trojan	Apoio à tomada de decisão	Montagem de um banco de dados coeso de onde se possam extrair <i>insights</i> sobre pontos que carecem de manutenção.
2006	Puust <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	Aplicação de algoritmo que verifica dados de pressão de trabalho para apontar probabilidade de vazamentos.
2013	Nasirian <i>et al.</i>	Simulação hidráulica	Aplicação de algoritmo genético para analisar dados de pressão de trabalho para definir setores onde existem vazamentos.
2014	Bakogiannis e Tzamtzis	Apoio à tomada de decisão	A metodologia do balanço hídrico é um <i>framework</i> que divide o volume produzido em algumas categorias e conforme sua execução aponta onde as ações para redução de perdas devem estar focadas.
2014	Xu <i>et al.</i>	Técnicas de campo	Detecção acústica, monitoramento de vazão e pressão e inspeção visual.
2014	van Zyl, Schwaller e van Zyl, Fox <i>et al.</i>	Apoio à tomada de decisão	Com base na aplicação do modelo FAVAD é possível inferir o volume perdido em setores com um coeficiente de pressão elevado.
2017	Adedeji <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	Aplicação de algoritmo que analisa dados obtidos de sensores ao longo das redes de distribuição visando estimar prováveis pontos de vazamentos.
2018	Selek <i>et al.</i>	Apoio à tomada de decisão	A concatenação de técnicas de campo, simulação hidráulica e balanço hídrico podem produzir subsídios para a tomada de decisão.
2018	Lizzaraga-Raygoza <i>et al.</i>	Aprendizado computacional	Utilização de algoritmo que compara dados de simulação com dados de campo e busca indicar provável localização de vazamento.
2018	Kang <i>et al.</i>	Aprendizado computacional	Aplicação de algoritmo para análise de ruídos e tentativa de apontamento de localização de vazamentos.
2018	Jensen <i>et al.</i>	Análise estatística de dados	A análise de ruídos decorrentes dos dados de pressão pode possuir uma assinatura válida para orientar a localização de vazamentos.
2018	Al-Washali <i>et al.</i>	Análise de dados de vazão noturna	A análise de vazão mínima noturna em distritos de medição bem definidos (estanques), quando considerados os níveis econômicos de perdas, podem indicar se um distrito possui ou não vazamentos.
2019	Bonthuys <i>et al.</i>	Técnicas de campo	A obtenção do nível econômico de perdas depende do correto gerenciamento da pressão. Quanto maiores as pressões, maiores as possibilidades de ocorrência de vazamentos.
2019	El-Zahab e Zayed	Técnicas de campo	A detecção acústica quando baseada em dispositivos estáticos deve considerar a ocorrência de falsos-positivos e buscar técnicas de tratamento de sinais que realizam a filtragem precisa.

Ano	Pesquisador(es)	Classificação do Método	Resumo da técnica
2019	Garcia-Avila <i>et al.</i>	Técnicas de campo	Controle ativo de pressão baseado na instalação de válvulas redutoras.
2019	Zhang <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	A análise de dados em tempo real quando correlacionada a séries temporais e outras variáveis pode ajudar no planejamento de substituição de tubulações.
2020	Corral-Plaza <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	A utilização de dados oriundos de <i>clusters</i> de sensores aliados a técnicas de <i>machine learning</i> traz possibilidade de respostas rápidas à ocorrência de vazamentos, pois as variações podem ser rapidamente verificadas pelo algoritmo.
2020	Nie <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	A aplicação de coleta e tratamentos de dados podem servir de subsídios para modelagens hidráulicas mais precisas.
2020	Conejos <i>et al.</i>	Modelagem hidráulica	A utilização de gêmeos digitais pode se configurar como uma ferramenta eficaz no apoio à tomada de decisão em gestão de recursos hídricos.
2020	Pesantez <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	Os dados de consumo podem ser utilizados para criar modelos de inferência que identifiquem vazamentos e outras anomalias nos sistemas de distribuição.
2020	Ramos <i>et al.</i>	<i>Smart Management</i>	O gerenciamento inteligente das redes de distribuição pode facilitar o processo de controle de perdas e gerenciamento da operação de redes.
2020	Pereira <i>et al.</i>	Modelo de gestão	A utilização da metodologia DMAIC orientada à sustentabilidade pode resultar na eficácia de operação das concessionárias.
2020	Cavazzini <i>et al.</i>	Pesquisa Operacional	A adoção do indicador Índice de Performance de Vazamentos pode trazer um elemento eficaz para os processos de combate às perdas.
2020	Zhang <i>et al.</i>	Técnicas de Campo	Otimização de pressão em setores bombeados por meio de séries históricas.
2020	Hu <i>et al.</i>	Técnicas de <i>Data Science</i>	A combinação de redes convolucionais e variantes de clusterização pode resultar na identificação de zonas de vazamentos.
2020	Li <i>et al.</i>	Processamento de sinais	Métodos eficazes de classificação de ruídos podem resultar numa melhor acurácia na identificação de vazamentos.
2021	Vrachamis <i>et al.</i>	Técnicas de campo	A instalação de sensores deve seguir uma metodologia rigorosa direcionada à localização do melhor ponto de operação.
2021	Li <i>et al.</i>	Processamento de Sinais	A utilização da reflectometria pode indicar quais os tubos que estão prestes a colapsar, resultando numa manutenção preditiva.

Fonte: o autor (2022)

De maneira a obter máximo proveito dos métodos mencionados, pode-se relacioná-los às avaliações de índice de maturidade de processos nas concessionárias de recursos hídricos. Um dos métodos de avaliação de maturidade que pode ser utilizado é o *Capability Maturity Model Integration (CMMI)*.

## 2.6 Considerações sobre o CMMI

A metodologia *CMMI* considera todo o ciclo de vida de um produto ou serviço; desde sua concepção até sua entrega e manutenção. Para que se pudesse dar a devida atenção ao ciclo de vida do produto este modelo faz uso de um conjunto de práticas agrupadas em áreas e organizadas por níveis de maturidade (MORGADO *et al.*, 2007).

Assim, de acordo com Hollenbach *et al.* (2007), é possível entender que a metodologia *CMMI* é um arcabouço conceitual para compreensão, estruturação e validação de capacidade e maturidade de processos dentro de uma empresa, sendo muito mais abrangente que uma lista de boas práticas ou um conjunto de estatísticas e *benchmarks*. A adoção desta metodologia possibilita que uma empresa faça uma profunda avaliação de suas práticas organizacionais, considerando elementos intrínsecos e extrínsecos. Este procedimento apresenta como resultado um mapa que define os caminhos para a melhoria de processos.

Considerando o contexto histórico da concepção do Modelo Integrado de Maturidade e Capacitação (*CMMI*) verifica-se que esta metodologia estava orientada, inicialmente, para empresas de desenvolvimento e manutenção de softwares (NEEB-BRUCKNER, 2009).

Considerando seu âmago, é possível inferir que este modelo de gestão tem por finalidade desenvolver um padrão único para a melhoria de processos corporativos. Para tal, classifica as boas práticas que as organizações utilizam para aprimorar seus processos. Esta metodologia visa compreender como a integração entre as práticas produz um arcabouço para provisionar uma prestação de serviços com qualidade superior e para que este objetivo seja alcançado deve-se considerar a análise de maior quantidade possível de elementos dentro de um processo (*CMMI-SVC*, 2010).

A aplicação desta metodologia mostra-se viável se forem considerados os atuais paradigmas de operação das empresas. Cada vez mais as empresas tornam visível sua dependência da tecnologia para a produção de bens e prestação de serviços e, da mesma maneira, é vital que os processos estejam muito bem descritos e sejam padronizados, para que se atinja a eficiência nestes processos (POURIKAS; FITSILIS, 2010).

Para Dziemian e Schoppert (2011) a compreensão integral do modelo *CMMI* é essencial para a empresa antes mesmo que ela inicie seu plano de negócios e defina como o cliente será abordado. Esta compreensão deve ser profunda a ponto de permitir que a metodologia seja aplicada a diferentes contextos. Considerando a integração entre os processos, o *CMMI* apresenta-se como um modelo que permite o ajuste fino entre a prestação de serviços e tecnologias de ponta. Quando as abordagens sobre os processos consideram o equilíbrio entre necessidades dos clientes e visão da empresa o resultado é benéfico a estes dois *stakeholders*.

Então, ao considerar os argumentos apresentados por Dziemian e Schoppert (2011), é possível compreender que o *CMMI* é uma ferramenta de gestão que permite às empresas melhorar significativamente suas performances e fazer com que seus planos de negócio obtenham, paulatinamente, um melhor desempenho; outra vantagem da utilização deste método é a possibilidade da elaboração de um mapa de decisões para resolver problemas.

Este modelo parte de uma estrutura completamente integrada das melhores práticas adotadas pela empresa. Consequentemente esta estrutura se transforma numa ferramenta para superação de metas e que tem potencial para explicar uma notável rentabilidade e competitividade elevada (DZIEMIAN; SCHOPPERT, 2011).

Ao estudar as proposições de Proença e Borbinha (2016) é possível compreender que a aplicação de modelos de maturidade em processos permite tornar os procedimentos da empresa mais claros, significativos e adaptativos. Quanto mais presente e aplicada for a flexibilidade, mais se avançará no sentido da excelência empresarial. Modelos que são baseados em maturidade de processos são dependentes diretos, em todas as suas etapas, da flexibilidade, pois sua utilização facilita o mapeamento das trilhas para que seja atingida a competitividade e os riscos e incertezas, dentro do plano de negócios, sejam gerenciados com maior eficácia.

Quando uma empresa tem arraigada em sua cultura a utilização da flexibilidade, ela é capaz de formular planos estratégicos para sobrevivência e crescimento. Assim sendo, se o conceito da flexibilidade já está incorporado às diretrizes estratégicas, a empresa pode trabalhar gerenciando de maneira harmoniosa a mudança e a continuidade; produzindo subsídios para que pessoas sejam inspiradas a utilizar capacidades que antes estavam latentes e resultam numa racionalização de processos. Desta forma, a maturidade de processos é enriquecida. (SUSHIL; BHAL; SINGH, 2016).

Para Botula (2017) o *CMMI* não define como aplicar técnicas específicas, mas visa esclarecer o que as empresas precisam fazer, sem apresentar receitas prontas, para obter sucesso. Ele serve para apresentar meios para que a empresa se flexibilize e analise seu desenvolvimento e contexto organizacional de forma que possa encontrar caminhos particulares e adaptados para implementar cada prática à sua realidade.

Ainda de acordo com Botula (2017) este modelo não é prescritivo, ou seja, não é uma receita pronta, acabada e genérica. Ele faz um *intermezzo* entre recursos disponíveis (tangíveis e/ou intangíveis) visando otimizar sua aplicação e apresentando uma intensa flexibilidade para atingir os objetivos da empresa, representando uma estrutura de melhoria contínua.

Para Kosieradzka (2017) a utilização de modelos de maturidade permite analisar as necessidades das organizações confrontando-as com o progresso alcançado por elas. Quanto mais maturidade existir, mais capacitados serão os processos de negócio e, conseqüentemente, melhor será o desempenho da empresa. A adoção destes modelos apresenta também a característica de sistematizar áreas e procedimentos de forma a produzir um conjunto coeso de critérios para avaliar estes procedimentos e engendrar um rol de orientações para que a organização evolua.

Outrossim, para Botula (2017), este não é um modelo de gestão que visa substituir outras técnicas, seu objetivo é de construir um *framework* integrativo que permita mensurar e classificar práticas que devem permanecer sendo utilizadas e quais as práticas que não são, efetivamente, úteis. Este procedimento se relaciona à compreensão e interpretação de três pilares da gestão operacional, que utilizando processos de maturidade e flexibilização, permitem que os objetivos de uma organização sejam aprimorados constantemente. Assim sendo, a compreensão holística das características dos processos possibilita o desenvolvimento de planos de ação mais proativos e eficazes.

O *CMMI* é uma metodologia que considera todo o ciclo de vida de um produto ou serviço e utiliza práticas organizadas por níveis de maturidade. Ele permite avaliar e melhorar os processos organizacionais, proporcionando um mapa para a melhoria contínua. Sua aplicação é viável no contexto empresarial atual, que depende da tecnologia e requer processos bem definidos. A aplicação da metodologia ajuda a melhorar o desempenho e a rentabilidade dos negócios, oferecendo flexibilidade para se adaptar às necessidades de cada organização. Ele também sistematiza áreas e

procedimentos, resultando em planos de ação eficazes e uma gestão operacional mais eficiente.

Desta maneira, é apresentada a Figura 3, que ilustra os três pilares da gestão operacional.

**Figura 3 – Pilares da gestão operacional**



**Fonte: O autor (2022)**

Analisando os argumentos apresentados por Patón-Romero *et al.* (2019) pode-se ponderar que ferramentas, procedimentos e pessoas são os três elementos de maior importância para a consolidação das boas práticas operacionais que são propostas pelo modelo *CMMI*. Por ferramentas pode-se compreender todo o aparato técnico utilizado como insumo para se produzir resultados; procedimentos são todos os métodos descritos e utilizados para que o plano de negócios da empresa seja executado e consolidado e as pessoas são o patrimônio intangível mais importante e responsável pelo sucesso ou fracasso de uma organização ou empresa.

De maneira análoga o estudo realizado por Volynets (2020) possibilita compreender que as empresas encaram, com muita frequência, incertezas e turbulências e dependem de modelos disruptivos para transpor estas condições, desta forma percebe-se que é imprescindível flexibilizar a análise do cotidiano. Por flexibilidade pode-se entender a capacidade de reagir ou mudar de atitude num curto espaço de tempo, sem ter um esforço colossal ou, tampouco, comprometer custos ou performance operacional.

Assim sendo, é possível assumir que as prerrogativas apresentadas por Marmier *et al.* (2021) podem ser incorporadas ao *cast* de soluções que podem fazer parte de um modelo de maturidade. Para os autores supracitados as mudanças nos postos de trabalho (decorrentes da competitividade entre empresas) fazem com que, cada vez mais, sejam buscados colaboradores com habilidades orientadas à ciência de dados e demais ferramentas de tecnologia da informação.

Por esta razão Marmier *et al.* (2021) assumiram que um dos mecanismos que pode explicitar um determinado nível de maturidade relaciona-se à capacidade de instruir colaboradores para que estes adquiram as competências necessárias para fazer um melhor aproveitamento de dados e ferramentas, visando processos de tomada de decisão mais eficientes e eficazes.

A evolução na compreensão e otimização dos processos depende, diretamente, de avaliações para aferir em que nível de maturidade uma determinada organização se encontra. A utilização de avaliação de maturidade elucida como os processos dentro de uma organização ocorrem e auxilia a identificar pontos onde existem oportunidades latentes de melhoria. É possível inferir que a adoção desta ferramenta auxilia na busca pela melhoria contínua e, indiretamente, na redução de falhas.

Atualmente mostra-se a importância da flexibilidade e capacidade de adaptação das empresas diante das incertezas e turbulências do ambiente de negócios. Por este motivo, a avaliação de maturidade é uma ferramenta fundamental para compreender e otimizar os processos internos, identificando oportunidades de melhoria e contribuindo para a busca contínua pela excelência e redução de falhas.

#### 2.6.1 Níveis de maturidade no modelo *CMMI*

O modelo *CMMI* foi concebido em cinco níveis de maturidade e cada nível atingido representa avanço na gestão de processos. Por nível de maturidade pode-se compreender um estágio evolutivo orientado à eficiência operacional. Cada nível de maturidade proporciona subsídios para que o nível imediatamente posterior seja alcançado (QUINTELLA; ROCHA, 2006).

Para Lee *et al.* (2008) a implementação do *CMMI* proporciona uma oportunidade de conhecer ou até mesmo eliminar gargalos e barreiras dentro das organizações. Refletindo sobre esta oportunidade é possível inferir que a existência

de níveis de maturidade desempenha um papel importante no processo de compreensão de procedimentos e resultados.

Por este motivo o Quadro 5 é apresentado e tem por finalidade explicar, de modo sucinto, como cada um destes níveis é organizado e quais são suas metas.

**Quadro 5 – Níveis de maturidade CMMI**

<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
1 - Inicial	No nível inicial, comumente, os processos são desordenados e não existe um controle sobre a ocorrência dos fenômenos. O sucesso de um processo depende quase exclusivamente de esforços individuais e a maior parte das intervenções é realizada de maneira reativa.
2 - Gerenciado	O nível gerenciado apresenta controle e planejamento sobre os processos e cada um dos fenômenos é descrito e sua influência é detalhada. Entretanto, a maior parte das intervenções ainda é realizada de modo reativo. Existe uma classificação, rudimentar, de processos que é realizada a partir do monitoramento periódico de performance.
3 - Definido	No nível definido os fenômenos estão bem delimitados e categorizados dentro de um processo gerenciado. Os propósitos, entradas, ações, papéis, avaliações, etapas de auditoria e saídas são claramente definidas. Desta forma, todas as ações são proativas.
4 - Quantitativamente Gerenciado	O nível quantitativamente gerenciado se baseia em processos totalmente controlados onde existem métodos claros de controle, avaliação e auditoria. Os objetivos são planejados para que se atinja a qualidade e performance ideal do processo (atributos que são compreendidos e mensurados através de estatística), baseando-se na gestão eficaz de processos.
5 - Otimizado	Nível Otimizado: o comportamento do processo está focado na melhoria constante e visa inserir inovações e tecnologias que permitam o incremento constante de qualidade e performance possibilitando que objetivos mais arrojados possam ser alcançados.

**Fonte: adaptado de Pourikas e Fitsilis (2010)**

Entretanto, Allué *et al.* (2013) advertem que a adoção do CMMI não é uma tarefa fácil, principalmente em razão de que, algumas vezes, as empresas não dispõem de recursos para a implementação. Uma alternativa viável, de acordo com os autores do estudo, está relacionada à aquisição de ferramentas de software que facilitam os processos de avaliação e, por consequência, reduzem os custos e tempo de implementação. Para atender a esta finalidade a ferramenta deve, minimamente, orientar e coletar dados em duas dimensões de operação da organização.

Ainda de acordo com Allué *et al.* (2013) no nível organizacional a ferramenta deve apresentar um guia do CMMI, uma metodologia de implementação, um framework para processos organizacionais e métodos de avaliação dos níveis de maturidade. Na dimensão dos projetos a aplicação deve atender o gerenciamento de projetos, os processos correlatos a elaboração de projetos, o gerenciamento de documentação e as estratégias de *Business Intelligence*.



De modo correlato, Pane e Sarno (2015) relatam que para que seja possível auferir resultados positivos da implementação do *CMMI* é necessário direcionar quais recursos serão utilizados enquanto os processos ocorrem e também realizar avaliações sistemáticas para aferir o nível de implementação do modelo de capacidade e maturidade integrado. Estas avaliações auxiliam, também, na avaliação da qualidade do serviço prestado ou produto fornecido.

No Quadro 6 são apresentadas as características da avaliação dos estágios de implementação dos níveis de maturidade previstos pela metodologia *CMMI*.

**Quadro 6 – Escala de implementação do *CMMI***

<b>Estágio</b>	<b>Características</b>	<b>%</b>
Completamente Implementado	Existem artefatos diretos que são julgados apropriados. Existe, ao menos, um artefato direto e/ou afirmação para confirmar o nível de implementação. Não existem indícios de fraquezas substanciais.	76 - 100
Amplamente Implementado	Uma ou mais fraquezas são conhecidas e documentadas. Ao menos um artefato direto e/ou afirmação existem para confirmar o nível de implementação. Existe ao menos um artefato direto que é julgado apropriado.	51 - 75
Parcialmente Implementado	Artefatos diretos estão ausentes ou são considerados inadequados. Artefatos/afirmações sugerem que somente alguns aspectos das práticas foram implementados. Fraqueza de documentação (normativos) impacta nos objetivos.	26 - 50
Não Implementado	Condições não cobertas nos estágios anteriores	0 - 25

**Fonte: adaptado de Pane e Sarno (2015)**

Visando fortalecer o método de avaliação de processos, análise de cenários e tomada de decisão podem ser utilizados procedimentos pertencentes à ciência dos dados. Assim, as sessões vindouras enfatizam a utilidade desta metodologia.

## **2.7 Procedimentos de mineração de dados**

Concordando com Haider (2015) esta fase deve partir da definição de um objetivo claro para que os dados selecionados possam responder às questões que compõem o objeto de estudo. A definição deste objetivo serve para levantar os benefícios e a acurácia que resultaram da análise de dados.

A coleta de dados em *data science* é o processo de obtenção e armazenamento de informações relevantes e estruturadas, provenientes de diferentes fontes, como bancos de dados, arquivos, sensores, redes sociais, entre outros. Esses dados são coletados com o objetivo de análise e extração de conhecimento,

possibilitando a tomada de decisões fundamentadas e a geração de insights valiosos para a resolução de problemas e aprimoramento de processos. A coleta de dados é uma etapa crucial no ciclo de vida do *data science*, fornecendo a matéria-prima necessária para as demais etapas, como limpeza, transformação, análise e modelagem dos dados.

### 2.7.1 Etapa de coleta de dados

De acordo com Lock *et al.* (2017) a Estatística é o campo da ciência responsável pela coleta, descrição e interpretação dos dados.

