



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Michel Felipe Santos

**PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS REAIS
EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA, UTILIZANDO OS MÉTODOS
UNICRITÉRIO E MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE RISCOS E
MAPEAMENTO EM GIS**

FLORIANÓPOLIS

2021

Michel Felipe Santos

**PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS REAIS
EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA, UTILIZANDO OS MÉTODOS
UNICRITÉRIO E MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE RISCOS E
MAPEAMENTO EM GIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Michel Felipe
PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS
REAIS EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA, UTILIZANDO OS
MÉTODOS UNICRITÉRIO E MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE RISCOS
E MAPEAMENTO EM GIS / Michel Felipe Santos ; orientador,
Ramon Lucas Dalsasso , 2021.
119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Perdas reais. 3. Processo
analítico hierárquico . 4. Localização de vazamentos em
redes de distribuição de água. I. , Ramon Lucas Dalsasso.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Michel Felipe Santos

Priorização de áreas para controle e redução de perdas reais em uma rede de distribuição de água, utilizando os métodos unicritério e multicritério para definição de riscos e mapeamento em GIS

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Marcus Bruno Domingues Soares
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** da dissertação de mestrado que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Prof. Dr. Leonardo Hoinaski
Coordenador do Programa

Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso
Orientador

Florianópolis, 02 de setembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela perfeita natureza que nos presenteia.

Agradeço a meus pais e irmãs pelo apoio e amor incondicional.

Agradeço a minha esposa pelo suporte, incentivo, apoio, carinho, amor e paciência.

Agradeço em especial a minha irmã, Dra. Patrícia Santos, pelos conselhos, revisões e orientações gerais sobre o método científico.

Agradeço ao meu orientador pelo direcionamento objetivo e eficiente e pelos ensinamentos repassados.

Agradeço ao diretor técnico do SAMAE de Jaraguá do Sul pela sugestão, articulação e incentivo para desenvolver o tema desta dissertação.

Agradeço ao Serviço Autônomo Municipal de Águas e Esgotos de Jaraguá do Sul por disponibilizar os dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho e aos profissionais do SAMAE que prontamente se disponibilizaram a contribuírem com suas opiniões e experiências em relação aos critérios avaliados nesse trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC por fazer da pesquisa e da ciência a inspiração de muitos alunos e professores e pela oportunidade de ter convivido e aprendido muito com os professores e alunos do programa.

Agradeço a UFSC por proporcionar à sociedade um ensino de excelência em um país com tantas deficiências.

RESUMO

O combate às perdas reais de água nas redes de distribuição é um desafio em países em desenvolvimento, tanto do ponto de vista da precariedade das infraestruturas e da falta de profissionais capacitados, quanto pela inexistência de metodologias para auxiliar os tomadores de decisão nas escolhas das áreas que merecem prioridade para intervenções, sejam elas por meio de pesquisas ativas de vazamentos não visíveis, por projetos de controle de pressão, por investimentos em reabilitação de redes ou por programas de melhoria de qualidade de materiais e serviços. Nas redes de distribuição de água são diversos os critérios que interagem para influenciar no índice de perdas reais, como: a qualidade dos materiais e dos serviços de instalação da rede, as frequências de manutenções preventivas nos sistemas de controle de pressão, a qualidade e uso de sistemas de monitoramento, dentre outros. Com essas características, torna-se um típico ambiente complexo com grande quantidade de variáveis interagindo e impactando sobre o problema com pesos e relevâncias distintas. Nesses tipos de ambientes de múltiplas variáveis, a análise de decisão Multicritério pelo método de análise hierárquica de processos (AHP) tem se mostrado uma ferramenta promissora que permite a integração e mensuração de relevância pareada dos critérios disponíveis em processos de avaliação de alternativas em diversas áreas de atuação. O objetivo deste estudo é comparar os resultados dos cálculos dos riscos de vazamentos pelo método multicritério AHP com os resultados de riscos de vazamentos calculados pelo método unicritério Fixed and Variable Area Discharge (FAVAD) com o propósito de verificar se a análise multicritério leva a obtenção de resultados diferentes e mais assertivos na priorização de áreas para controle de perdas reais comparada à análise unicritério. Para tanto, foi realizado o estudo aplicado em quatro regiões de abastecimento da rede de distribuição de água do SAMAE de Jaraguá do Sul, as quais somadas representam cerca de 30% das ligações totais do Sistema de Abastecimento de Água. No estudo foram avaliados seis critérios quantitativos e qualitativos com foco em desenvolver a metodologia AHP para determinar as regiões com maiores riscos de apresentarem vazamentos. Os resultados do método AHP foram comparados com os resultados da avaliação de priorização de área pelo método FAVAD, sendo que ambos os métodos tiveram suas assertividades aferidas tendo como linha de base os registros de vazamentos visíveis georreferenciados ocorridos no ano de 2019. O método Multicritério apresentou uma correlação mais forte com as ocorrências de vazamentos do que o método Unicritério, o que evidenciou que o método Multicritério apresentou maior assertividade. Por fim, foram gerados mapas das quatro regiões estudadas com a indicação das regiões mais susceptíveis aos vazamentos.