Nesse contexto, torna-se de vital importância realizar a categorização das variáveis que compõem a massa de dados do estudo. Essas variáveis se apresentam em duas classes: categóricas (também chamadas qualitativas) ou quantitativas (também chamadas métricas).

As variáveis categóricas são definidas como aquelas onde estão expressas as qualidades de algo e as quantitativas expressam a amplitude. O Quadro 7 tem por função mostrar, de maneira simplificada, a diferença entre estes dois tipos de variáveis:

**Quadro 7 – Tipos de variáveis e suas características**

<b>Tipo de variável</b>	<b>Característica</b>
Categórica	Divide as observações em grupos baseados em características descritivas e não mensuráveis. Ex: setores de distribuição por área de reservação.
Quantitativa	Registra um valor numérico para cada observação. Ex: volume medido em um distrito de medição.

**Fonte: O autor (2022)**

Para a coleta nesse estudo, as variáveis relativas ao volume medido em macromedidores são de natureza quantitativa. Isto posto, pode-se considerar que a importância dessas variáveis, majoritariamente, dá-se pelo relacionamento a um contexto. Mesmo que sejam consideradas diversas formas para a realização da coleta de dados é preciso agir de maneira sistematizada e rigorosa, pois a conclusão possível depende da maneira como a obtenção de dados foi realizada (MOORE *et al.*, 2017).

### 2.7.2 Etapa de pré-processamento de dados

Para Haider (2015) é comum que os dados brutos coletados estejam desorganizados, contenham erros ou diversas informações irrelevantes (*missing values*). Esta fase visa encontrar potenciais dados irrelevantes e/ou errôneos para identificá-los. Os dados precisam ser submetidos a avaliação para conferir sua utilidade e integridade. Decorrente disto é possível identificar duas categorias de *missing values*: randômicos e sistemáticos.

Os valores ausentes randômicos podem ser tratados com procedimentos simples (como aplicação de medidas estatísticas de posição) e os valores ausentes sistemáticos carecem de análise para verificar sua origem e se impactam no processo de resultado dos dados.

### 2.7.3 Etapa de análise de dados

Com base nas arguições de Bekman e Costa Neto (2009) é possível inferir que a tomada de decisão baseada em dados deve respeitar, no mínimo, três condicionantes, pois tratar-se-á de um procedimento estatístico de análise: o recorte temporal relativo à massa de dados; a explicitação dos objetivos e percurso para consideração dos resultados e a inferência probabilística acerca da dinâmica do fenômeno estudado.

Assim sendo, é importante considerar que o procedimento de análise de dados deverá basear-se na análise quantitativa. Para Render *et al.* (2010) a análise quantitativa é uma abordagem científica que se apresenta como uma importante ferramenta para apoio à tomada de decisão gerencial. A transformação dos dados brutos (*raw data*) em informações significativas é o centro dessa modalidade de análise. Os passos elementares para a execução do método de abordagem de dados por análise quantitativa são: definição do problema, construção do modelo, obtenção dos dados de entrada, definição de uma solução, testagem da solução, verificação dos resultados e implementação dos resultados (RENDER *et al.* 2010).

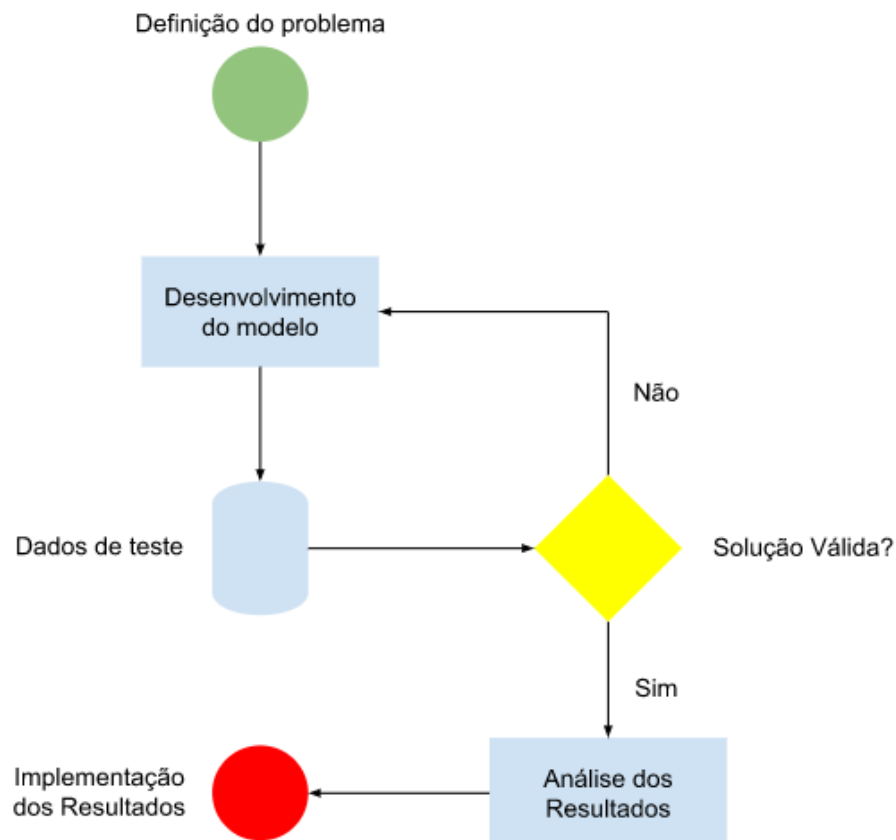
Um fator que deve ser considerado nesta fase é a confiabilidade das variáveis preditoras. A condição de uma variável apresentar-se confiável ou não depende, na grande maioria dos casos, de suas granularidades. Esta situação mostra-se uma das principais causas do baixo desempenho de modelos (RENDER *et al.* 2010).

A definição do problema baseia-se na identificação das reais causas de sua ocorrência e pode ter relações com outros problemas; neste caso é imprescindível verificar se a solução de um problema afeta aos demais (correlacionados) ou a condição geral do sistema (RENDER *et al.* 2010).

O desenvolvimento do modelo consiste na elaboração de uma representação da situação analisada. Na maior parte dos casos este procedimento faz uso de equações e inequações associadas aos conceitos estatísticos. A coleta de dados deve visar a obtenção de dados de alta confiabilidade, sendo este um dos elementos chaves para o sucesso da análise quantitativa. A elaboração de uma solução depende da análise dos resultados da interação entre o modelo e os dados coletados. A etapa de teste da solução é um procedimento que visa aferir a acurácia do modelo e caso os dados de entrada apresentem baixo nível de confiabilidade a solução poderá se mostrar ineficiente (RENDER *et al.* 2010).

A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo de análise quantitativa:

**Figura 4 – Fluxograma da análise quantitativa**



Fonte: Adaptado de Render *et al.* (2010)

Na análise quantitativa da aplicação de *Data Science* na gestão de recursos hídricos, alguns parâmetros relevantes podem ser considerados. Aqui estão alguns exemplos:

- **Vazão:** A quantidade de água que flui em uma determinada fonte ou corpo de água ao longo do tempo. A análise da vazão pode ajudar a identificar padrões sazonais, tendências e variações significativas que podem afetar a gestão dos recursos hídricos.
- **Padrões de consumo:** O estudo dos padrões de consumo de água por parte dos usuários, levando em consideração fatores como sazonalidade, segmentação geográfica e categorias de uso. A análise dos padrões de consumo pode auxiliar na identificação de demandas excessivas, desperdícios e possíveis medidas de conservação.

Por fim, a exploração dos resultados determina um procedimento de verificação nas implicações da solução e, em grande parte dos casos, na análise das mudanças a serem adotadas (RENDER *et al.* 2010).

#### 2.7.4 Etapa de construção de modelo

De acordo com Brockman (2010) faz parte da profissão do engenheiro ser consultado a respeito do futuro, especialmente quando estas inferências estão relacionadas às condições infraestruturais de um determinado local. Por esta razão, a modelagem é uma situação que faz parte do cotidiano destes profissionais.

Construir modelos matemáticos, de acordo com Campos *et al.* (2011), consiste em transformar fenômenos do cotidiano em equações e inequações, resolver estes cálculos e trazer seus resultados novamente ao mundo real.

O fenômeno investigado ocorre como resposta ao comportamento de uma ou mais variáveis preditoras. A variável dependente representa a ocorrência ou não-ocorrência do evento 'vazamento', ou seja, trata-se de uma variável com comportamento dicotômico. A distribuição dos eventos segue os padrões da distribuição de Bernoulli, justamente porque os resultados são somente "1" Ocorrência do fenômeno ou "0" Não-Ocorrência do fenômeno. Este tipo de modelo baseia-se na estimação por máxima verossimilhança (FAVERO; BELFIORE, 2017).

Dessa maneira, dentro do campo de *supervised machine learning* assumiu-se a utilização de um modelo linear generalizado (GLM) do tipo modelo de regressão de

logística binária onde a variável dependente é do tipo dummy de duas categorias e se expressa pela equação I (FAVERO; BELFIORE, 2017):

$$Z_i = \alpha + \beta_1.X_{1i} + \beta_2.X_{2i} + \dots + \beta_k.X_{ki} \quad (I)$$

Onde: Z é conhecido como o logaritmo natural da chance de ocorrência do evento (ou logito),  $\alpha$  representa a constante ou intercepto (valor onde a linha ajustada cruza o eixo das ordenadas),  $\beta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) são os parâmetros estimados de cada variável explicativa,  $X_j$  são as variáveis explicativas (métricas ou dummies) e o subscrito i representa o índice de cada observação da amostra (FAVERO; BELFIORE, 2017).

Nesta equação "Z" não representa a variável dependente (Y) mas será uma tentativa de exprimir a probabilidade ( $p_i$ ) de ocorrência do fenômeno em cada uma das observações. A definição do modelo mais acertado é sempre realizada por meio da análise das características da variável dependente (FAVERO; BELFIORE, 2017).

Uma boa prática que tem finalidade de reduzir a probabilidade de erros de interpretação do modelo é realizar um esboço do *dataset*. Esse esboço pode ser reduzido a uma tabela onde as colunas representam variáveis e as linhas representam as observações (FAVERO; BELFIORE, 2017). O Quadro 8 traz um esboço da estrutura do *dataset* para a investigação.

**Quadro 8 – Exemplo de *dataset***

Observações	$Y_i$ <i>Dummy</i>	$X_{1i}$	$X_{2i}$
Hora	Vazamento	Vazão (l/s)	Pressão (mca)
00:00	0	100	30
01:00	0	105	32
...	...	...	...
23:00	1	110	33

**Fonte: O autor (2022)**

A concepção acertada de um modelo pode resultar numa investigação mais bem elaborada. Esta condição se dá porque ao analisar um conjunto de variáveis dependentes torna-se possível identificar aquelas que são mais fortemente explicadas pelas variáveis preditoras e quais destas preditoras tem maior significância estatística para elucidar o comportamento das variáveis dependentes (FAVERO; BELFIORE, 2017).

Para Cauchick-Miguel *et al.* (2018) um problema, enquanto expressão de um estado caótico, é algo que nos inquieta. Partindo desta inquietação o pesquisador precisa explicar o caos, apresentar sua estrutura de forma clara e objetiva e tentar propor soluções para retornar ao estado de estabilidade e ordem. É este o contexto em que a modelagem se insere.

O modelo se apresenta como um constructo cognitivo da condição de ordem, ou seja, representa a condição ideal que se deseja manter. O entendimento do problema de pesquisa depende do conhecimento do estado ideal, ou seja, interfere diretamente no modelo. Um bom modelo é aquele onde o pesquisador tem a possibilidade de manipulá-lo com relativa facilidade e assim propor soluções para os elementos problematizados (CAUCHICK-MIGUEL *et al.* 2018).

A questão de ouro para a elaboração de um modelo é a facilidade com ele permite ao cientista realizar as mais variadas simulações (baseada na alteração das variáveis preditoras) com a finalidade de proporcionar um refinamento à condição de compreensão do estado ordenado. Mesmo quando um modelo falha ele ainda apresenta validade, pois permitirá que seus erros sejam mitigados para a criação de um novo modelo que opere na direção de solucionar a situação problematizada. O papel de julgar a validade dos modelos não é do pesquisador e sim dos dados coletados (CAUCHICK-MIGUEL *et al.* 2018).

#### 2.7.5 Etapa de verificação do modelo

Para Brockman (2010) a verificação e validação/ invalidação de um modelo é uma etapa onde o engenheiro analisa se o modelo foi capaz de inferir com relativa precisão o comportamento do fenômeno estudado. Esta contestação ocorre por meio do embate entre os dados observacionais (empíricos) e dados resultantes da aplicação do modelo.

Esse modelo é, de maneira resumida, um algoritmo cuja entrada de instruções se dá por meio do processamento das variáveis preditoras e a saída é expressa pelo comportamento esperado para fenômeno investigado. A utilização de modelos empíricos possibilita que os dados de campo sejam a base do modelo e sua aplicação sirva à tentativa de inferência (visando a maior acurácia possível) sobre os próximos estágios de comportamento do fenômeno (BROCKMAN, 2010).

Desta forma espera-se que a resultante de aplicação do modelo seja a possibilidade de inferência acertada do fenômeno, ou seja, que o imbricamento entre a matemática e a realidade seja claramente expressa por meio da modelagem. Portanto, a verificação dos resultados da aplicação do modelo serve, em última instância, à intenção de práxis desta investigação, pois coloca em estado dinâmico as teorias que foram averiguadas no decorrer do processo (CAMPOS *et al.*, 2011).

Em alguns casos pode-se verificar a ocorrência de heterocedasticidade. Este fenômeno pode ser compreendido como a forte correlação entre as características das variáveis preditoras e os termos de erro presentes no modelo, ou seja, o modelo apresenta respostas ineficientes que comprometem sua confiabilidade. O povoamento de termos de erros pode se dar por dificuldades na especificação das condicionantes funcionais do modelo ou em razão da omissão de uma variável preditora importante. Por fim, reitera-se que para a validação de um modelo mostra-se vital testar o desempenho das variáveis preditoras (FAVERO; BELFIORE, 2017).

## 2.8 Roadmap para avaliação das perdas

Uma solução gerencial acertada para trabalhar junto ao *roadmap* pode ser a definição do MVP (*minimum viable product*). Aghnia e Larso (2018) definem o MVP como o conjunto de estratégias utilizadas para a criação de um novo produto, serviço ou método com os mínimos recursos necessários para atingir os resultados esperados. Um MVP funcional deve, também, possuir as estruturas necessárias para que seja possível aferir sua eficiência e eficácia.

De acordo com Lei *et al.* (2020) um *roadmap* inclui uma diversidade de oportunidades de pesquisa e apresenta instruções valiosas para que outros pesquisadores possam desenvolver trabalhos futuros.

Assim, Srivastava *et al.* (2021) descrevem que um *roadmap* possível para situações de utilização de *machine learning* pode possuir as seguintes fases: identificação do problema, obtenção de dados suficientes para o treinamento do modelo, pré-processamento de dados, aplicação de outros recursos de engenharia conforme necessidade, otimização e teste do modelo.

Por fim, de acordo com Gokalp *et al.* (2022), a proposição de um *roadmap* direcionado à avaliação de maturidade tem como função principal a melhoria e padronização de procedimentos. A adoção desta abordagem demonstra que o



gerenciamento de processos está comprometido com a organização, com o planejamento estratégico, com a análise de dados, com a governança de dados e com a gestão da tecnologia.

A utilização de *machine learning* é importante por diversos motivos. Primeiramente, porque permite a análise de grandes volumes de dados de forma eficiente e automatizada, possibilitando a descoberta de padrões e *insights* valiosos para a tomada de decisões. Além disso, o uso de algoritmos de *machine learning* pode melhorar a precisão e a eficácia na solução de problemas complexos, permitindo a criação de modelos preditivos e sistemas inteligentes.

As boas práticas em programação são essenciais para garantir a qualidade, a eficiência e a manutenibilidade do *software* que utiliza *machine learning*. Programação bem estruturada, modularidade, uso de padrões de projeto e testes adequados são algumas das práticas que ajudam a criar sistemas robustos e de fácil manutenção. A aplicação dessas boas práticas também contribui para reduzir erros e facilitar o trabalho em equipe, promovendo a colaboração e o desenvolvimento de soluções de alta qualidade.

A análise de maturidade de processos é crucial para o sucesso e a melhoria contínua de uma organização. Avaliar a maturidade dos processos significa analisar o quão bem definidos, padronizados, controlados e otimizados eles estão. Uma análise de maturidade identifica oportunidades de melhoria, permite a identificação de gargalos, a redução de riscos e o aumento da eficiência operacional. Além disso, a análise de maturidade fornece uma visão clara do estado atual dos processos e orienta o planejamento estratégico, a tomada de decisões e a alocação de recursos.

Em resumo, a utilização de *machine learning* oferece a capacidade de análise e predição avançadas, enquanto as boas práticas em programação garantem a qualidade e a manutenibilidade do *software*. Já a análise de maturidade de processos promove a melhoria e a padronização, impulsionando a eficiência e a governança organizacional. Combinar esses elementos é fundamental para aproveitar ao máximo o potencial do *machine learning* e garantir o sucesso na implementação de soluções inovadoras.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção do estudo são apresentados os procedimentos sistemáticos realizados para que os elementos previstos nos objetivos possam ser atendidos e replicados. Baseando-se na premissa apresentada por Descartes o objetivo desta seção não é trazer um dogma para enquadrar a razão individual de cada pesquisador, mas apresentar a forma como o este estudo foi conduzido e reflete a plasticidade do autor.

Outra consideração pertinente, pautada no pensamento Kantiano, é que a expressão do método científico depende de uma combinação entre conduta e saber, ou seja, é produto de teoria e práxis, mas não é um processo focado somente em meios para provar prescrições, abrangência e estabilidade e sim inquietar outros para que prossigam no desenvolvimento do tema.

Assim, algumas das contribuições desta seção também se aproximam da dialética marxista ao assumir que a racionalização de um estudo deve, também, promover estranhamento aos portadores de doutrinas dogmáticas que servem somente a concentração de recursos, pois ao mesmo tempo que a forma científica encerra algumas questões ela também carrega a semente da negação e da necessidade de desconstrução destes dogmas para provar a condição transitória do conhecimento e da natureza (MARX, 1968).

A utilização da metodologia científica na engenharia de produção desempenha um papel fundamental para o avanço e aprimoramento dessa área. Através de um enfoque baseado em evidências e experimentação controlada a metodologia científica proporciona uma estrutura sólida para a investigação e solução de problemas complexos na indústria.

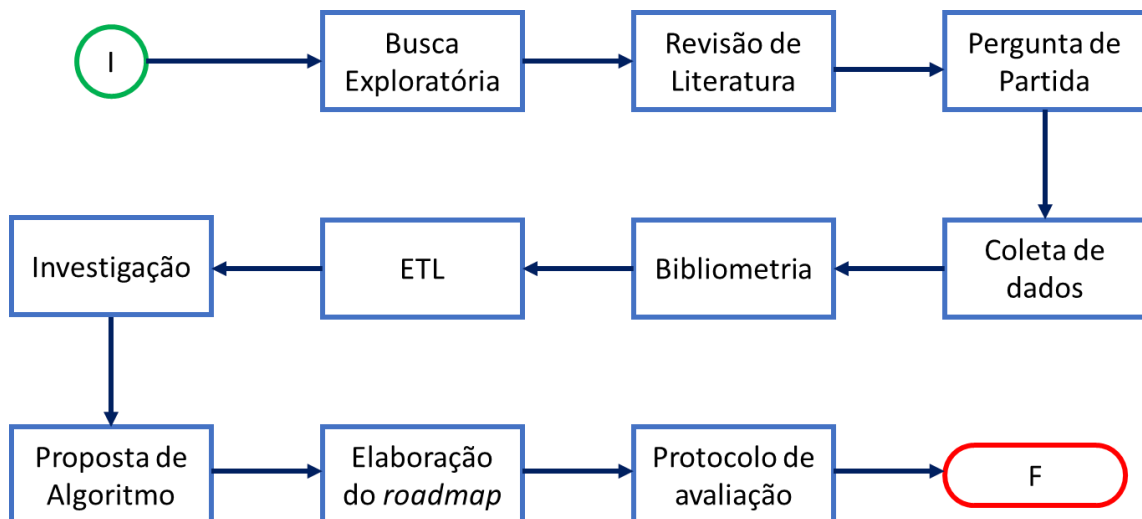
Primeiramente, a aplicação da metodologia científica na engenharia de produção permite que os profissionais dessa área obtenham resultados confiáveis e replicáveis. Ao seguir um método científico rigoroso é possível planejar e executar experimentos de forma organizada, coletando dados precisos e consistentes. Essa abordagem sistemática auxilia na identificação de causas-raiz de problemas e no desenvolvimento de soluções eficientes e eficazes. Além disso, a utilização de métodos científicos na engenharia de produção possibilita uma compreensão mais aprofundada dos processos industriais, permitindo a implementação de melhorias contínuas e a otimização dos recursos disponíveis.

Outro aspecto importante da metodologia científica aplicada à engenharia de produção é a promoção da inovação e do desenvolvimento tecnológico. Através da investigação científica os engenheiros de produção têm a oportunidade de explorar novas abordagens, materiais e tecnologias, buscando soluções criativas e disruptivas para os desafios da indústria. Ao adotar uma mentalidade científica, a engenharia de produção se beneficia da interdisciplinaridade, da colaboração com outras áreas do conhecimento e do aproveitamento das descobertas científicas para impulsionar o progresso e a competitividade no setor industrial.

Por fim, a utilização da metodologia científica na engenharia de produção contribui para a tomada de decisões embasadas em dados e informações concretas. Ao adotar uma abordagem sistemática, baseada em análise crítica e revisão de literatura científica, é possível embasar as escolhas em evidências robustas. Isso reduz a incerteza e o risco de erros, aumentando a eficiência e a eficácia dos processos de produção. Além disso, a metodologia científica promove a transparência e a reprodutibilidade, permitindo que outras pessoas avaliem e validem os resultados obtidos, fortalecendo a credibilidade da engenharia de produção como campo de estudo e prática.

A presente pesquisa foi executada de acordo com o fluxograma apresentado na figura 5:

**Figura 5 – Fluxograma da metodologia aplicada neste estudo**



Fonte: o Autor (2023)

### 3.1 Metodologia científica aplicada ao estudo

A combinação entre o referencial teórico e a realidade do campo tem em seu âmago o interesse de atender às práxis da engenharia de produção. A práxis pode ser entendida como a ciência em movimento, ou seja, a apropriação dos elementos teóricos orientados à aplicação ao cotidiano dos indivíduos (HABERMAS, 1987).

Assim, a teoria é produtora e produto da realidade. Nossa sociedade, industrialmente avançada, vive num sistema onde a investigação, a técnica, a produção e a administração se encontram profundamente relacionadas.

Isto posto, verifica-se que o desenvolvimento dos aspectos que foram supramencionados é característica intrínseca da especificação do conhecimento.

Para Rorty (1994), o conhecimento pode ser entendido como a tentativa de representação sistematizada e acurada de tudo o que é externo à nossa mente. Este movimento de produção de conhecimento é, portanto, uma iniciativa de compreender a estrutura racional que a mente faz uso para construir todo o sistema semiótico onde as representações estão inseridas e sendo produzidas.

Concordando com a análise de Demo (1995), é possível afirmar que este trabalho de pesquisa respeita e reitera os critérios internos e externos da ciência. Por critério interno pode se assumir que a coerência (representada aqui pelo desenvolvimento progressivo e sistematizado dos enunciados), a consistência (defesa coesa da proposta do estudo e de sua relação com a atual conjectura ambiental), a originalidade (pautada na produção não tautológica e visando o desenvolvimento de um estudo criativo e inovador) e a objetivação (que representa a possibilidade de aprofundar, mas nunca encerrar, o conhecimento acerca do objeto estudado).

Por fim, o critério externo diz respeito à intersubjetividade e está relacionado a concordância com o *zeitgeist* da comunidade científica. Por esta razão, a interpretação da realidade, que é também papel do cientista, faz com que a produção científica seja resultante do ato de observar.

De acordo com Maturana (2001), este ato é inerente ao ser humano e é a condição que nos faz criar descrições, sistematizações e indagações no transcorrer de nossas vidas. Esta característica independe do domínio sobre o objeto observado. Entretanto, é possível inferir que a apropriação de métodos e técnicas é a condição responsável por diferenciar os cientistas dos demais observadores.

Desta maneira, concorda-se, também, com a discussão apresentada por Morin (2005), pois tem o intuito de trazer progresso a este campo de estudo. Por progresso científico é possível compreender um processo de natureza cumulativa e linear que concorda com os campos qualitativos e quantitativos da pesquisa. Os procedimentos metodológicos adotados em um trabalho de pesquisa estão, também, relacionados à possibilidade de responder às incertezas e, de certa feita, colocar nuances de compreensão sobre a dinâmica caótica da realidade vivida.

Partindo desta prerrogativa, compreende-se que o papel contemporâneo da pesquisa científica transpassou seus limites originais e hoje deve atender às questões de justiça social. A produção do conhecimento deve servir como alternativa para a construção de um outro caminho que confronte as construções excludentes do capitalismo (SANTOS, 2007).

Então, de acordo com Plutynski (2008), uma teoria científica bem-sucedida deve: sugerir novas maneiras de compreensão do mundo, aninhar conhecimentos de áreas de conhecimento distintas e ser testável. A condição de ser testável não significa que ela possa ser aceita ou reprovada instantaneamente, mas que se possam confrontar seus resultados com as teorias concorrentes.

Portanto, para propor uma asserção cientificamente válida todos os procedimentos devem ser racionais e sistemáticos. Dentro deste rol de procedimentos é de grande importância mostrar como este estudo pode ser caracterizado.

### **3.2 Caracterização da pesquisa**

O método de abordagem utilizado foi o hipotético-dedutivo. Este método, de acordo com a epistemologia popperiana, traz mais confiabilidade à produção científica visto que refuta a lógica indutiva. A lógica indutiva conduz a resultados particulares como resposta de observações e/ou experimentos, já o método hipotético-dedutivo submete a hipótese, representada pelo objetivo geral, à testes (falseabilidade) que tem como objetivo verificar o quanto esta nova teoria é capaz de responder com clareza ao problema dado na hipótese (POPPER, 1972).

Com base nesta argumentação verifica-se que o êxito de uma pesquisa depende do método adotado e a adoção do método pressupõem a existência e relacionamento de várias competências diferentes.

É impossível exigir que o responsável pelo projeto domine todas as técnicas. Sua função será de sistematizar o conjunto e coordenar sua execução com a máxima eficácia e coerência, incorrendo sobre a função de fazer da investigação um processo eficiente.

Para que uma boa investigação seja executada é preciso conhecer a natureza do fenômeno estudado e, para Bachelard (1984), não existem fenômenos que ocorram de forma totalmente estocástica; eles se delineiam por meio de condicionamentos instrumentais e teóricos.

Considerando esta prerrogativa é possível inferir que ao se deparar com um grande número de ocorrências, o pesquisador se dá conta que o processo de análise e produção da interpretação é dependente da ação do observador e que, por meio da aplicação da técnica, passa a ser criador.

Desta forma, o conhecimento científico faz-se baseado na inteligibilidade dos fenômenos, ou seja, para a produção de conhecimento deve-se partir de um processo intelectual no qual o observador busca tornar inteligível os fenômenos do mundo que o cerca.

Assim, a forma como o mundo se organiza, a função do observador, o processo de interação entre as partes e a estrutura racionalizada do conhecimento promovem um constructo tão coeso que se torna difícil de reconhecer o papel de cada uma das partes. Portanto, esta relação tão imbricada faz com que a produção científica se torne um resultado justificado pela racionalidade (BOMBASSARO, 1992).

Partindo deste fundamento, conclui-se que o trabalho de pesquisa visa elucidar a uma indagação encontrada no mundo real. Assim sendo, o estudo de caso, enquanto sistematizador de uma investigação empírica de um fenômeno hodierno, busca compreender e, quiçá, responder ao porquê e ao como tal fenômeno se reproduz (YIN, 2001; GOODE; HATT, 1972).

Considerando o prisma dos procedimentos adotados nesta pesquisa pode-se classificá-la como exploratória, uma vez que buscou estudos já validados para, partindo de condições generalizadas, culminar com a compreensão de um ponto específico (LAKATOS; MARCONI, 2001).

De acordo com Silva e Menezes (2001) a função da pesquisa aplicada é de apresentar a solução de um problema e esta solução deve estar atrelada a um rol de procedimentos pautados na sistematicidade e racionalidade. Desta maneira, esta

pesquisa é classificada como aplicada, pois tem como objetivo elaborar um aparato que seja capaz de resolver um problema.

Assim sendo e concordando Quivy e Campenhoudt (2005) a função de um trabalho de investigação deve ter seu desenvolvimento pautado na reflexão lúcida e no uso de recursos teóricos alinhados aos dispositivos metodológicos. Uma boa investigação só pode ser efetuada quando se denota a devida importância ao objeto de estudo e se é dado aos recursos teóricos o valor que lhes é devido, a saber, o valor de ferramenta.

Quando o investigador propõe um instrumento que relaciona dois conceitos ou fenômenos, ele está apresentando uma hipótese. Por hipótese compreende-se uma explicação provisória que deverá ser confrontada com dados observacionais para testar sua validade. A fase de observação consiste, basicamente, em responder a três perguntas: o que é observado? Quem está observando? De que modo se observa? É nessa etapa que o investigador realiza alguns procedimentos onde confronta dados do “mundo real” com o modelo de análise adotado em seu trabalho.

A etapa de análise de informações é a etapa onde se criam as ferramentas necessárias capazes de realizar os comparativos entre os resultados observados e aqueles que eram esperados com base nas hipóteses (QUIVY; CAMPENHOUDT, 2005).

Na etapa de conclusão apresenta-se a versão final da resposta à pergunta de partida, um resumo das principais características do modelo de análise e das hipóteses, uma apresentação sucinta do campo de observação e dos métodos utilizados em sua observação e uma comparação entre os resultados esperados e os observados, assim como uma argumentação sobre suas diferenças (QUIVY; CAMPENHOUDT, 2005).

O estudo aborda o problema de pesquisa de forma qualitativa e quantitativa, seguindo a classificação proposta por Gil (2008). A abordagem qualitativa busca produzir conhecimento especializado e eficaz para compreender e oferecer respostas válidas à pergunta inicial. Por outro lado, a abordagem quantitativa envolve procedimentos específicos para analisar os dados coletados em uma situação real de operação de uma concessionária de recursos hídricos.

A pesquisa possui objetivos exploratórios e descritivos. A abordagem exploratória busca trazer esclarecimentos sobre o tema e entender a organização do fenômeno estudado. A coleta de dados qualifica a pesquisa como descritiva, pois tem

o objetivo de descrever o fenômeno com base na correlação entre as variáveis investigadas (TURRIONI; MELLO, 2012). Ou seja, a característica descritiva apresenta a existência de correlação entre as variáveis e a resultante deste processo.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos a investigação estrutura-se como estudo de caso uma vez que busca realizar uma análise pormenorizada de um processo e possibilitar que a interpretação do fenômeno estudado traga subsídios para a elucidação concisa de seus fatos (GIL, 2008).

Considerando todas estas prerrogativas é importante resumir as variáveis que compõem a abordagem adotada para a realização deste estudo. Partindo desta afirmação o Quadro 9 resume a classificação dessa pesquisa:

**Quadro 9 – Classificação da pesquisa**

<b>Eixo</b>	<b>Característica</b>
Natureza	Aplicada
Abordagem	Combinada (quanti-qualitativa)
Objetivos	Exploratória e Descritiva
Coleta de Dados	Descritiva
Procedimentos Técnicos	Estudo de caso

**Fonte: Dados de pesquisa (2022)**

### 3.3 Apresentação das fases da pesquisa

Com o interesse de apresentar uma elucidação acerca do trajeto percorrido para a construção desse trabalho de pesquisa, o quadro 10 traz o resumo de todo o processo engendrado em cada uma das etapas.

**Quadro 10 – Fases de execução do estudo**

<b>Fase</b>	<b>Atividades</b>	<b>Ferramentas utilizadas</b>	<b>OBJETIVOS ATENDIDOS</b>
1 <sup>a</sup>	Busca exploratória; Revisão de literatura; Definição da pergunta de partida.	Consulta de Bases de Conhecimento.	OE1 - Levantar métodos utilizados no controle de perdas;
2 <sup>a</sup>	Pesquisa em campo em uma empresa de gestão de recursos hídricos.	Coleta de dados.	OE2 - Sugerir algoritmo para análise da diferença de vazão;
3 <sup>a</sup>	Bibliometria, Extração, Tratamento e Carregamento dos Dados (ETL), Investigação de processos.	SQLite, PowerBI, Bizagi.	OE3 - Propor procedimentos para avaliação do nível de maturidade;
4 <sup>a</sup>	Construção de algoritmo	Jupyter NB	OE4 - Elaborar protocolo de análise do fenômeno de perdas.
5 <sup>a</sup>	Algoritmo e formulação do BPMN	Bizagi	

**Fonte: o autor (2022)**



Tendo por intuito nortear o encaminhamento desse estudo é importante, também, apresentar a correlação entre os objetivos e as hipóteses que sustentam o processo de investigação científica. Por meio do Quadro 11 são apresentados estes elementos:

**Quadro 11 – Correlação entre Objetivos e hipóteses**

Objetivo	Descrição	Hipótese
Geral	Propor um <i>roadmap</i> para subsidiar a tomada de decisão, focando na redução de perdas, no processo de gerenciamento das redes de distribuição de água tratada.	H0: O combate rápido ao evento "vazamento" resulta em redução do IPL.
Específicos	Levantar métodos utilizados no controle de perdas;	H1: A ocorrência de vazamentos pode ser prevista.
	Sugerir algoritmo para análise da diferença de vazão;	H2: O algoritmo é capaz de diferenciar desvios de vazão.
	Propor procedimentos para avaliação do nível de maturidade do processo de gerenciamento de perdas;	H3: A adoção de avaliações para verificar nível de maturidade de processos resulta em melhora no gerenciamento de processos.
	Elaborar um protocolo de análise para o fenômeno de perdas.	H4: O período de vazão mínima noturna é fundamental para análise de vazamentos.

**Fonte: o autor (2022)**

As atividades desse trabalho de pesquisa foram realizadas em quatro etapas. Cada etapa compreendeu uma quantidade de atividades realizadas por meio da utilização de ferramentas específicas e visando atender aos objetivos específicos. As subseções posteriores têm por finalidade apresentar de modo pormenorizado cada uma das etapas.

### 3.4 Etapa de revisão bibliográfica

Esse trabalho de pesquisa está inserido, concomitantemente, nos campos qualitativo e quantitativo. Buscou seu arcabouço teórico em publicações nacionais e internacionais organizando-as de forma a responder aos questionamentos oriundos da atividade de campo.

O arcabouço consultado tem relação direta com a gestão em concessionárias de recursos hídricos e as formas que elas tratam o fenômeno das perdas, porquanto parte de um estudo sobre os eixos que norteiam as tratativas para gerenciamento deste indicador em empresas deste campo e tem como finalidade elaborar um modelo

para orientar a tomada de decisão com relação a otimização das perdas de água tratada.

A fase de elaboração do arcabouço teórico teve como seu ponto de partida a criação de uma base de dados composta por referenciais sobre o tema “gerenciamento de redes de distribuição de água tratada e o controle de vazamentos”.

A criação desta base tem como uma de suas principais finalidades a elaboração do recorte axiológico, ou seja, apresentar qual o papel dos referenciais teóricos para a compreensão das diversas variáveis que estão contidas no objeto de estudo e fazer com que elas transmutem da categoria de variável observada para a categoria de objeto do discurso (ALVES FILHO, 2011).

A primeira etapa instrumentalizada foi de pesquisa bibliográfica exploratória. Esta fase contemplou a busca e verificação generalizada de referenciais teóricos que tratam das temáticas análogas ao gerenciamento de recursos hídricos, sustentabilidade, ferramentas de apoio à tomada de decisão e vazamentos de água. A reflexão sobre os resultados desta etapa direcionou para o gap de pesquisa.

Este *gap* evidenciou a importância de engendrar um modelo que correlacione os eixos temáticos supracitados e possibilitou a definição da pergunta norteadora: Como agilizar a localização de vazamentos em redes de distribuição de água tratada, em cidades de grande porte, de forma a mitigar as perdas?

Almejando a execução de uma investigação abrangente e consistente, a próxima etapa baseou-se na definição de palavras-chave intrinsecamente relacionadas ao *core* da pesquisa.

A terceira etapa foi da busca de elementos para a criação da base de dados referenciais, executada por meio do banco de teses e dissertações do Portal de Periódicos da CAPES, consulta à base de dados do SNIS e livros clássicos dentro da temática investigada. Foram também consultadas as bases de dados referenciados EBSCO, IEEE, Scopus e Web of Science. O procedimento adotado para a elaboração do *portfólio* de pesquisa foi a metodologia *Methodi Ordinatio*. Esta metodologia envolve um processo sistemático e estruturado de revisão da literatura que visa organizar e classificar os conhecimentos existentes em uma determinada área de pesquisa. A *Methodi Ordinatio* é uma ferramenta útil para os pesquisadores que desejam realizar uma revisão abrangente e estruturada da literatura, pois fornece uma base sólida para o desenvolvimento de novas pesquisas e o avanço do conhecimento na área. Esse método busca identificar e analisar as principais contribuições

acadêmicas relevantes sobre um tema específico, fornecendo uma visão geral das diferentes abordagens, teorias e conceitos existentes.

Após a estruturação da base de conhecimentos sobre o tema, iniciou-se a fase de leitura e resumo dos documentos. Estes documentos passaram a ser organizados de forma a estruturar a seção de referencial teórico com o intuito de permear e solidificar todo o desenvolvimento posterior do estudo.

Este trabalho de pesquisa envolveu uma abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando referências teóricas nacionais e internacionais para responder a questões relacionadas à gestão de perdas em concessionárias de recursos hídricos.

O objetivo era criar um modelo para orientar a tomada de decisão na otimização das perdas de água tratada. A pesquisa bibliográfica exploratória foi realizada para encontrar referências sobre gerenciamento de recursos hídricos, sustentabilidade, ferramentas de apoio à tomada de decisão e vazamentos de água.

Com base nos resultados dessa etapa, foi identificada a necessidade de desenvolver um modelo que correlacionasse esses temas. A busca por elementos para a criação da base de dados referenciais foi feita em diferentes fontes, como teses, dissertações e bases de dados acadêmicas. Em seguida, os documentos foram lidos e resumidos para estruturar a seção teórica do estudo e embasar seu desenvolvimento posterior.

### **3.5 Procedimentos de coleta, extração e carregamento**

A coleta de dados foi realizada a partir da mineração de dados em tabelas de controle. Estas tabelas são estruturadas a partir de dados coletados de um sistema supervisor.

Os dados *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*) referem-se a informações coletadas e monitoradas por meio de sensores e dispositivos de controle distribuídos ao longo da infraestrutura de distribuição de água, sendo dados essenciais para monitorar e controlar o abastecimento de água.

O processo *ETL* (*Extract, Transform, Load*) é fundamental na integração e preparação de dados para análise. Ele consiste em três fases distintas, cada uma desempenhando um papel importante na transformação dos dados brutos em um formato adequado para uso posterior. Essas fases são as seguintes:

- Extração (*Extract*):

Nesta fase os dados são obtidos a partir de diversas fontes. O objetivo é coletar os dados necessários para a análise, levando em consideração a qualidade, a integridade e a consistência dos dados extraídos. A extração pode envolver a definição de consultas, filtros e seleções específicas para garantir a relevância e a precisão dos dados obtidos.

- Transformação (*Transform*):

Após a extração, os dados passam pela fase de transformação. Nessa etapa, os dados brutos são limpos, padronizados, enriquecidos e organizados de acordo com as necessidades do projeto. Isso pode incluir a remoção de dados duplicados, a correção de erros, a normalização de formatos, a agregação de informações e a criação de novas variáveis derivadas. A transformação visa garantir a consistência dos dados e prepará-los para a carga em um ambiente de destino.

- Carga (*Load*):

A fase de carga envolve a inserção dos dados transformados em um destino final, como um *data warehouse*, um banco de dados analítico ou um sistema de BI (*Business Intelligence*). Nessa etapa, os dados são estruturados e armazenados de forma otimizada para consultas e análises posteriores. A carga pode ser realizada em lotes (*batch*) ou de forma contínua (em tempo real), dependendo dos requisitos do projeto e da disponibilidade dos dados.

A importância do processo *ETL* reside na sua capacidade de fornecer dados de confiáveis e de qualidade para análise e tomada de decisões. Ele permite a integração de dados de diferentes fontes, eliminando inconsistências e garantindo a uniformidade das informações.

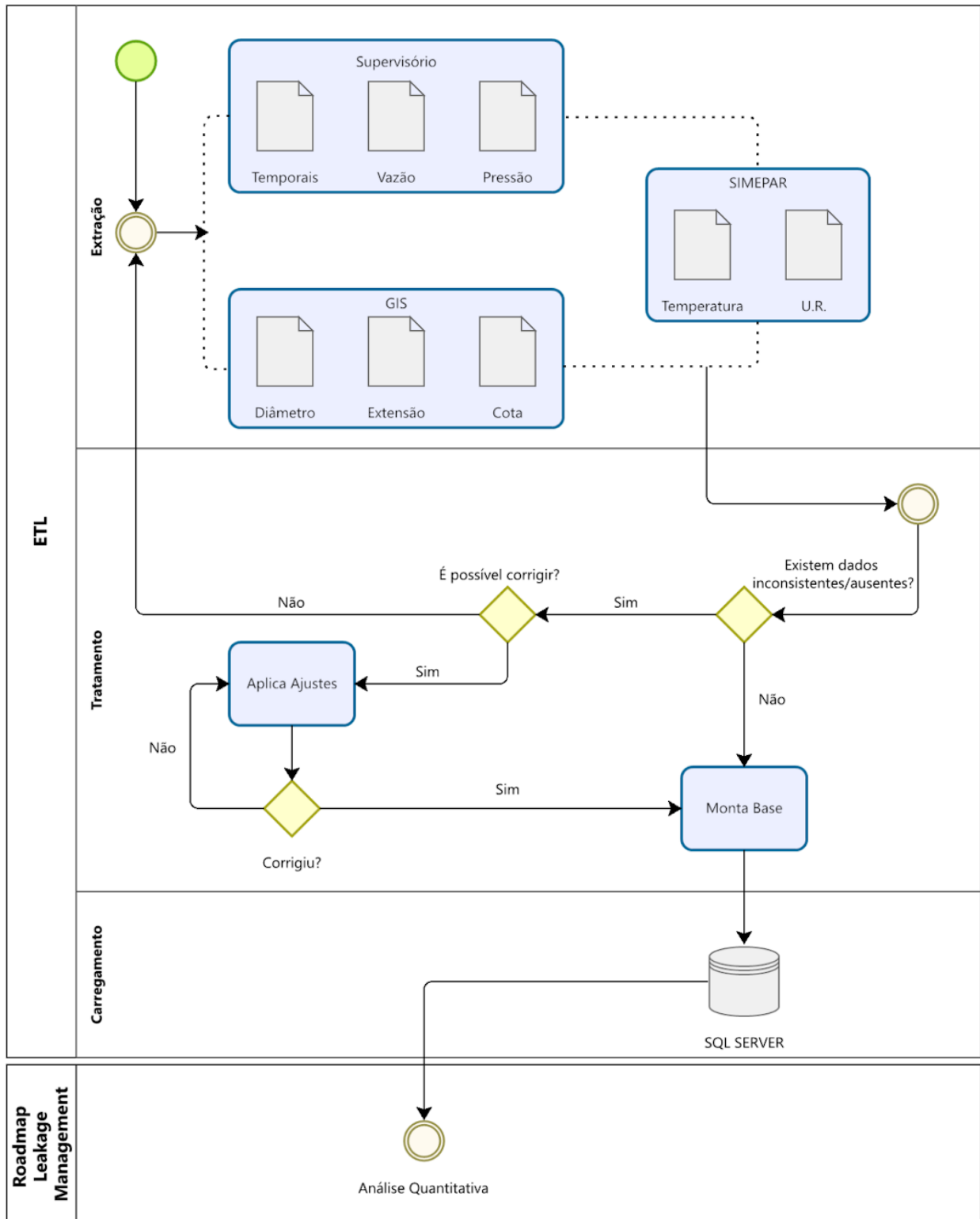
Além disso, o processo *ETL* facilita a transformação dos dados em um formato adequado para análises posteriores, tornando-os mais acessíveis e compreensíveis para os usuários finais. A correta execução do *ETL* contribui para a precisão das análises, a detecção de padrões e tendências, bem como a geração de insights relevantes para o negócio.

Em resumo, o processo *ETL* apoia a tomada de decisão fornecendo dados consistentes, integrados, transformados e de fácil acesso. Ele estabelece uma base confiável para análises e *insights* valiosos, permitindo que as organizações tomem decisões mais informadas, embasadas em dados confiáveis e relevantes.

O *ETL* desempenha um papel essencial na garantia da qualidade dos dados e na preparação adequada para suportar o processo de tomada de decisão em diversos contextos empresariais.

A Figura 6 elucida como o procedimento *ETL* foi idealizado para servir como base a análise quantitativa presente no *roadmap*.

Figura 6 – Processo ETL



Fonte: o autor (2022)

### 3.6 Proposta de modelo

A elaboração do modelo deve considerar a maior quantidade possível de variáveis que interferem no comportamento das redes de distribuição de água tratada. A coleta de dados para o caso analisado partiu dos dados armazenados por um sistema supervisorio.

A proposição é de criação de um modelo linear generalizado (*GLM*) onde a variável dependente é do tipo *dummy*. Este modelo é, de maneira resumida, um algoritmo cuja entrada de instruções se dá por meio do processamento das variáveis preditoras e a saída é expressa pelo comportamento esperado para fenômeno investigado.

De acordo com o que foi verificado nos artigos consultados acerca da elaboração de modelos preditivos é possível inferir que a elaboração de um modelo preciso é um processo contínuo e árduo, pois nem sempre as variáveis preditoras selecionadas são realmente as mais objetivas devido a aderência que elas apresentam à variável dependente.

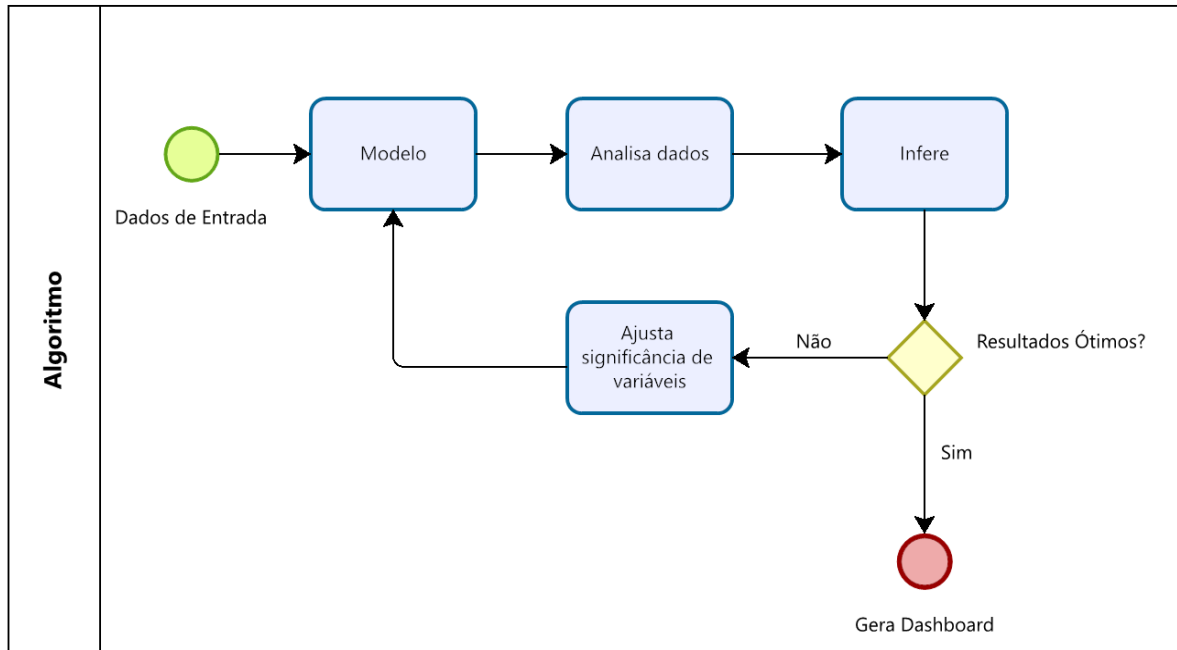
Em condições ideais as variáveis a serem consideradas seriam: coeficientes de resistência a deformações para cada tipo de tubulação utilizada, tempo de instalação das tubulações, vida útil para cada tipo de tubulação, pressão de trabalho, cota, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, condições de armazenamento dos tubos antes de sua instalação, tipo de solo, profundidade da instalação, mensuração do tráfego em nível diário, resistência mecânica do pavimento sobre a tubulação, níveis de consumo por categoria e especificidade por classes dentro das categorias, tempo em regime transitório em situações de retomada de abastecimento, limiar de resistência ao stress resultante de golpe de aríete, entre outras...

Desta maneira é possível compreender que quanto maior a quantidade de variáveis preditoras disponíveis para análise, melhor treinado e, conseqüentemente, mais acurado será o modelo.

Porém, antes de qualquer procedimento de avaliação do modelo é necessário conferir em que categoria se encontram as variáveis. Ao definir que a variável “y” (dependente) é do tipo *dummy* e as demais variáveis são quantitativas (discretas e contínuas), é imprescindível aferir se a variável “y” é vista pelo modelo como qualitativa, pois a negativa dessa condição produzirá viés nos resultados que o modelo apresentará. Ou seja, o modelo deverá ser capaz de compreender que a variável dependente expressará a condição de ocorrência ou de não-ocorrência do

fenômeno. A Figura 7 tem por objetivo elucidar, de maneira simplificada, a forma como um algoritmo de *machine learning* opera.

Figura 7 – Funcionamento do algoritmo de *machine learning*



Fonte: o autor (2022)

Os resultados esperados da aplicação do modelo serão apresentados em termo da probabilidade de ocorrência do fenômeno. A estimativa dessa probabilidade pode ser expressa através da equação II que estimará se o fenômeno estará em uma ou noutra categoria (ocorrência ou não-ocorrência):

$$p_i = \frac{1}{1+e^{Z_i}} = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_1 X_{1i}+\beta_2 X_{2i}+\dots+\beta_k X_{ki})}} \quad (\text{II})$$

(FAVERO; BELFIORE, 2017)

Para estimar os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  pode-se adotar a técnica conhecida como estimação por máxima verossimilhança. Essa técnica realiza a maximização da estimativa dos parâmetros de forma que o *log likelihood* resultará no ajuste entre o comportamento da variável dependente e o comportamento dos valores previstos a partir dos valores obtidos no *dataset*.

Ou seja, a máxima verossimilhança tem por intuito adensar a probabilidade de acerto entre a real ocorrência do fenômeno e sua previsão a partir da estimação dos parâmetros e levando em consideração determinada função densidade de probabilidade da “y”. A aplicação do *log likelihood* será uma modalidade de



diagnóstico para definir o padrão de comportamento da variável dependente, analisar os parâmetros e verificar se o modelo está aderente àquele comportamento, ou seja, esse procedimento mostra a qualidade de ajuste do modelo. O *log likelihood* é calculado por meio da equação III (FAVERO; BELFIORE, 2017):

$$LL = \sum_{i=1}^n \left\{ [(Y_i) * \ln \left( \frac{1}{1+e^{-z_i}} \right)] + (1 - Y_i) * \ln \left( \frac{1}{1+e^{z_i}} \right)] \right\} = \text{valor máximo} \quad (\text{III})$$

Para cada uma das observações obtém-se a estimativa de ocorrência dos parâmetros e o seu somatório representa a verossimilhança. A intenção deste procedimento é obter uma combinação de valores que permita que esse somatório atinja o máximo valor possível de verossimilhança.

Após a estimativa de  $\alpha$  e  $\beta$  por máxima verossimilhança, será reescrita a equação II para se obter a probabilidade de ocorrência de vazamentos, de forma que, obviamente, a probabilidade estará restrita ao intervalo 0 p 1.

O ajuste do modelo é realizado por meio do teste qui-quadrado, pois este teste avalia a relação entre categorias de variáveis qualitativas. O teste qui-quadrado realiza o seguinte procedimento, demonstrado na equação IV (FAVERO; BELFIORE, 2017):

$$\chi^2 = -2 (LL_0 - LL_{\text{modelo}}) \quad (\text{IV})$$

Onde  $LL_0$  representa o *log likelihood* desconsiderando os parâmetros  $\beta$  e  $LL_{\text{modelo}}$  representa o resultado do *log likelihood* do modelo. Este teste verifica se a variação dos  $\beta$  resulta num incremento do qui-quadrado, ou seja, confirma se esses  $\beta$  são estatisticamente significativos para corroborar a aplicação do modelo. O pressuposto elementar deste tipo de teste é verificar a existência de possíveis discrepâncias entre as frequências registradas e estimadas para o evento.

Outro procedimento importante é realizar o cálculo de probabilidades para cada uma das observações presentes no *dataset*. Este procedimento criará uma nova variável, nomeada  $prob_{\text{indiv}}$  (de acordo com a boa prática de nomeação de variáveis, chamada de nomenclatura mnemônica), e esta variável irá expressar a probabilidade de ocorrência de vazamento em cada um dos períodos observados. A probabilidade individual se expressa através da equação V:

$$Prob_{\text{indiv}} = \frac{1}{1+e^{-[-\alpha_i+(\beta_{1_i}*X_{1_i})+(\beta_{2_i}*X_{2_i})]}} \quad (\text{V})$$

Com a finalidade de realizar comparações entre a variável *dummy* e a  $prob_{indiv}$  é preciso definir um ponto de corte (*cutoff*). O *cutoff* é um limite arbitrado para definir se uma  $prob_{indiv}$  será considerada ocorrência ou não-ocorrência do evento (0 ou 1). O *cutoff* assemelha-se a uma função “se” e varia de 0,0000 até 0,99999. Se *cutoff*  $\geq$  0,50000: então: “1”; se não: “0”.

A partir da definição de um *cutoff* para a variável  $prob_{indiv}$  o próximo passo é elaborar a matriz de confusão. Esta matriz tabula a quantificação de valores ocorrência e não-ocorrência para os valores previstos e para os valores observados.

A Tabela 2 exemplifica como seria a matriz de confusão para 100 valores observados.

**Tabela 2 – Simulação de eventos**

		Previsão	
		Vazamento	Não-Vazamento
Observado	Vazamento	30	12
	Não-Vazamento	20	38

**Fonte: O autor (2022)**

A matriz de confusão pode ser interpretada como uma tabela verdade onde tem-se quatro condições:

- Verdadeiro Positivo (Vp): é a quantidade de elementos que foram previstos e observados como ocorrência (vazamento). Para o caso simulado, 30 elementos se encontram nesta condição.
- Verdadeiro Negativo (Vn): é a quantidade de elementos que foram previstos e observados como não-ocorrência (não-vazamento). Total de 38 elementos.
- Falso Positivo (Fp): é a quantidade de elementos que foram previstos como vazamento, mas foram observados como não-vazamento. Total de 20 elementos.
- Falso negativo (Fn): É a quantidade de elementos que foram previstos como não-vazamentos, mas que eram vazamentos. Total de 12 elementos.

Os verdadeiros positivos são os casos em que o sistema acerta ao identificar corretamente a presença de uma condição ou evento.

Os verdadeiros negativos representam os casos em que o sistema corretamente identifica a ausência de uma condição ou evento.

Os falsos positivos, por sua vez, ocorrem quando o sistema erroneamente identifica uma condição ou evento que não está presente.

Os falsos negativos representam casos em que o sistema falha em identificar corretamente uma condição ou evento que deveria ser detectado.

A correta mensuração dessas métricas permite avaliar o desempenho do sistema em termos de sensibilidade (capacidade de identificar corretamente casos positivos) e especificidade (capacidade de identificar corretamente casos negativos). Essas informações são essenciais para ajustar e aprimorar os sistemas, visando reduzir erros de diagnóstico, aumentar a confiabilidade e minimizar as consequências negativas tanto para os usuários quanto para as organizações envolvidas.

Na sequência do processo é possível calcular o percentual de acurácia do modelo para o *cutoff* definido. A acurácia é obtida através da equação VI:

$$acurácia = \frac{V_p + V_n}{n_{amostra}} \quad (VI)$$

Para o caso supracitado tem-se a equação VI.I:

$$acurácia = \frac{30+68}{100} = 68\% \quad (VI.I)$$

Faz-se importante, também, obter a sensibilidade e a especificidade do modelo. A sensibilidade diz respeito ao percentual de acertos somente dentro das ocorrências, ou seja, a aplicação da equação VII:

$$sensibilidade = \frac{V_p}{V_p + F_p} = \frac{30}{30+20} = 60\% \quad (VII)$$

Já a especificidade corresponde ao percentual de acertos sobre as não-ocorrências, ou seja, a aplicação da equação VIII:

$$especificidade = \frac{V_p}{V_p + F_n} = \frac{30}{30+12} = 71\% \quad (VIII)$$

Para obter a qualidade geral do modelo, recorreu-se à técnica denominada  $F_{1Score}$ . Este índice é obtido após a aplicação da equação IX:

$$F_{1Score} = \frac{2 * sensibilidade * especificidade}{sensibilidade + especificidade} = \frac{0,857143}{1,3143} = 65\% \quad (IX)$$

Ao realizar a comparação entre o indicador de acurácia e o indicador  $F_{1Score}$  nota-se que ambos possuem uma probabilidade de acerto razoável.

Por fim, a aplicação de todos estes procedimentos mostrará se o modelo poderá ser considerado válido ou não para auxiliar na tomada de decisão sobre vazamentos. Considerando a política de dados de manutenção da concessionária estudada nota-se que não existem tratativas apropriadas para a coleta, tratamento e carregamento dos dados.

### **3.7 Elaboração de *roadmap***

O gerenciamento das perdas é um processo que está diretamente relacionado aos custos de operação das concessionárias de saneamento ambiental, pois a produção de água depende de diversos insumos dentre os quais é possível citar: energia elétrica, produtos químicos e recursos humanos. Desta forma, a redução de perdas mostra-se diretamente proporcional à redução destes custos.

A redução de perdas por meio do gerenciamento eficaz de vazamentos tem o potencial de gerar economias significativas no longo prazo. Ao minimizar as perdas de água, as empresas podem reduzir seus custos de produção e operação, melhorando sua eficiência econômica. Os recursos financeiros economizados podem ser direcionados para outras áreas, como melhorias na infraestrutura de distribuição, investimentos em tecnologias mais eficientes e sustentáveis, ou até mesmo para a redução das tarifas de água para os consumidores.

Ao reduzir as perdas de água, as empresas estão contribuindo para a conservação desse recurso valioso, evitando desperdícios e promovendo o uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis.

Todo modelo começa a partir da escolha do fenômeno a ser modelado. Para o caso desta investigação o que será modelado é a existência de vazamentos em redes de distribuição de água tratada.

Espera-se que este modelo seja capaz de compreender as mudanças de estado do sistema (cada estado é o resultado da expressão das características que podem ser medidas). Para que esta finalidade seja alcançada existe, também, um processo e um percurso.

Por processo é possível entender qualquer uma ocorrência ou a soma das ocorrências que alteram o comportamento de um sistema, o percurso trata da existência de várias condições intermediárias desde o estado inicial, passando pelo estado transitório e, em alguns casos, culminando com o estado final do sistema.

Para fins deste estudo considera-se como condição inicial a não-ocorrência de vazamentos e o estado final representado pela existência deles. Nesta investigação o paradigma adotado foi o empírico observacional em razão da dificuldade de prever o comportamento de tubulações com base em equações e inequações.

Para atender a finalidade desta investigação foi necessário considerar que o *MVP (Minimum Viable Product)* é o *roadmap* e que este tem por finalidade padronizar o processo organizar os procedimentos de coleta, tratamento e carregamento dos dados, sistematizar os procedimentos para avaliação dos níveis de maturidade e servir como suporte à tomada de decisão para a redução de perdas na distribuição.

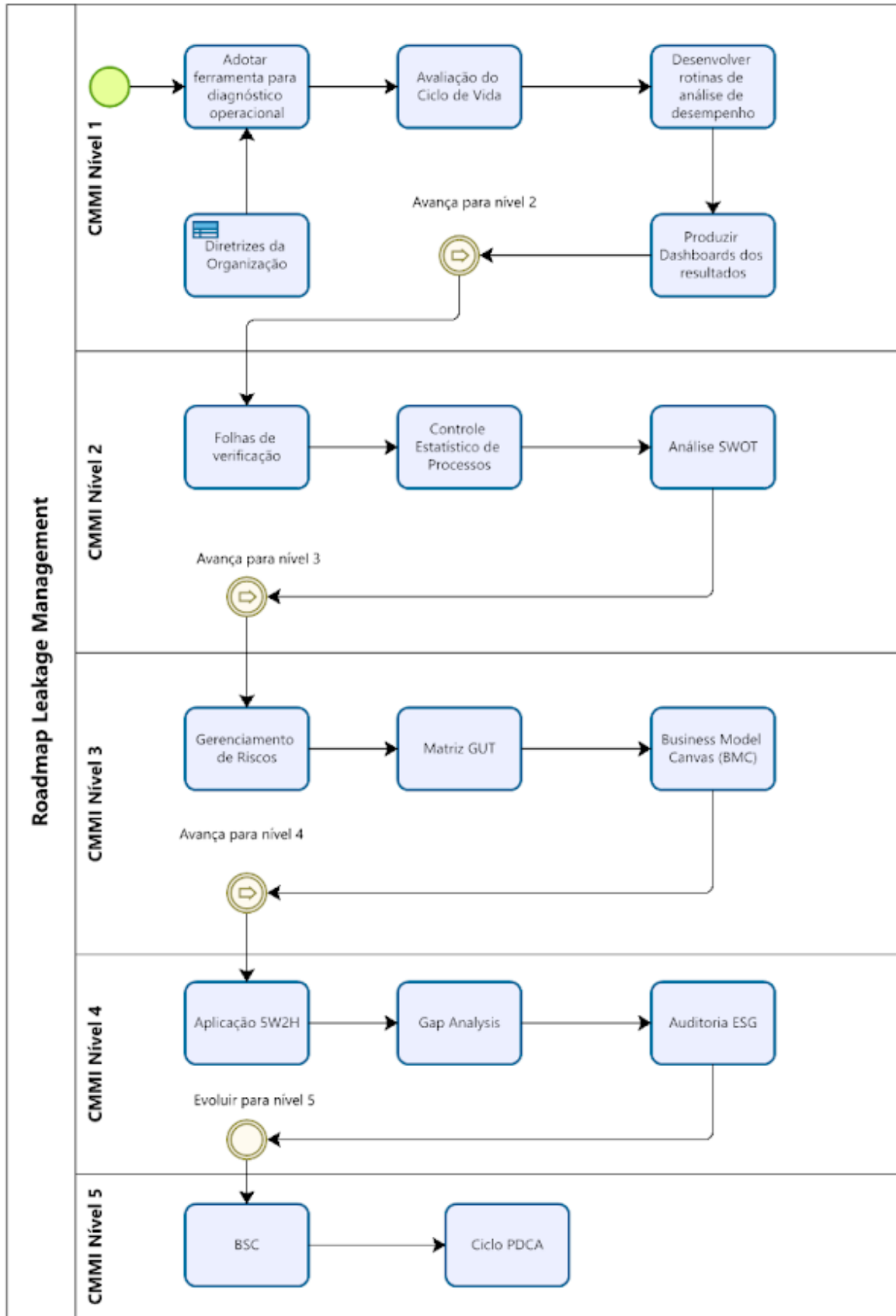
Por estas razões o *roadmap* apresenta-se como uma opção para adensar a correlação entre o gerenciamento das perdas e os demais processos em uma concessionária.

O *roadmap*, se considerado como ferramenta de apoio ao planejamento estratégico de uma organização, tem por finalidade responder a, pelo menos, três indagações: onde a empresa se encontra, quais suas metas e que procedimentos adotará para atingir seus objetivos.

O gerenciamento das perdas é crucial para as concessionárias de saneamento ambiental, pois está diretamente relacionado aos custos de operação, incluindo energia elétrica, produtos químicos e recursos humanos. Neste estudo, o foco é modelar a existência de vazamentos em redes de distribuição de água tratada. O objetivo é criar um modelo capaz de compreender as mudanças de estado do sistema, desde a condição inicial sem vazamentos até o estado final com vazamentos. O paradigma adotado é o empírico observacional, devido à dificuldade de prever o comportamento das tubulações com base em equações. O *Minimum Viable Product (MVP)* é utilizado como *roadmap* para padronizar o processo, coletar, tratar e carregar os dados, avaliar os níveis de maturidade e fornece suporte à tomada de decisão para a redução de perdas na distribuição. O *roadmap* serve como uma ferramenta de planejamento estratégico que responde às questões de localização atual da empresa, metas e procedimentos para atingir seus objetivos.

Na Figura 8 busca-se apresentar o fluxograma proposto para operacionalizar essa investigação e resumir a sequência de passos adotados para a avaliação e implantação dos níveis de maturidade previstos no modelo *CMMI* aplicado ao controle de vazamentos.

Figura 8 – Proposta de roadmap para avaliação de maturidade



Fonte: O autor (2022)

### 3.8 Proposta de protocolo para avaliação *CMMI*

Neste trabalho optou-se pela proposição de um protocolo de avaliação baseado na aplicação de ferramentas da qualidade para investigação e otimização dos níveis de maturidade no processo estudado. Com base nisto as avaliações serão realizadas de acordo com o esquema descrito nos tópicos listados:

- **Nível 1:** Para realizar o diagnóstico do nível foi selecionada a metodologia denominada MDADP (Metodologia de Diagnóstico e Análise de Desempenho de Processos) essa metodologia se estrutura em quatro fases: planejamento, diagnóstico, medição e análise (SANTOS, 2016). Cruzando as informações obtidas após a aplicação da MDADP com o plano estratégico da organização estudada partiu-se para a fase de avaliação do ciclo de vida. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dentro dessa fase tem como objetivo identificar as mais significativas oportunidades de melhoria da dimensão ambiental e operacional do gerenciamento de perdas. Esta avaliação correlaciona os resultados atingidos com estimativa de insumos e energia potencialmente economizados durante o processo de produção e distribuição de água tratada. Calcula-se que a otimização resultante desta fase impactará positivamente o custo produtivo deste setor. Na etapa posterior serão desenvolvidas rotinas para a análise de desempenho de cada elemento que colabora para a rotina de atividade do setor analisado (ABNT, 2001).
- **Nível 2:** A utilização das folhas de verificação tem por interesse facilitar a aquisição e o tratamento dos dados para que as equipes de trabalho possam ter informações claras e úteis acerca do processo (ou subprocesso) pelos quais são responsáveis. Esta etapa tem grande importância para a etapa subsequente, pois serve como ponto de partida para as análises estatísticas. Na etapa do controle estatístico de processos as situações elencadas nas folhas de verificação serão analisadas de forma a organizar o processo focando na redução sistemática das falhas de operação. Ele é uma metodologia que se baseia na inspeção por amostragem e visa localizar particularidades que podem comprometer o funcionamento esperado de um processo. Considerando que o “Novo Marco do Saneamento” tornou o ambiente do saneamento ambiental ainda mais competitivo, a aplicação do CEP (Controle Estatístico de Processos) mostra-se como um dos pilares para a busca da melhoria contínua. A fase da análise SWOT (*strengths, weaknesses, opportunities and threats*) busca verificar a relação entre as situações analisadas

no CEP e a condição ambiental onde a empresa está inserida. A aplicação desta ferramenta produz uma matriz que compara condições intrínsecas ao processo analisado (strengths and weaknesses) e extrínsecas (opportunities and threats). O amálgama engendrado por estes três métodos tem por objetivo produzir um conhecimento mais profundo sobre o processo estudado. Cabe resumir este nível baseando-se no aforismo atribuído ao general Sun Tzu (544 a.C. – 496 a.C.): “Para vencer qualquer batalha são imprescindíveis três passos: conhecer-se a si mesmo, conhecer o território e conhecer o inimigo”.

- Nível 3: Na sequência de evolução da maturidade do processo, será aplicado o gerenciamento de riscos. Esta fase elenca os riscos mais significativos e apresenta a proposição de planos de ação para mitigar ocorrências indesejadas no transcurso do processo. Para que o gerenciamento dos riscos seja considerado uma metodologia eficaz é importante considerar, no mínimo, 6 condições: elaboração de planejamento, identificação de elementos chave, análise de ocorrências, planejamento e implantação de planos de ação e monitoramento dos riscos. Para atender a estes pressupostos optou-se por produzir uma matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). A finalidade desta ferramenta é organizar os problemas de acordo com a prioridade calculada para cada um deles. Sua aplicação traz a possibilidade de realizar o mapeamento e a visualização das ocorrências de maneira a intensificar a classificação dos problemas. O gerenciamento dos riscos quando apropriado da matriz GUT poderá se apresentar como método válido para a organização de estratégias e sistematização dos fluxos de trabalho. Na sequência, a aplicação do *Business Model Canvas (BMC)* permitirá verificar que elementos estão compondo a modelagem de negócio que está relacionada ao gerenciamento de perdas. Nesta fase serão elencados nove blocos e sua identificação permitirá compreender de maneira mais apurada como o gerenciamento de perdas está relacionado à satisfação dos clientes (especialmente dos externos).
- Nível 4: a utilização da ferramenta 5W2H (*What, Why, Who, When, Where, How, How Much*) será responsável por manter o rigor na operação do gerenciamento de perdas. Serão definidos planos de ação e os seus objetivos, equipes responsáveis por cada etapa, o local de execução do plano, seu prazo e frequência de execução, a maneira como os trabalhos serão desenvolvidos e que custos são pertinentes a eles; espera-se que a maioria das variáveis que compõem o gerenciamento de



perdas esteja definida e controlada. A fase de *Gap Analysis* tem por interesse avaliar se a diferença entre a performance esperada e a performance atual de um processo possui uma lacuna significativa. Num processo com performance considerada satisfatória a lacuna entre a posição onde o processo se encontra e onde era desejado que ele estivesse deve ser pequena. Para finalizar os requisitos deste nível a auditoria ESG (*Environmental, Social and Governance*) concretiza as atitudes para a mitigação dos riscos emergentes para a preservação de ativos intangíveis (relacionados principalmente aos ODS) e a manutenção da imagem de eficiência junto aos *stakeholders*. Em resumo: a combinação destas três ferramentas permitirá que seja construída uma abordagem robusta baseada na análise de dados e de ocorrências que tornará o processo mais resiliente e alinhado aos objetivos da concessionária.

- Nível 5: A utilização da metodologia *BSC (Balanced Score Card)* terá por função manter o equilíbrio entre os indicadores de desempenho fazendo com que as dimensões clientes, finanças, processos e crescimento continuem em evolução. Para auxiliar neste processo a ferramenta *PDCA (Plan, Do, Check, Analyze)* funcionará como um elo para permitir a interligação entre os diversos fatores operacionais. A conclusão desta fase mostrará que a ação apropriada não é um processo estanque e sim um sistema de atitudes que deverá sempre ser revisado para aparar arestas de forma que o processo esteja cada vez mais ajustado.

## 4 APLICAÇÃO EM UMA CONCESSIONÁRIA

Ao considerar que o método científico e as tecnologias são resultantes da evolução da sociedade e expressão característica da modernidade nota-se que a aplicação de conhecimento e de técnicas se apresenta como um ponto crucial no avanço sobre a compreensão da natureza.

### 4.1 Análise do Estudo de Caso

O conceito de sistema, de acordo com Bertalanffy (2010), é um conceito amplamente utilizado em todos os campos do conhecimento e é considerado o núcleo de novas tecnologias e da tecnocracia. De forma sucinta, visa compreender como um elemento faz parte de um sistema e como sua dinâmica está relacionada à conexão entre diversos componentes de forma que se obtenha um funcionamento satisfatório. É deste ponto de partida que se analisou o processo de distribuição de água tratada e buscou-se compreender este sistema para que o nível de perdas seja reduzido.

Dentro do paradigma do estudo de caso cabe uma provocação decorrente da análise de Herbert Marcuse. Para Marcuse (1966) a sociedade industrial busca explorar com cada vez mais eficiência os recursos naturais e axiológicos, de tal maneira que as relações entre ambiente e sociedade requerem a utilização técnica e do homem. Decorrente deste pensamento é possível inferir que todas as demandas por eficiência e eficácia cobradas pelo detentor do recurso “água”, ou seja, o Estado, se capilarizaram de tal forma que se transformaram em estruturas de controle social.

É neste contexto que a aplicação do *roadmap* está inserida. Proporcionar uma compreensão sistêmica do processo onde as perdas de água estão inseridas e produzir uma ferramenta que permita utilizar os recursos de modo mais eficaz. Este *roadmap* é representado pela junção entre todos os procedimentos descritos nas etapas subsequentes e que tem por intuito instituir uma metodologia para gerenciamento do processo de controle de perdas.

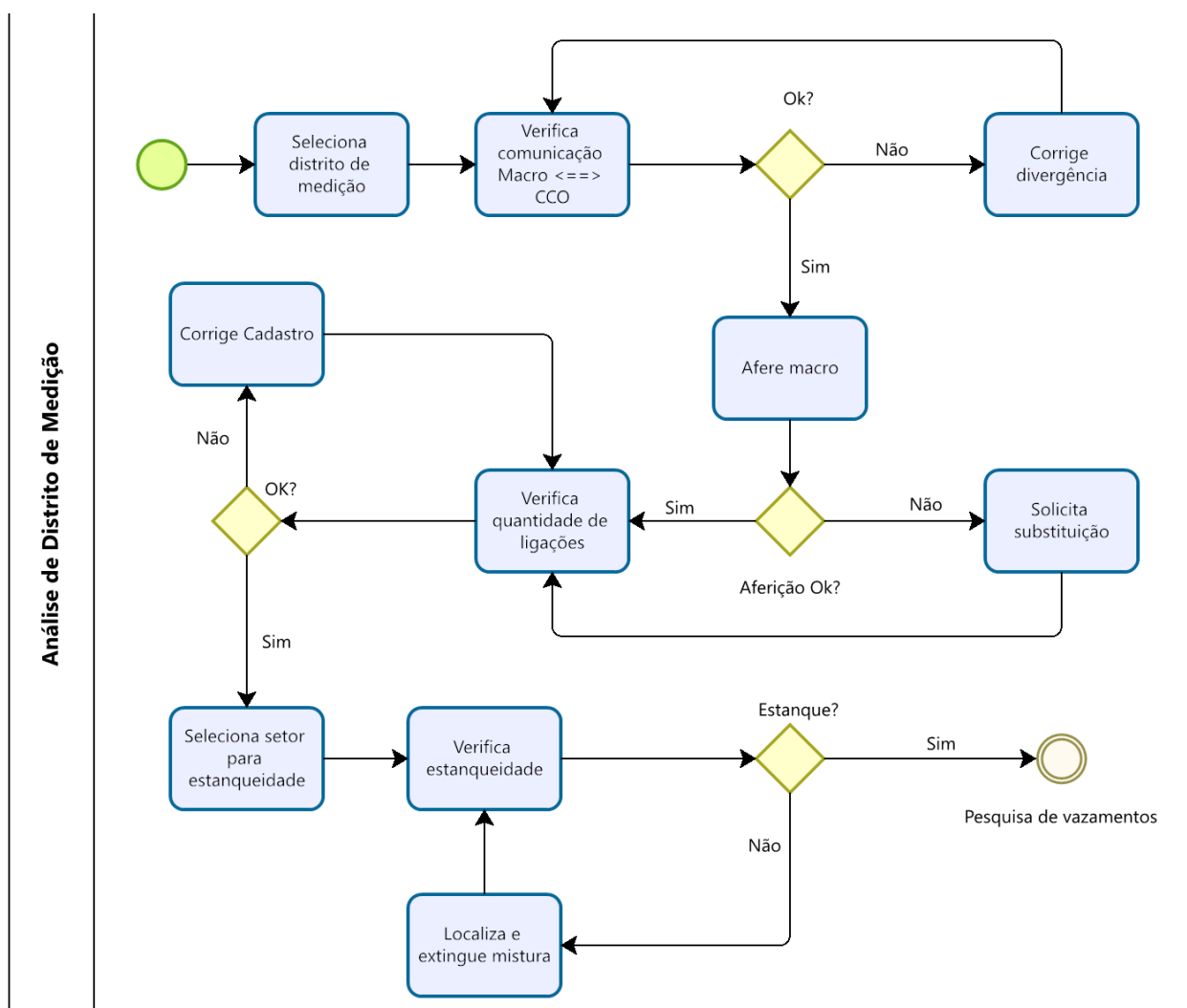
A primeira etapa do trabalho contemplou a seleção de um município atendido por concessionária de recursos hídricos que presta serviços de saneamento ambiental no sul do Brasil e atende, em sua totalidade, 346 municípios e 297 distritos.

Na segunda etapa foi selecionado o processo de gerenciamento de perdas na distribuição dentro da gama de serviços prestados pela concessionária estudada.

A terceira etapa constitui-se no gerenciamento de dados (*ETL*) e apresentou as seguintes inconsistências: excessiva quantidade de valores ausentes, interoperabilidade baixa, erros de nomenclatura nas *tags* (o que distorce os valores de vazão registrados), erros de cadastro comercial que distorcem a quantidade de ligações prediais em distritos de medição e falhas em macromedidores por ausência de aferição sistemática.

Por essa razão, na etapa de número quatro, foi necessário padronizar a forma de análise das áreas de medição objetivando que o procedimento gere subsídios para o procedimento de avaliação do nível de maturidade do processo estudado. Dessa análise resultou a proposição da sistemática ilustrada na Figura 9:

**Figura 9 – Procedimentos para confiabilidade na gestão de perdas**



Fonte: O autor (2022)

Verificou-se, também, que existem algumas medidas a serem adotadas para que os dados coletados possam se transformar em ferramentas eficazes no apoio à tomada de decisão. Este procedimento foi proposto em face da ausência de metodologias para organização primária dos dados, pois a aplicação de algoritmo para inferência de vazamentos depende de uma massa de dados bem estruturada.

As verificações preliminares mostraram que os dados da concessionária fazem parte de um *data swamp*. Resumidamente, um *data swamp* é qualquer massa de dados de grande volume que não possui organização (ou ela é rudimentar), possui um percentual elevado de valores ausentes, desatualizados ou pouco confiáveis, não há um gestor de dados responsável por sua organização/ atualização e existem correlações quebradas entre as fontes de dados.

Para que essa situação seja reconfigurada para uma condição de um *data warehouse* ou *data lake* é necessário que a organização instaure políticas de governança de dados. A implementação de procedimentos mais robustos e confiáveis ajuda na elaboração de dashboards mais eficazes.

Dessa maneira, a quinta etapa da análise apresenta uma proposta de tabulação para os dados de trabalho para o setor de gerenciamento de perdas. O Quadro 12 exemplifica o formato de tabulação sugerido para análise de cada distrito de medição.

**Quadro 12 – Proposta de tabulação dos dados**

Data	UTM Macro	Extensão RDA	Cota Alta	Cota Baixa	°C	UR	QTD LPA	Vazão Macro	Pressão Macro	Diâmetro Macro
01/01/2022 00:00h	-xxxx.xx ;- yyyy.yy	0010,000 km	999 m	900 m	17	63%	1560	300 l/s	26 MCA	300 mm
01/01/2022 01:00h	xxxx.xx ; -yyyy.yy	0010,000 km	999 m	900 m	16	60	1560	280 l/s	26 MCA	300 mm
01/01/2022 02:00h	xxxx.xx ; -yyyy.yy	0010,000 km	999 m	900 m	14	61	1560	260 l/s	23 MCA	300 mm
01/01/2022 03:00h	xxxx.xx ; -yyyy.yy	0010,000 km	999 m	900 m	14	61	1560	260 l/s	23 MCA	300 mm
01/01/2022 04:00h	xxxx.xx ; -yyyy.yy	0010,000 km	999 m	900 m	15	62	1560	270 l/s	28 MCA	300 mm

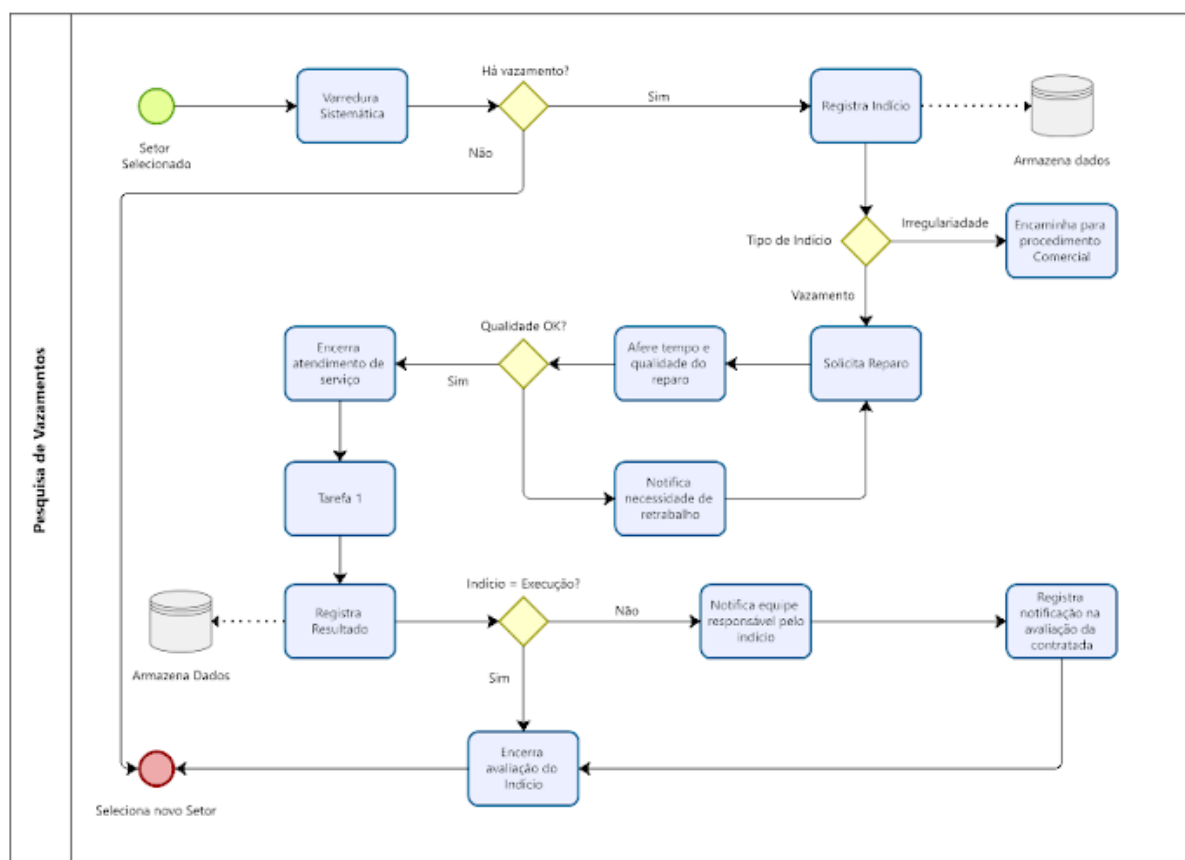
**Fonte: O autor (2022)**

A sexta etapa foi iniciada com a adoção de um procedimento relacionado à estruturação de dados. Esse procedimento diz respeito à estratégia de varredura sistemática para localização de vazamentos. Considerando que a tentativa de

inferência por *GLM* (*generalized linear model*) não se mostrou eficaz, foi realizada a inserção de uma estrutura condicional aninhada dentro da planilha eletrônica que atualiza os dados de vazão do sistema. Esta estrutura condicional do tipo “SE” compara alterações de vazão em função do tempo. Estimou-se que uma variação de vazão superior a 20% que durasse mais de 10 minutos resultaria num indicativo de discrepância. Desta forma o distrito de medição onde essa anomalia foi detectada era encaminhado para pesquisa de vazamentos.

A sétima etapa iniciou com a análise da planilha organizada na etapa anterior. Posteriormente, foram organizados em ordem decrescente os distritos de medição com base na discrepância apontada. Após essa classificação foi enviada à contratada a informação do distrito classificado como primeiro. Esse distrito foi selecionado para a execução da varredura sistemática. Esse procedimento ocorreu conforme é mostrado na Figura 10:

**Figura 10 – Fluxograma da varredura sistemática**



Fonte: O autor (2022)

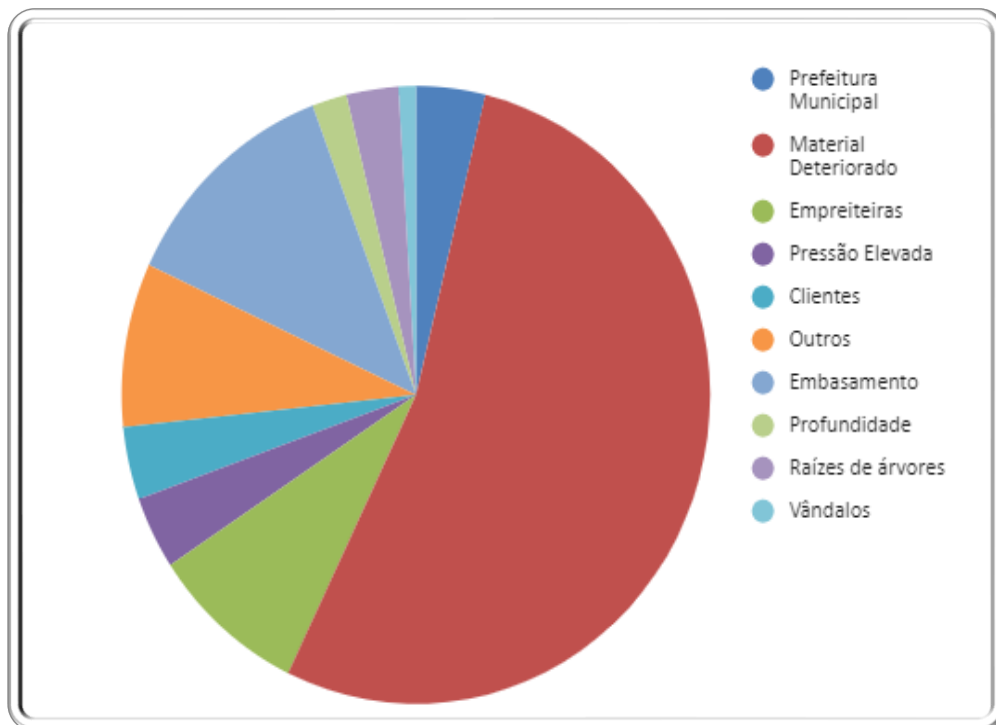
Na oitava etapa os apontamentos retornados de campo passaram a compor uma tabela que tem por objetivo demonstrar quais os distritos de medição e quais os

materiais que têm apresentado maior quantidade de vazamentos. Os campos que compõem, atualmente, essa tabela são: data da verificação, número de controle do indício, endereço, identificação do distrito de medição, tipo de vazamento localizado, tipo de vazamento consertado, protocolo da ordem de execução de serviço, equipe solicitante, equipe executora do reparo, código da peça que apresentou problema e motivo da ocorrência do vazamento.

A nona etapa contou com a estruturação dos dados provenientes da mineração dos atendimentos de serviços concluídos. Dentre os resultados desta etapa são apresentados os gráficos 1 ao 3.

O Gráfico 1 exemplifica a quantificação dos motivos causadores em janeiro de 2022.

**Gráfico 1 – Motivos causadores de vazamentos em janeiro de 2022**



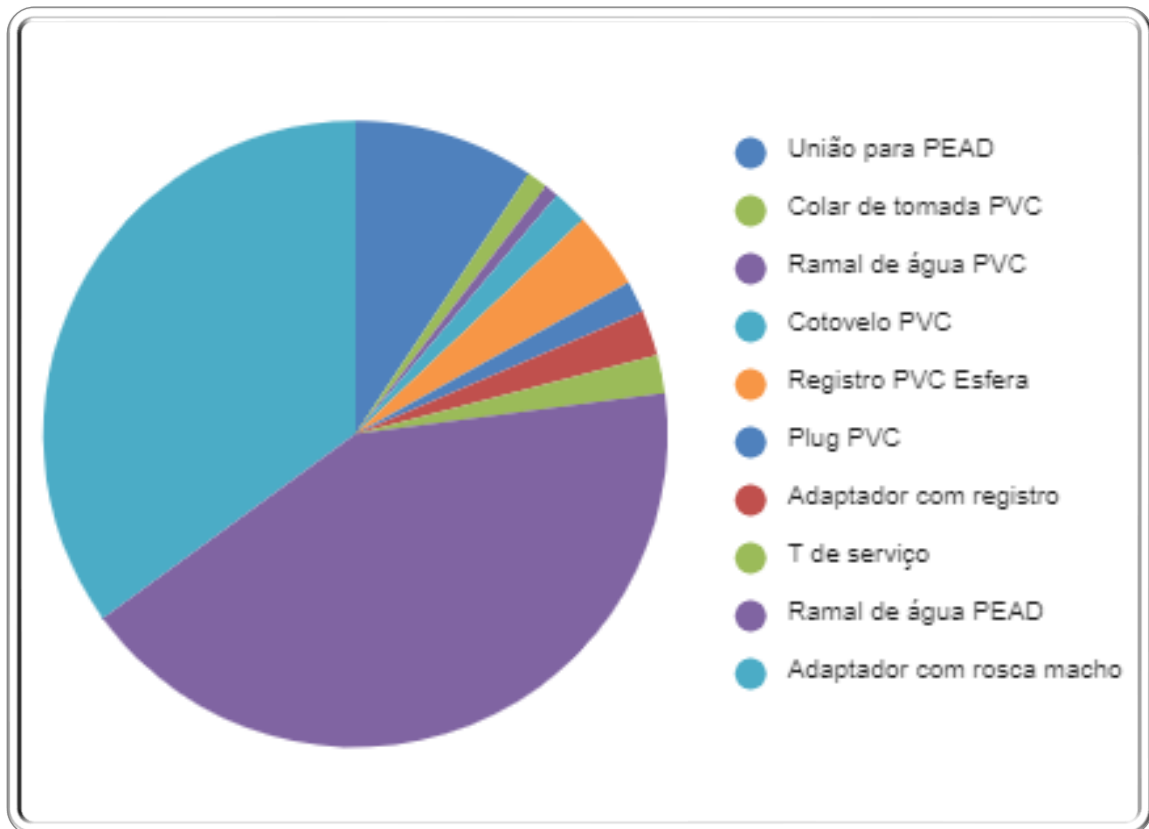
Fonte: O autor (2022)

A análise do Gráfico 1 mostra que em um rol de oito motivos verificados para a ocorrência de vazamentos, a maior parte das ocorrências é oriunda de deterioração do material. No âmbito deste estudo não foram analisados *papers* que avaliam a vida útil e o comportamento dos dispositivos que compõem as redes de distribuição. Outros motivos com significância elevada são as ações de obras realizadas pela prefeitura municipal, prestadores de serviços (pessoas jurídicas) de empresas de gás natural,

telecomunicações e/ou manutenção de rede elétrica. Para mitigar estas ocorrências pode ser adotado um modelo de comunicado que objetiva a explicação sobre a necessidade de consulta à concessionária quando da necessidade de intervenções em vias públicas.

Já o Gráfico 2 mostra a distribuição das peças substituídas em vazamentos de redes e ramais em fevereiro de 2022.

**Gráfico 2 – Peças substituídas em fevereiro de 2022**



**Fonte: O autor (2022)**

O Gráfico 2 mostra que neste período o principal agente causador de vazamentos foi o defeito no ramal predial de água, seguido da peça “curva de 90° do cavalete”. Desta inferência é possível adotar, a nível de medida preventiva, a troca de fornecedor destes materiais ou a solicitação de laudo que possa justificar o resultado deste levantamento.

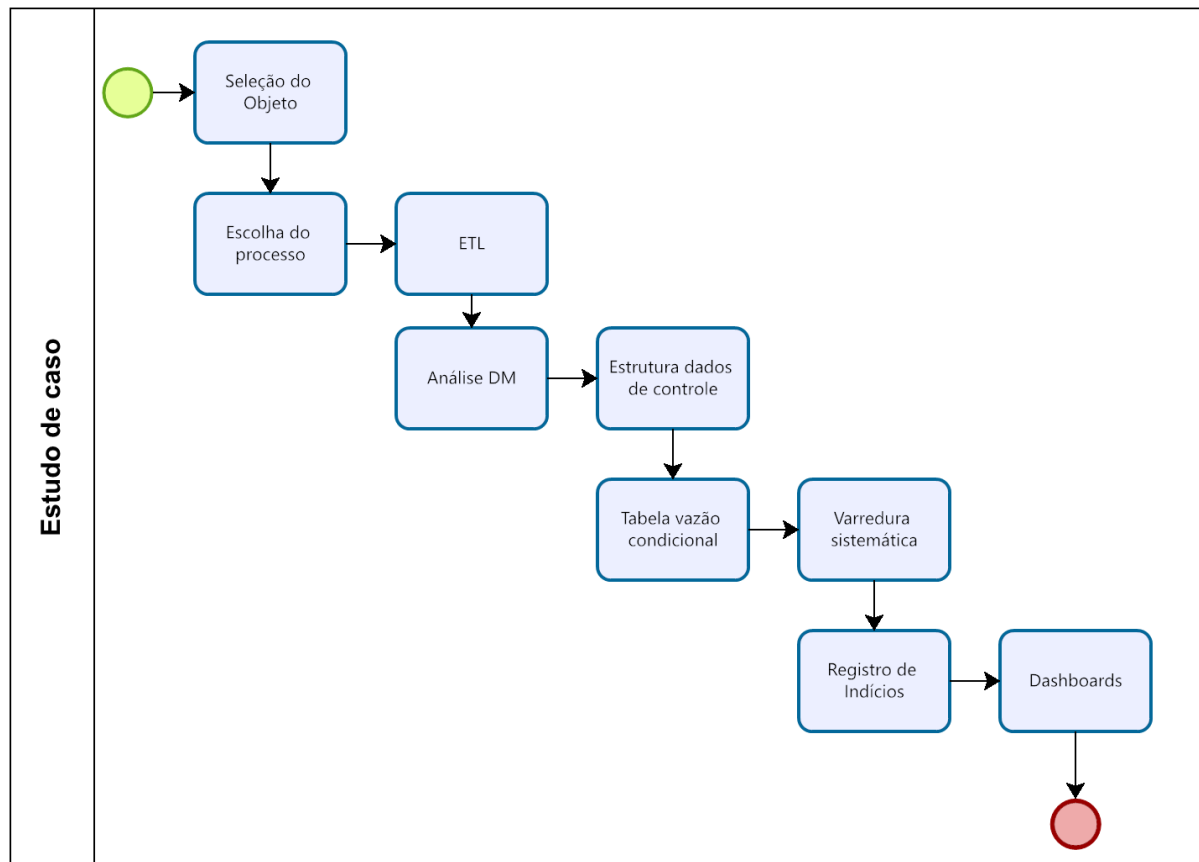
O estudo de caso permitiu verificar que os procedimentos adotados contemplam as etapas previstas como avaliação do nível 1 de maturidade. Esse nível prevê que o processo estudado deve possuir mecanismos de diagnóstico operacional (representado pelo *roadmap*), avaliação do ciclo de vida (representado pelo

acompanhamento do IPL e pelos causadores de vazamentos), rotinas de análise de desempenho (representada pela dinâmica do IPL ao longo do tempo e pela análise de eficiência dos indícios de vazamento).

A fase final da avaliação diz respeito à elaboração de *dashboards*

Para concluir essa seção do estudo é apresentado, na Figura 11, o fluxograma resumido dos procedimentos realizados:

**Figura 11 – Fluxograma dos procedimentos adotados**



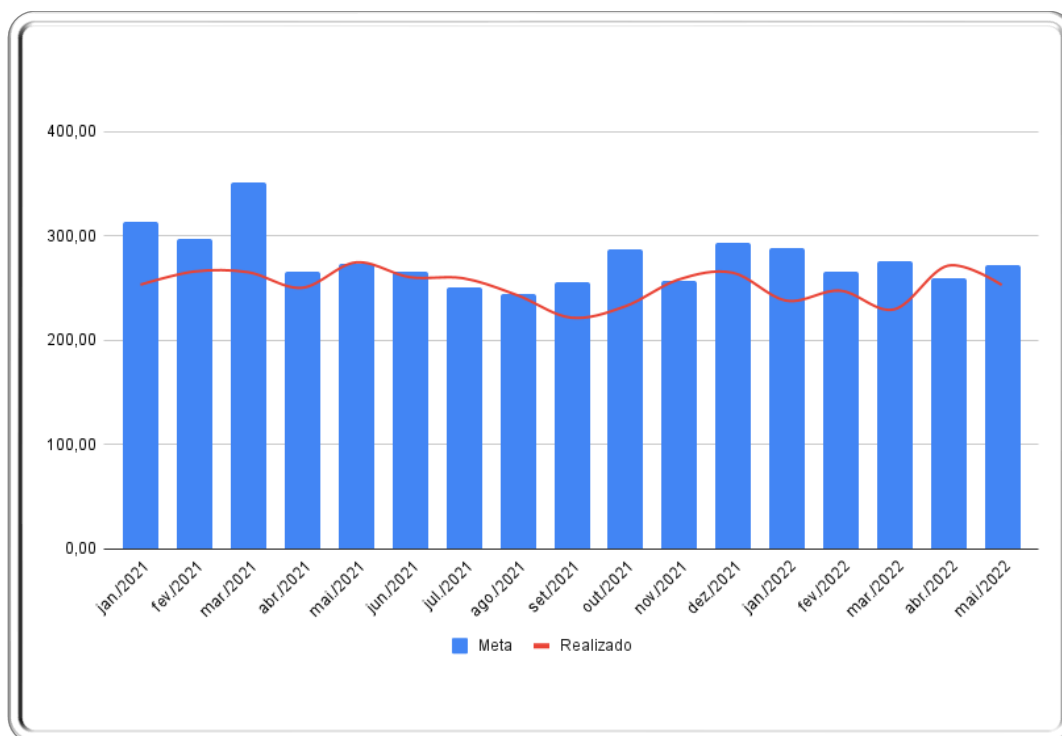
**Fonte: O autor (2022)**

O fluxograma se apresenta como uma escada descendente para elucidar o nível de aprofundamento na compreensão do processo.

Com base em todos os argumentos apresentados e sua correlação com a evolução do IPL desde a data que o estudo foi iniciado (janeiro de 2021) é possível verificar que houve redução do IPL quando são comparados os valores acumulados entre janeiro de 2021 e maio de 2022.

Para ilustrar os resultados obtidos o Gráfico 3 apresenta os resultados previstos comparados aos realizados no referido período.



**Gráfico 3 – Comparativo IPL Realizado x Meta IPL**

**Fonte: O autor (2022)**

Analisando o período de 17 meses pode-se notar que em 13 meses foram registradas reduções do IPL, quando comparado à previsão. Ou seja, em 76,47% do período estudado foram aferidos resultados positivos. Considerando o percentual médio mensal de redução obteve-se o valor de 8,46%. Como o período foi de 515 dias verificou-se, também, que o volume economizado foi de 1.580.596 m<sup>3</sup>, baseado nestes valores é possível dizer que a redução foi de 3.069 m<sup>3</sup> ou 0,83 litros por ligação dia. Considerando o valor obtido no estudo calculado junto do crescimento vegetativo médio a redução de IPL alcançada poderia prover abastecimento para mais 3.126 ligações prediais.

Pensar em 830ml pode parecer um valor que beira a insignificância, entretanto, a quantidade de média de ligações prediais de água neste período foi de 121.196 ligações. A média do metro cúbico produzido de água (contabilizados os custos de infraestrutura, insumos, recursos humanos envolvidos no processo, energia elétrica e demais custos relacionados) tem um custo de R \$4,73 (quatro reais e setenta e três centavos).

Contados os dezessete meses, foram economizados R \$7.476.219,60 (sete milhões, quatrocentos e setenta e seis mil, duzentos e dezenove reais e sessenta

centavos), ao dividir esse valor por mês chega-se à economia média de R \$344.741,50 (trezentos e quarenta e quatro mil, setecentos e quarenta e um reais e cinquenta centavos). Na Tabela 3 têm-se os valores registrados para o período.

**Tabela 3 – Valores auferidos no período**

Período	Volume Perdido (m <sup>3</sup> )			Quantidade de Ligações	Crescimento Vegetativo	Economia Total
	Meta	Realizado	Diferença			
01/21	1.155.786	933.349	222.437	118.896		R\$ 1.052.125,03
02/21	992.511	886.746	105.765	119.121	0,189%	R\$ 500.269,18
03/21	1.300.814	980.974	319.840	119.318	0,165%	R\$ 1.512.844,39
04/21	954.173	897.642	56.531	119.566	0,207%	R\$ 267.390,71
05/21	1.015.990	1.019.070	-3.080	119.700	0,112%	-R\$ 14.567,84
06/21	955.679	936.973	18.706	119.908	0,173%	R\$ 88.477,72
07/21	933.631	965.921	-32.289	120.137	0,191%	-R\$ 152.728,02
08/21	914.074	909.138	4.935	120.608	0,391%	R\$ 23.343,87
09/21	929.549	805.747	123.802	121.196	0,485%	R\$ 585.582,11
10/21	1.081.461	875.989	205.472	121.617	0,346%	R\$ 971.882,19
11/21	937.659	944.277	-6.619	121.891	0,225%	-R\$ 31.306,36
12/21	1.110.253	1.003.096	107.157	122.230	0,277%	R\$ 506.850,70
01/22	1.095.700	902.718	192.982	122.399	0,138%	R\$ 912.803,00
02/22	911.374	850.747	60.628	122.748	0,284%	R\$ 286.768,98
03/22	1.052.748	876.412	176.336	123.176	0,347%	R\$ 834.070,69
04/22	960.573	1.005.462	-44.890	123.459	0,229%	-R\$ 212.328,25
05/22	1.043.162	970.278	72.884	123.742	0,229%	R\$ 344.741,50
<b>Totais</b>	<b>17.345.137</b>	<b>15.764.541</b>	<b>1.580.596</b>			<b>R\$ 7.476.219,60</b>
			<b>Médias</b>	121.196	0,227%	R\$ 344.741,50

**Fonte: O autor (2022)**

Um possível *insight* decorrente da análise da Tabela 3 diz respeito a taxa de crescimento vegetativo (acréscimo do número de ligações prediais de água). A taxa média foi de 0,227% e seu valor máximo foi de 0,485%. A dimensão desse indicador significa que o município analisado apresentou estabilidade em seu crescimento.

Assim, para a concessionária, verifica-se que não é necessário planejar grandes investimentos em aumento de infraestrutura nem acréscimo do montante de água outorgado. Se, arbitrariamente, fosse fixado como ótimo um IPL de 150 l/s é possível projetar, com base nos valores produzidos hoje (média de 2.361.321 m<sup>3</sup> mês) e na taxa média de crescimento vegetativo, que o município estudado poderia ter um

acrécimo de 28045 ligações prediais de água ou seja, por cerca de 100 meses (8 anos e 4 meses) não seria necessária qualquer ação de expansão do sistema nem acréscimo na outorga; ou, caso não houvesse crescimento vegetativo, seria obtida uma economia mensal média de R \$ 2.172.889,44 (dois milhões, cento e setenta e dois mil, oitocentos e oitenta e nove reais e quarenta e quatro centavos).

Apesar do resultado obtido, verificou-se que há necessidade urgente de implementação de políticas de governança de dados. Considerando o cenário atual, onde a tendência é que as empresas reduzam gradativamente seus quadros funcionais, a correta estruturação de bases de dados e adoção de técnicas de *machine learning* se mostra como uma alternativa para assumir postos de trabalho com demandas repetitivas, ganhar velocidade no processamento e análise de dados e propor soluções baseadas inferências de modo a suprir a redução de indivíduos em postos de trabalho.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse estudo foi investigar quais os procedimentos necessários para avançar em direção da implementação de práticas de *Data Science and Analytics* e da elaboração de um protocolo de análise para o fenômeno de perdas de água tratada em redes de distribuição.

### 5.1 Verificação de atendimento à categorização da pesquisa

Considerando todos as características apresentadas como correlação aos eixos natureza, abordagem, objetivos, coleta de dados e procedimentos técnicos (presentes no Quadro 2) verifica-se que este estudo alcançou as definições que o estruturaram, pois:

- Enquanto pesquisa de natureza aplicada: se dispõem a obter e combinar conhecimentos para a compreensão e aprimoramento de processos, combinou de forma satisfatória as prerrogativas preconizadas pelo referencial estudado e sugeriu um roadmap para otimizar o gerenciamento de perdas de água tratada. Esse roadmap é combina ferramentas de qualidade para desenvolver continuamente os níveis de maturidade no processo de distribuição de água tratada e controle de vazamentos;
- Considerada a abordagem quanti-qualitativa: que suscita a mescla entre as características representadas pela objetivação e generalização de resultados (abordagem quantitativa) e pela existência de características subjetivas relacionadas às demandas sociais (abordagem qualitativa), avalia-se que o estudo alcançou sua proposta em razão da combinação entre a aplicação de métodos estatísticos para tratamentos de dados e métodos de análise e avaliação de nível de maturidade.
- De acordo com os objetivos de caráter exploratórios (definidos pela combinação de diversas fontes de conhecimento para atender ao gap de pesquisa) e descritivos (relacionados a revisão teórica acerca de um tema): nota-se que a realização da pesquisa bibliográfica associada à transposição de um modelo de avaliação de maturidade que pertencia ao campo da ciência da informação demonstra que o estudo alcançou essa finalidade.

- Verificando a importância dos procedimentos de coleta de dados verificou-se que a pesquisa é descritiva: uma vez que tende a elucidar o fenômeno investigado baseando-se na correlação entre as variáveis investigadas, pois ao definir variáveis de controle (vazão, situação de distritos de medição, etc.) e analisar sua correlação com o desenvolvimento do estudo nota-se que os procedimentos de coleta, tratamento e carregamento dos dados é capaz de auxiliar o processo de tomada de decisão;
- Concluindo como o procedimento técnico de estudo de caso: que é aquele que visa estudar profundamente um objeto de forma a produzir, baseado em hipóteses, um conceito geral sobre seu funcionamento conclui-se que o estudo alcançou esta proposta, uma vez que as hipóteses H0, H2, H3 e H4 foram confirmadas e a hipótese H1 foi refutada, conforme é explicado na seção 5.3.

## 5.2 Análise dos objetivos

O objetivo principal deste estudo é propor um *roadmap* para subsidiar a tomada de decisão no processo de gerenciamento das redes de distribuição de água tratada visando a redução de perdas.

E como parte dos métodos necessários para alcançá-lo são citados os seguintes objetivos específicos:

- Levantar métodos utilizados no controle de perdas;
- Sugerir algoritmo para análise da diferença de vazão;
- Propor procedimentos para avaliação do nível de maturidade do processo de gerenciamento de perdas;
- Elaborar um protocolo de análise para o fenômeno de perdas.

Para atingir o primeiro objetivo específico foram realizadas pesquisas sistemáticas focadas na localização de artigos relacionados a estudos sobre técnicas de pesquisa de vazamentos, gerenciamento de recursos hídricos e sobre o desenvolvimento de técnicas de *machine learning* aplicadas a esta finalidade.

Ao buscar alternativas para alcançar o segundo objetivo foram selecionados dados oriundos do sistema *SCADA* e eles foram tabelados. Após esse procedimento foi inserida na tabela uma fórmula baseada numa estrutura condicional aninhada que possibilitou análise rápida para as divergências no comportamento da vazão.

Já as alternativas utilizadas para resolver o terceiro objetivo foram elaboradas após pesquisas acerca da aplicação da metodologia *CMMI* e também da utilização de ferramentas de qualidade. Como este procedimento é novo dentro do processo estudado o primeiro nível de maturidade dependeu da adoção de ferramentas para diagnóstico operacional, avaliação de ciclo de vida do produto, desenvolvimento de rotinas para análise do desempenho e utilização de ferramenta de *self-service BI* para produzir os *dashboards* para apoio à tomada de decisão.

Por fim, o quarto objetivo implementa um método que atende, principalmente, a duas necessidades: a padronização dos procedimentos de análise em distritos de medição e a sistematização dos procedimentos referentes a pesquisa de vazamentos.

Ao estruturar todos os procedimentos previstos pelos objetivos específicos foi possível verificar que o objetivo geral foi alcançado, pois todos os passos implementados permitiram uma melhor compreensão do processo de gestão de perdas e se configurou como uma ferramenta válida para o apoio à tomada de decisão direcionado à melhoria contínua do indicador IPL.

### **5.3 Teste e resultado das hipóteses**

O teste de hipóteses resulta apenas em duas condições: a hipótese foi confirmada ou a hipótese foi refutada. Partindo desse pressuposto o grupo de hipóteses confirmadas abrange as hipóteses H0, H2, H3 e H4 e a hipótese H1 foi refutada.

Analisando H0: “O combate rápido ao evento "vazamento" resulta em redução do IPL” a aplicação da condicional aninhada na tabela de registro de vazão conseguiu apontar para quais os distritos de medição que apresentaram divergências. O deslocamento de equipes para pesquisa de vazamentos por método acústico se mostrou eficaz, haja visto que o indicador IPL apresentou queda.

A análise da vazão mínima noturna e das oscilações de vazão durante o período diurno comprovou a hipótese quatro, pois as alterações significativas nestes períodos foram identificadas com mais facilidade. Esta condição permite uma analogia: o período de vazão mínima noturna pode ser considerado como regime permanente e o período diurno como transitório.

A estrutura condicional aninhada é capaz de separar alterações momentâneas de vazão de vazamentos, confirmando o que foi previsto pela hipótese dois.

Encerrando o rol de hipóteses confirmadas, concluiu-se que a adoção do *roadmap*, do algoritmo e da adoção da avaliação de maturidade possibilitou a tomada de decisão mais ajustada e conseqüentemente um acréscimo na eficiência do gerenciamento do processo de distribuição de água tratada.

A única hipótese refutada foi a que possuía a meta de prever a ocorrência de vazamentos. Primeiramente, o referencial teórico consultado demonstrou que todos os estudos que tinham essa prerrogativa não lograram êxito. Outro fator determinante para a negação dessa hipótese está relacionado à pobreza dos dados relacionados ao cadastro técnico de redes de água. Os instrumentos de inferência derivados de *generalized machine learning* dependem de quantidades significativas de dados para treinamento dos modelos, uma vez que são modelos supervisionados. A ausência de tratativas corretas quanto ao gerenciamento dos dados na concessionária estudada prejudicou a possibilidade de elaboração de um modelo aceitável.

#### **5.4 Aplicação**

O desenvolvimento do *roadmap* foi o resultado de um processo onde vários pontos que careciam de esclarecimentos mudaram para condições mais claras em razão da apropriação das teorias estudadas. A elucidação possibilitada por essa etapa permitiu que o processo de gestão de perdas fosse mais bem compreendido e como resultado pode ser sistematizado em um *roadmap*.

Para validar esta proposição ele foi aplicado a uma concessionária. Verificou-se, por meio do estudo de caso, que essa ferramenta apresentou resultado satisfatório e com possibilidade de desenvolvimento contínuo.

#### **5.5 Método de diagnóstico operacional**

Na investigação inicial sobre a concessionária e a avaliação acerca do que foi prescrito no referencial consultado percebeu-se que a implantação de uma rotina sistemática de diagnóstico operacional é um procedimento que auxilia na

compreensão dos processos e produz um arcabouço que permite a evolução do processo de gestão de concessionárias de recursos hídricos.

Como é próprio do método indutivo, derivado da aplicação de conceitos de ciências como a estatística, a proposição realizada neste estudo partiu da análise presente em outros estudos para construir uma condição que foi apropriada ao objeto desta pesquisa.

Apesar das críticas ao método indutivo, apontadas por Popper (1972) e Popper (1982), que dizem versam sobre a justificação das inferências indutivas e, em última instância, estão limitadas pelo empirismo e resultam em processos axiológicos restritos a elaboração de conjecturas verificou-se que, a despeito da conclusão de Popper, foi possível avaliar que, da mesma forma que ocorre com o aprendizado computacional supervisionado, ainda há espaço para a teorização e aplicação baseada na compreensão e adaptação de teorias advindas de outras ciências.

A utilização de métodos para diagnóstico operacional é uma técnica que pode ser compreendida de acordo com a proposição de Arenales *et al.* (2011) que diz que a pesquisa operacional pode ser compreendida como a elaboração de sistema baseados no método científico e que possuem a incumbência de subsidiar elementos para inferir resultados de um determinado processo, comparar estratégias ou possibilitar a tomada de decisões alternativas focadas na escolha dos melhores procedimentos para projetar e operar um sistema de recursos escassos.

Assim sendo os resultados obtidos demonstram que a aplicação da técnica de diagnóstico operacional é um procedimento que apresenta eficácia e traz benefícios à gestão de processos.

## **5.6 Importância dos protocolos de análise**

Como adverte Knafllic (2017) é comum que a análise exploratória (apresentação de dados) seja sobreposta à análise explanatória. É decorrente dessa dificuldade que a elaboração de um protocolo robusto de análise se mostra importante.

O papel da ciência é transformar dados em informações e não somente apresentá-los como algo pontual. A compreensão deve ser vista como um processo que depende de uma análise pormenorizada de todas as variáveis que compõem o objeto analisado. É nesse contexto que o protocolo de análise do gerenciamento de



perdas está inserido; ele tem a finalidade de compreender e sistematizar a dinâmica entre os elementos deste processo.

Desta maneira, assim como verificado em Habermas (1987), o protocolo de análise proposto nesse estudo se apresentou como um elo de ligação entre teoria e prática. Do universo teórico foram extraídas as feições inerentes ao ato de conhecer e, doutro ponto de vista, a práxis apresentou-se como da aplicação do conhecimento, ou, resumidamente, o conhecimento em movimento.

### **5.7 Contribuição para as concessionárias**

A questão central desse estudo foi motivada pela feição atual do Índice de Perdas por Ligação (IPL) que tem se mostrado como elemento crítico na gestão de recursos hídricos. Desta maneira, é imprescindível que sejam encontradas ferramentas para otimizar o processo de gerenciamento de perdas.

A aplicação da metodologia *CMMI* aliada a adoção de um *roadmap* se mostrou como uma ferramenta para melhorar a eficiência operacional em concessionárias e, por consequência, elevar indicadores *ESG* por meio da diminuição dos impactos ambiental, social, econômico e legal causados pela inconveniente existência de perdas.

A contribuição mais importante deste estudo relaciona-se à possibilidade de que ele seja adotado por todos os agentes envolvidos com a universalização de acesso à água tratada.

Partindo das proposições de Harvey (1980) verifica-se que a gestão de recursos hídricos pode ser classificada dentro de uma das nove categorias de necessidade social. Enquanto necessidade, o acesso à água se apresenta como um dos elementos vitais para a promoção da justiça social em um território. De posse deste argumento o trabalho apresenta a importância de boas práticas de gestão em concessionárias de recursos hídricos.

Decorrente dessa consideração, Harvey (2008) analisa que a volatilidade de nossa época tem a característica de dificultar os processos de planejamento de longo prazo, ou seja, a necessidade de adaptação é fundamental para responder às mudanças impostas pelo mercado ou pela sociedade. Assim, a condução de uma concessionária de recursos hídricos torna-se dependente de processos mais claros e

objetivos de gestão para atender, principalmente, às regulamentações impostas pela MP do saneamento.

O uso de *machine learning* pode ser extremamente útil na detecção de vazamentos de água tratada. A detecção de vazamentos de água pode ser difícil e demorada, especialmente em áreas onde o acesso é limitado ou onde o vazamento está localizado abaixo do solo. No entanto, o machine learning pode ajudar a resolver esses desafios, permitindo que as empresas de água detectem vazamentos mais rapidamente e com maior precisão.

É possível deduzir alguns aspectos onde o *machine learning* pode contribuir para a detecção de vazamentos de água tratada:

- **Análise de dados em tempo real:** As empresas de água podem coletar grandes quantidades de dados de sensores em tempo real, como pressão, fluxo e níveis de água. Com o uso de machine learning, esses dados podem ser analisados em tempo real para identificar anomalias ou padrões incomuns que possam indicar um vazamento.
- **Detecção de vazamentos em áreas de difícil acesso:** o machine learning pode ser usado para detectar vazamentos em áreas de difícil acesso, como tubulações enterradas sob a terra ou em áreas de difícil acesso. Por exemplo, drones equipados com câmeras podem ser usados para sobrevoar áreas difíceis de alcançar e detectar vazamentos usando algoritmos de machine learning.
- **Modelagem de pressão e fluxo de água:** o machine learning pode ser usado para criar modelos de pressão e fluxo de água em sistemas de distribuição de água. Esses modelos podem ser usados para detectar vazamentos, pois qualquer diminuição na pressão ou fluxo pode indicar a presença de um vazamento.
- **Análise de padrões de consumo de água:** o machine learning pode ser usado para analisar os padrões de consumo de água em uma determinada área. Quando os padrões de consumo de água são inconsistentes com as expectativas, isso pode indicar a presença de um vazamento.

Em resumo, o *machine learning* pode ser uma ferramenta poderosa para a detecção de vazamentos de água tratada, permitindo que as empresas de água economizem tempo e dinheiro ao detectar vazamentos mais rapidamente e com maior precisão.

## 5.8 Sugestões para trabalhos futuros

Como condição intrínseca ao processo de produção de conhecimento científico, esta pesquisa não encerra e nem possui a pretensão de encerrar os elementos possíveis de estudo dentre deste tema.

Isto posto, são apresentadas algumas sugestões para desenvolvimento de investigações que podem complementar os elementos abordados neste trabalho.

Assim são sugeridas as seguintes propostas:

- Desenvolvimento de tubulações com grafeno capazes de se reorganizar estruturalmente para mitigar vazamentos;
- Elaboração de estudo de análise de vida útil de tubulações;
- Modelagem hídrica baseada em teoria do caos;
- Desenvolvimento de medidores de vazão e pressão IoT de baixo custo;
- Desenvolvimento de dispositivos de supressão de abastecimento controlados remotamente;
- Invenção de sistemas de detecção de fraudes;
- Pesquisa de estratégias para captação de água em locais poluídos;
- Desenvolvimento de estratégias de faturamento baseadas em equidade econômica.
- Desenvolvimento de uma classificação de resposta espectral para ondas acústicas baseada na aplicação da transformada de Fourier, na mineração de dados, na transformada wavelets e/ou em matemática do caos.

## REFERÊNCIAS

7<sup>th</sup> World Water Forum. **Science & Technology Process Whitepaper**. Daegu: 2015. Disponível em: <<http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/06/7th-World-Water-Forum-Science-Technology-Process-White-Paper.pdf>> Acesso em 2 de abril de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **A Profissão da Engenharia de Produção. Saiba mais sobre a Engenharia da Produção**. 2021. Disponível em: <<http://portal.abepro.org.br/profissao/>> Acesso em 02 de janeiro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: Posicionamento e Contribuições Técnicas da ABES**. São Paulo: ABES, 2015. Disponível em: <[http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas\\_Abes.pdf](http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf)> Acesso em 14 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14041:2001**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

ADEDEJI, K. B *et al.* Leakage detection and estimation algorithm for loss reduction in water piping networks. **Water**: 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/w9100773>> Acesso em 02 de agosto de 2021.

AGHNIA, M. C.; LARSO, D. Developing new product using minimum viable product. **Journal of Applied Management**: 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21776/ub.jam.2018.016.02.06>> Acesso em 11 de março de 2022.

AL-WASHALI, T. *et al.*, Modelling the Leakage Rate and Reduction Using Minimum Night Flow Analysis in an Intermittent Supply System. **Water**: 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w11010048>> Acesso em 29 de agosto de 2021.

ALLUÉ, A. *et al.* QRP: a CMMI Appraisal Tool for Project Quality Management. **Procedia Technology**: 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.073>> Acesso em 18 de fevereiro de 2022

ALVES, A. B.; RABELO, D. C. Acesso à água potável no Brasil: de ações pontuais à política social. Vitória: **Argumentum**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.18315/argumentum.v10i3.19679>> Acesso em 17 de abril de 2021.

ALVES FILHO, F. Funções axiológicas do recorte e da discretização dos objetos do mundo. São Paulo: **Linha D'água**, 2011. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/linhadagua/article/view/37359/40079>> Acesso em 04 de setembro de 2021.

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BACHA, M. de L. *et al.* Considerações teóricas sobre o conceito de sustentabilidade. **VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2010. Disponível em: <[https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/31\\_cons%20teor%20bacha.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/31_cons%20teor%20bacha.pdf)> Acesso em 22 de abril de 2021.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Lisboa: Presença, 1984.

BAKOGIANNIS, A.; TZAMTZIS, A. Modeling of district metered areas with relatively high leakage rate. The case study of Kalipoli's DMA. **CUNY Academic Works**: 2014. Disponível em: <[https://academicworks.cuny.edu/cc\\_conf\\_hic/384/](https://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic/384/)> Acesso em 26 de junho de 2021.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. **Inter-American Development Bank Sustainability Report 2017**. Washington: Publications IDB, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18235/0001034>> Acesso em 14 de março de 2021.

BARROS-PLATIAU, A. F. *et al.* Proteção Internacional do Meio Ambiente. **Unitar**, Brasília: 2009. Disponível em: <[http://www.tradeenvironment.eu/uploads/Protecao\\_internacional\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.tradeenvironment.eu/uploads/Protecao_internacional_meio_ambiente.pdf)> Acesso em 20 de março de 2021.

BEKMAN, O. R.; COSTA NETO, P. L. **Análise estatística da decisão**. São Paulo: Blucher, 2009.

BERTALANFFY, L. v. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Petrópolis: Vozes, 2010.

BOFF, L. **A água no mundo e sua escassez no Brasil**. 2015. Disponível em: <<https://leonardoboff.wordpress.com/2015/02/02/a-agua-no-mundo-e-sua-escassez-no-brasil/>> Acesso em 19 de março de 2021.

BOMBASSARO, L. C. **As fronteiras da epistemologia: como se produz o conhecimento**. Petrópolis: Vozes, 1992.

BONTHUYS, G. J., *et al.* Leveraging water infrastructure asset management for energy recovery and leakage reduction. **Sustainable Cities and Society**, 2019. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2263/70856>> Acesso em 29 de março de 2021.

BORBA, A. L. S. *et al.* A proteção das águas: Recurso Natural Limitado. **XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2018. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29417/19019>> Acesso em 02 de abril de 2021.

BOTULA, K. **Helping Organizations Scale Agile Across the Enterprise**. Better Software, 2017. Disponível em: <<https://CMMIinstitute.com/getattachment/3a0b059f-f243-4a4b-a354-f39ba3f299fb/attachment.aspx>> Acesso em 10 de maio de 2021.

BOYLE, T. *et al.* Intelligent metering for urban water: A review. **Water**: Switzerland, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w5031052>> Acesso em 10 de abril de 2021.

BRASIL. **Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)> Acesso em 05 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Lei 9.637, de 15 de maio de 1998**. Dispõe sobre a qualificação de entidades como organizações sociais. Brasília: Brasília, 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9637.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9637.htm)> Acesso em 05 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Lei 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília: Brasília, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm)> Acesso em 04 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Lei 10.768, de 19 de novembro de 2003**. Dispõe sobre o Quadro de Pessoal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e dá outras providências. Brasília: Brasília, 2003. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2003/l10.768.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/l10.768.htm)> Acesso em 04 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Lei 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília: Brasília, 2020. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm)> Acesso em 04 de janeiro de 2021.

BRASIL. **Glossário Saneamento e Meio Ambiente**. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. Disponível em: <<https://www.aguabrasil.icict.fiocruz.br/index.php?pag=sane>> Acesso em 4 de agosto de 2022.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos - Volume 1 - Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/inserir-documentos-nos-artigos/pnrh/linha-do-tempo/2348-caderno-pnrh-vol1>> Acesso em 20 de fevereiro de 2021.

BRASIL. **Plano Nacional de Recursos Hídricos - Volume 2 - Águas para o futuro: Cenários para 2020**. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/inserir-documentos-nos-artigos/pnrh/linha-do-tempo/2349-caderno-pnrh-vol2>> Acesso em 24 de fevereiro de 2021.

BROCKMAN, J. B. **Introdução à Engenharia: Modelagem e Solução de Problemas**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

BUREK, P. *et al.* **Water Futures and Solution**. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2016. Disponível em:

<<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>> Acesso em 20 de março de 2021.

BUTZKE, A.; PONTALTI, S. **Os recursos naturais e o homem: o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado frente à responsabilidade solidária**. Caxias do Sul: EducS, 2012. Disponível em: <[https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/recursos\\_naturais\\_homem\\_EDUCS\\_ebook.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/recursos_naturais_homem_EDUCS_ebook.pdf)> Acesso em 20 de março de 2021.

CAI, Y. *et al.* Sustainable urban water resources management considering life-cycle environmental impacts of water utilization under uncertainty. **Resources, Conservation and Recycling**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.008>> Acesso em 19 de fevereiro de 2021.

CAMPOS, C. R. *et al.* **Educação estatística: teoria e prática em ambientes de modelagem matemática**. São Paulo: Autêntica, 2011.

CAPELLARI, A.; CAPELLARI, M. B. A água como bem jurídico, econômico e social. **Cidades**, 2018. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/cidades/657>> Acesso em 25 de janeiro de 2021.

CAUCHICK-MIGUEL, P. A. *et al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018.

CAVAZZINI, G. *et al.* Optimal assets management of a water distribution network for leakage minimization based on an innovative index. **Sustainable Cities and Society**. Padova, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101890> Acesso em 25 de janeiro de 2022.

CHEN, Y.; HAN, D. Water quality monitoring in *smart* city: A pilot project. **Automation in Construction**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>> Acesso em 10 de maio de 2021.

CMMI-SVC. **CMMI for Services, Version 1.3: Improving processes for providing better services**. Pittsburg: Software Engineering Institute, 2010. Disponível em: <[https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalReport/2010\\_005\\_001\\_15290.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalReport/2010_005_001_15290.pdf)> Acesso em 12 de julho de 2021.

CONEJOS, M. P. *et al.* A Water Distribution System Model to Simulate Critical Scenarios by Considering Both Leakage and Pressure Dependent Demands. **Procedia Engineering**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.234>> Acesso em 8 de abril de 2021.

CONEJOS, P. *et al.* Building and Exploiting a Digital Twin for the Management of Drinking Water Distribution Networks. **Urban Water Journal**: 2020. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2020.1771382>> Acesso em 6 de maio de 2021.

CORRAL-PLAZA, D. *et al.* A stream processing architecture for heterogeneous data sources in the Internet of Things. **Computer Standards & Interfaces**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103426>> Acesso em 3 de maio de 2021.

CORTEZ, A. T. C. **Consumo e desperdício: as duas faces da desigualdade**. São Paulo: Editora Unesp, 2009. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/n9brm/pdf/ortigoza-9788579830075-03.pdf>> Acesso em 18 de abril de 2021.

CUNHA, C. E. R. da. **Telegestão de uma rede de abastecimento de água e drenagem de águas residuais**. Porto: Universidade do Porto, 2007. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12780/2/Texto%20integral.pdf>> Acesso em 09 de setembro de 2021.

DEMO, P. **Conhecimento moderno: sobre ética e intervenção do conhecimento**. 3ª Edição. Petrópolis: Vozes, 1997.

DEMO, P. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. São Paulo, Editora Atlas, 1995.

DENKENA, B. *et al.* Special issue on system-integrated intelligence. New challenges for product and production engineering. **Mechatronics**: Oxford, 2016. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0957-4158\(16\)30004-6](https://doi.org/10.1016/S0957-4158(16)30004-6)> Acesso em 03 de maio de 2021.

DESCARTES, R. **Discurso do método - Regras para direção do espírito**. São Paulo: Martin Claret, 2008.

DOWBOR, L. **Economia de Água**. São Paulo: Editora Senac, 2015. Disponível em: <<http://dowbor.org/blog/wp-content/uploads/2015/01/15-Economia-da-água-2.doc>> Acesso em 15 de março de 2021.

DZIEMIAN, C.; SCHOPPERT, P. Advancing Quality Credentials: Staying Aligned with Changing Business Demands: Realizing Momentum through the Combine Use of CMMI-DEV and CMMI-SVC. Virginia: **Citizant**, 2011. Disponível em: <<https://citizant.com/wp-content/uploads/2016/12/business-value-of-multimodel-CMMI-appraisals.pdf>> Acesso em 16 de maio de 2021.

EL-ZAHAB, S.; ZAYED, T. Leak detection in water distribution networks: an introductory overview. **Smart Water**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40713-019-0017-x>> Acesso em 20 de maio de 2021.

EUROPEAN UNION. **EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WE PoM: Main Report**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2015. Disponível em: <<https://op.europa.eu/s/ySEy>> Acesso em 6 de maio de 2021.

FALLIS, P., *et al.* **Guidelines for water loss reduction - A focus on pressure management**. Disponível em: <<https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2011-en-guideline-water-loss-reduction.pdf>> Acesso em 18 de março de 2021



FAVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2017.

FERRAÇO, A. A. G.; MORAES, G. G. B. L. A abordagem científica-instrumental do nexus water-food-energy como método para a construção de uma política ambiental na gestão dos recursos hídricos. Dourados: **Revista Videre**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.30612/videre.v10i19.7007>> Acesso em 23 de março de 2021.

FOX, S. *et al.* **Traditional leakage models for leakage modelling: effective or not?** 13th Computer Control for Water Industry Conference, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.850>> Acesso em 26 de julho de 2021.

GARCÍA-ÁVILA, F. *et al.* Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city. **Alexandria Engineering Journal**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.11.003>> Acesso em 02 de julho de 2021.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2008

GÖKALP, M.O., *et al.* The development of the Data Science capability maturity model: a survey-based research, **Online Information Review**, 2021. Disponível em: <<<https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1108/OIR-10-2020-0469>>> Acesso em 4 de abril de 2022.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE.BR**, 2004. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1679-39512004000300002>> Acesso em 23 de março de 2021.

GONÇALVES, A. A. *et al.* A redução de perdas através do controle de pressões no abastecimento de água do município de Canoas: Estudo de caso em uma empresa de saneamento. **Revista Ciência e Conhecimento**: São Jerônimo, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4127.6403>> Acesso em 26 de julho de 2021.

GOODE, W. J.; HATT, P. K. **Métodos em pesquisa social**. São Paulo: Editora Nacional, 1972

GUMIER, C. C. **Aplicação de Modelo Matemático de Simulação- Otimização na Gestão de Perda de Água em Sistemas de Abastecimento**. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258175>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

GUMIER, C. C.; LUVIZZOTTO JÚNIOR, E. Leakage Management with Computational Model in Water Supply System. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000100005>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

HABERMAS, J. **Teoria y praxis - Estudios de Filosofía Social**. Editorial Tecnos, Madrid, 1987.

HAIDER, M. **Getting Started with Data Science**. IBM Press: Indianapolis , 2015.

HARVEY, D. **A Justiça Social e a Cidade**. São Paulo: Hucitec, 1980.

HARVEY. **Condição pós-moderna**. São Paulo: Loyola, 2008.

HOLLENBACH, C. R. *et al.* **CMMI for Services: Re-introducing the CMMI for Services Constellation**. **CMMI Technology Conference and User Group**, 2007. Disponível em:

<<https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2007/CMMI/Thursday/7amHollenbach.pdf>> Acesso em 12 de julho de 2021.

HU, X. *et al.* Novel leakage detection and water loss management of urban water supply network using multiscale neural networks. **Journal of Cleaner Production**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123611>> Acesso em 20 de maio de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas econômicas ambientais da água : Brasil : 2013 - 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101710\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101710_informativo.pdf)> Acesso em 03 de março de 2021.

IORIS, A. A. **Passado e presente dos recursos hídricos no Brasil**. Finisterra, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.18055/Finis1451>> Acesso em 14 de março de 2021.

JENSEN, T. N. *et al.* Residual generation for leakage signatures in water supply networks with multiple inlets. **IFAC-PapersOnLine**: 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.654>> Acesso em 29 de agosto de 2021.

KANG, J. Novel Leakage Detection by Ensemble CNN-SVM and Graph-Based Localization in Water Distributions Systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2764861>> Acesso em 23 de agosto de 2021.

KANT, I. **Crítica da razão pura**. São Paulo: Martin Claret, 2009.

KIPLING, R. **O livro da selva**. Porto Alegre: L&PM, 2016.

KNAFLIC, C. N. **Storytelling com Dados - um guia sobre visualização de dados para profissionais de negócios**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

KNAPCZYK, A. *et al.* Robust optimization in production engineering - methods and application. **XXII International Scientific Conference POLSITA 2019** "Progress of mechanical engineering supported by information technology": Poland, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913201007>> Acesso em 3 de maio de 2021.

KOOP, S. H. A.; LEEUWEN, C. J van. Assessment of the Sustainability of Water Resources Management: A Critical Review of the City Blueprint Approach. **Water Resource Manage**, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11269-015-1139-z>> Acesso em 01 de março de 2021.

KOSIERADZKA, A. Maturity Model for Production Management. **Procedia Engineering**: 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.109>> Acesso em 10 de janeiro de 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamento da metodologia científica**. 4., ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LEE, C. S. *et al.* Ontology-based intelligent decision support agent for *CMMI* project monitoring and control. **International Journal of Approximate Reasoning**: 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijar.2007.06.007>> Acesso em 14 de fevereiro de 2022.

LEEUWEN, C. J van. *et al.* The challenges of water governance in Ho Chi Minh City. **Integrated Environmental Assessment and Management**, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/ieam.1664>> Acesso em 10 de outubro de 2021.

LEI, Y. *et al.* Application of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. **Mechanical Systems and Signal Processing**: 2020. Disponível em: <<https://doi-org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ymsp.2019.106587>> Acesso em 03 de março de 2022.

LI, J. *et al.* Research on VMD based adaptive denoising method applied to water supply pipeline leakage location. **Measurement**, 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107153>> Acesso em 12 fevereiro de 2022.

LI, J. *et al.* Application of an improved variational mode decomposition algorithm in leakage location detection of water supply pipeline. **Measurement**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108587>> Acesso em 14 de fevereiro de 2022.

LI, Z. *et al.* Compressive-sensing based super-resolution detection for leakage and uniform blockage in water pipelines. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.107686>> Acesso em 02 de setembro de 2021.

LIZARRAGA-RAYGOZA, A. *et al.* Steady state algorithm for leak diagnosis in water pipeline systems. **IFAC PapersOnLine**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.312>> Acesso em 23 de agosto de 2021.

LOCK, R. H. *et al.* **Estatística: revelando o poder dos dados**. Rio de Janeiro : LTC, 2017.

MACEDO, E. F.; PUSCH, J. B. **Código de Ética Profissional – Comentado - Engenharia – Arquitetura – Agronomia – Geologia – Geografia – Meteorologia.** CONFEA/CREA, 2003.

MARCUSE, H. **One-Dimension Man: Studies in the Ideology Industrial Society.** Boston: Beacon Press, 1966.

MARMIER, F. *et al.* Towards a proactive vision of the training for the 4.0 Industry: From the required skills diagnostic to the training of employees. **IFAC-PapersOnLine**: 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.135>> Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

MARX, K. **O capital: Crítica da economia política.** Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1968.

MATURANA, H. **Cognição, Ciência e Vida Cotidiana.** Editora UFMG, Belo Horizonte, 2001.

MOMM, S. *et al.* Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo. Santiago: **EURE**, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7764/eure.47.140.10>> Acesso em 25 de novembro de 2021.

MOORE, D. S. *et al.* **A estatística básica e sua prática.** Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MORGADO, G. P. *et al.* Práticas do *CMMI* como regras de negócio. Rio de Janeiro, **UFRJ**, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132007000200013>> Acesso em 5 de junho de 2021.

MORIN, E. **Ciência com Consciência.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

NASIRIAN, A. *et al.* Leakage Detection in Water Distribution Network Based on a New Heuristic Genetic Algorithm Model. **Journal of Water Resource and Protection**, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2013.53030>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

NEEB-BRUCKNER, B. **Implementing “CMMI for Services” in the tourism industry: CMMI – a facilitator for sustainable tourism services?** Eberswalde, 2009. Disponível em: <[http://www.hnee.de/\\_obj/1D2C2519-CEEB-47A4-8909-21497A0B0496/outline/MasterThesis\\_NeebBruckner-final-Summary.pdf](http://www.hnee.de/_obj/1D2C2519-CEEB-47A4-8909-21497A0B0496/outline/MasterThesis_NeebBruckner-final-Summary.pdf)> Acesso em 27 de setembro de 2021.

NIE, X. *et al.* Big Data *Analytics* and IoT Operation safety management in Under Water Management. **Computer Communications**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.052>> Acesso em 5 de maio de 2021.

OLIVEIRA, G. *et al.* **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica.** São Paulo: GO Associados, 2015. Disponível em: <<http://tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/perdas-de-agua/Relatorio-Perdas-2013.pdf>> Acesso em 04 de maio de 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **The future we want. Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development.** Rio de Janeiro: 2012. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf>> Acesso em 06 de fevereiro de 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Water Development Report 2018. Nature-based Solutions for Water.** Paris: 2018. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf>> Acesso em 08 de fevereiro de 2021.

PANE, E. S.; SARNO, R. Capability Maturity Model Integration (CMMI) for Optimizing Object-Oriented Analysis and Design (OOAD). **Procedia Computer Science**: 2015. Disponível em: << <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.103> >> Acesso em 12 de fevereiro de 2022.

PATÓN-ROMERO, J. D. *et al.* Maturity model based on CMMI for governance and management of Green IT. **IET Software**: 2019. Disponível em: <<https://doi.org.ez48.periodicos.capes.gov.br/10.1049/iet-sen.2018.5351>> Acesso em 19 de maio de 2022.

PEREIRA, L. S. *et al.* Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management. **Sustainable Cities and Society**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102308>> Acesso em 12 de fevereiro de 2022.

PESANTEZ, J. E. *et al.* Smart meters data for modeling and forecasting water demand at the user-level. **Environmental Modelling and Software**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104633>> Acesso em 9 de maio de 2021.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise.** Porto Alegre, ArtMed, 2016.

PLUTYNSKI, A. **Should intelligent design be taught in public school science classrooms?** Science & Education, Dordrecht, Aug. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11191-008-9169-z>>. Acesso em 06 de setembro de 2009

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica.** São Paulo, Cultrix, 1972.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações.** Brasília, Editora UNB, 1982

POULAKIS, Z. *et al.* Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework. **Probabilistic Engineering Mechanics**, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0266-8920\(03\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0266-8920(03)00045-6)> Acesso em 12 de agosto de 2021.

POURIKAS, K.; FITSILIS, P. Applying Capability Model for Maintenance Services: A Case Study. Katerini, **1<sup>st</sup> Olympus International Conference on Supply Chains**, 2010. Disponível em:

<<https://pdfs.semanticscholar.org/bada/a862ab0312fd272daddd2b1f7197b8d37fcb.pdf>> Acesso em 02 de setembro de 2021.

PROENÇA, D.; BORBINHA, J. Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. **Procedia Computer Science**: 2016. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>> Acesso em 8 de janeiro de 2022.

PUUST, R. *et al.* Probabilistic leak detection in pipe networks using the SCEM-UA algorithm. **8<sup>th</sup> Annual Water Distribution Systems Analysis**, 2006. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40941%28247%2915>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

QUINTELLA, H. L. M. M.; ROCHA, H. M. Avaliação da Maturidade do Processo de Desenvolvimento de Veículos Automotivos. **Gestão e Produção**, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v13n2/31175.pdf>> Acesso em 08 de abril de 2018.

QUIVY, R., CAMPENHOUDT, L. **Manual de investigação em ciências sociais**. Lisboa: Gradiva, 2005.

RAMOS, H. M. *et al.* Smart Water Management towards Future Water Sustainable Networks. **Water**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w12010058>> Acesso em 11 de maio de 2021.

RENDER, B. *et al.* **Análise quantitativa para a administração**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ROHDEN, H. **Educação do homem integral**. São Paulo: Martin Claret, 2005.

RORTY, Richard. **Filosofia e espelho da natureza**. Trad. Antônio Trânsito. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1994

SALVENDY, G. **Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management**, 3rd Edition, John Willey & Sons, New York, 2001

SANTELLLO, F. L. P. **Direito tributário ambiental: recursos hídricos e tributação**. São Paulo: Manole, 2017.

SANTOS, A. C. *et al.* Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras. **Revista DAE**: São Carlos, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.36659/dae.2020.060>> Acesso em 28 de fevereiro de 2021.

SANTOS, B. S. **Para além do Pensamento Abissal: Das linhas globais a uma ecologia de saberes**, in Santos, Boaventura de Sousa e Meneses, Maria Paula (Orgs.), *Epistemologias do Sul*. Coimbra: Editora Almedina, 2007.

SANTOS, O. O. **Metodologia de Diagnóstico e Análise de Desempenho de Processos (MDADP) : Estudo de Caso Sobre o Processo de Atendimento de Serviços de TI**. Disponível em: <[https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22961/1/2016\\_OrlandoOliveiradosSantos.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22961/1/2016_OrlandoOliveiradosSantos.pdf)> Acesso em 03 de outubro de 2021.

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. **GEO Brasil 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: Edições IBAMA, 2002. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site\\_cnia/geo\\_brasil\\_2002.pdf](https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf)> Acesso em 13 de março de 2021.

SCHLEICH, B. *et al.* Shaping the digital twin for design and production engineering. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.040>> Acesso em 16 de abril de 2021.

SCHWALLER, J.; van ZYL, J. E. Modeling the Pressure-Leakage Response of Water Distribution Systems Based on Individual Leak Behavior. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2015. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0000984>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

SELEK, B. *et al.* Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey. **Turkish Journal of Water Science and Management**, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.31807/tjwsm.354298>> Acesso em 23 de agosto de 2021.

SHUBO, T. **Sustentabilidade do abastecimento e da qualidade da água potável urbana**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2003. Disponível em: <<https://teses.icict.fiocruz.br/pdf/shubotcm.pdf>> Acesso em 13 de março de 2021.

SHUKLA, H.; PIRATLA, K. Leakage in water pipelines using supervised classification of acceleration signals. **Automation in Construction**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103256>> Acesso em 12 de maio de 2021.

SILVA, A. C. *et al.* Governança da água no Brasil: Uma contribuição bibliométrica. **Holos**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2016.4814>> Acesso em 08 de abril de 2021.

SILVA, B. *et al.* **Controle de Perdas de Água em Sistemas de Distribuição**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=5067](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=5067)> Acesso em 22 de maio de 2021.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação**. Disponível em: <<http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppqcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf>> Acesso em 10 de setembro de 2021.

SILVEIRA, J. H. P. **Sustentabilidade e Responsabilidade Social – Vol. VII**. Belo Horizonte: Poisson, 2017. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4138424/mod\\_resource/content/1/Livro%20Poisson%20Sustentabilidade%20vol7.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4138424/mod_resource/content/1/Livro%20Poisson%20Sustentabilidade%20vol7.pdf)> Acesso em 22 de março de 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Diagnóstico anual de água e esgoto 2021 (ano de referência 2020)**. 2021. Disponível em:

<[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/Planilhas\\_AE2020.zip](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/Planilhas_AE2020.zip)>  
Acesso em 08 de janeiro de 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2019**. Disponível em:  
<[http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Planilhas\\_AE2019.zip](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Planilhas_AE2019.zip)>  
Acesso em 06 de janeiro de 2022.

SOBREIRA, M. G. A.; FORTES, A. C. C. Utilizando dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Um panorama dos índices de perdas na distribuição. Campina Grande: **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2016. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-038.pdf>> Acesso em 24 de março de 2021.

SRIVASTAVA, M. *et al.* Machine learning Roadmap for Perovskite Photovoltaics. **The Journal of Physical Chemistry Letters**: 2021. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.1c01961>> Acesso em 10 de março de 2022.

SUSHIL . **Managing Flexibility: People, Process, Technology and Business**. New Delhi: Springer, 2016.

THÉRY, H.; MELLO-THÉRY, N. A. Cartografias, imagens e outras expressões gráficas: O contexto da crise hídrica. São Paulo: **GEOUSP**, 2015. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2015.107568>> Acesso em 04 de abril de 2021.

THORNTON, J. *et al.* **Water Loss Control: 2nd Ed.** New York: McGraw Hill, 2002.

TROJAN, F. **Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Especializado Integrando-o aos Processos de Gestão de uma Empresa de Abastecimento Público de Água Visando a Redução de Perdas do Produto**, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3501>> Acesso em 15 de agosto de 2021.

TROJAN, F. **Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas**. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18960>> Acesso em 13 de setembro de 2021.

TROJAN, F.; KOVALESKI, J. L. Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho. In: XII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 2005. **Anais SIMPED**, 2005. Disponível em:  
<[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_12/copiar.php?arquivo=Trojan\\_F\\_Automação%20no%20abasteci.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Trojan_F_Automação%20no%20abasteci.pdf)> Acesso em: 20 de maio de 2021.

TROJAN, F; MORAIS, D. C. . **Multicriteria Decision Analysis Applied To Water Supply Network**. In: Patrícia Guarnieri. (Org.). *Decision Models in Engineering and Management*. Suíça: Springer International Publishing Switzerland, 2015



TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”**. Disponível em <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/cenarios-da-gestao-da-agua-no-brasil-1.pdf>> Acesso em 23 de março de 2021.

TURRIONI J.B.; MELLO C.H. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI. 2012.

VOLYNETS, I. Business Process Flexibility of the Ukrainian Forest Sector: Management, Assessment and Strategic Directions of Changes. **Economic Journal of Lesya Ukrainka Eastern European National University**: 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.29038/2411-4014-2020-03-67-76>> Acesso em 19 de maio de 2022.

VRACHIMIS, S. G. *et al.* Leakage detection and localization in water distribution systems: A model invalidation approach. **Control Engineering Practice**, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104755>> Acesso em 15 de fevereiro de 2022.

WARNECKE, H-J *et al.* **The factory of the Future: New Structures and Methods to Enable Transformable Production**. In: SALVENDY, G (org). Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management, 3rd Edition, John Willey & Sons, New York, 2001

WINKOWSKI, C. Classification of forecasting methods in production engineering. **SCIENDO**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.2478/emj-2019-0030>> Acesso em 25 de abril de 2021.

XU, Q. *et al.* Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. **Journal of Environmental Sciences**, 2014. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60569-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60569-0)> Acesso em 26 de julho de 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman.2001.

ZAMAN, D. *et al.* A review of leakage detection strategies for pressurized pipeline in steady-state. **Engineering Failure Analysis**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104264>> Acesso em 25 de julho de 2021.

ZETLAND, D. **Convivendo com a escassez de água doce**. KYSQ PRESS: 2018, Amsterdam. Disponível em: <[http://www.kysq.org/lwvs/Convivendo\\_0.8.pdf](http://www.kysq.org/lwvs/Convivendo_0.8.pdf)> Acesso em 20 de março de 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Sweating the assets - The role of instrumentation, control and automation in urban water systems. **Water Research**: 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.034>> Acesso em 6 de maio de 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Multi-model based pressure optimization for large-scale water distribution networks. **Control Engineering Practice**: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.104232>> Acesso em 17 de maio de 2021.

ZYL, J. E van. Theoretical modeling of pressure and leakage in water distribution systems. **16<sup>th</sup> Conference on Water Distribution System Analysis**, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.187>> Acesso em 26 de julho de 2021.