Palavras-chave: perdas reais, processo analítico hierárquico, localização de vazamentos em redes de distribuição de água.

ABSTRACT

Combating real water losses in distribution networks is a challenge in developing countries, both from the point of view of the precariousness of infrastructure and the lack of trained professionals, as well as the lack of methodologies to assist decision makers in the choice of areas that deserve priority for interventions, whether through active research into non-visible leaks, through projects of pressure control, through investments in the rehabilitation of networks or through programs to improve the quality of materials and services. In water distribution networks, there are several criteria that interact to influence the rate of actual losses, such as: the quality of materials and network installation services, the frequencies of preventive maintenance in pressure control systems, the quality and use monitoring systems, among others. With this feature, it becomes a typical complex environment with a large number of variables interacting and impacting the problem with different weights and relevance. In these types of multivariable environments, the multicriteria decision analysis by the hierarchical process analysis (AHP) method has been shown to be a promising tool which allows for the integration and measurement of the matched relevance of the criteria available in alternative assessment processes in various areas of activity. The aim of this study is to compare the results of leakage risk calculations by the AHP multicriteria method with the results of leakage risks calculated by the Fixed and Variable Area Discharge (FAVAD) unicriteria method in order to verify whether the multicriteria analysis leads to obtaining different and more assertive results in prioritizing areas to control real losses compared to the unicriteria analysis. For that, the study was carried out applied in four supply regions of the water distribution network of the Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) of Jaraguá do Sul, which together represent about 30% of the total connections of the water supply system (SAA). In the study, six quantitative and qualitative criteria were evaluated with a focus on developing the AHP methodology to determine the regions with the highest risk of leaking. The results of the AHP method were compared with the results of the evaluation of area prioritization by the FAVAD method, and both methods had their assertiveness measured based on the georeferenced visible leak records that occurred in 2019. The Multicriteria method showed a stronger correlation with the occurrence of leaks than the Unicriteria method, which showed that the Multicriteria method

showed greater assertiveness. Finally, maps of the four regions studied were generated, indicating the regions most susceptible to leaks.

Keywords: real losses, hierarchical analytical process, leakage location in water distribution networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água com captação superficial e subterrânea.....	27
Figura 2 - Representação de um reservatório de montante	30
Figura 3 - Representação de um reservatório de jusante	30
Figura 4 – Zonas de pressão de um sistema de abastecimento de água	32
Figura 5 - Tipos de hidrômetros, velocimétrico (A), volumétrico (B) e eletromagnético (C) .	33
Figura 6 - Esquema de instalação de um ramal de ligação mostrando partes do ramal e rede primária e secundária.....	35
Figura 7- Tipos de Tê de serviço e colar de tomada usados no SAMAEJS	35
Figura 8 - Principais falhas em tubos e componentes da rede de distribuição	36
Figura 9 - Balanço hídrico anual de água padrão IWA	40
Figura 10 - Estratégias de controle e redução de perdas aparentes	43
Figura 11 - Classificação dos vazamentos e suas características	44
Figura 12 - Estratégias de controle e redução de perdas reais.....	45
Figura 13 - Gráfico do rateio de perdas reais, adaptado conforme dados da experiência Sanasa,	46
Figura 14 - Matriz de avaliação de perdas reais do Banco Mundial.	49
Figura 15 - Localização da cidade de Jaraguá do Sul.....	59
Figura 16- Fluxograma da metodologia com o ordenamento dos estudos investigativos de acordo com os objetivos do trabalho	60
Figura 17 - Polígonos de influência dos reservatórios principais do SAA do SAMAEJS em 2020	73
Figura 18 - Polígono de influência das áreas de estudo selecionadas para representar o SAA em 2019	74
Figura 19 - Os seis critérios avaliados no método multicritério AHP organizados por grupos de causas.....	75
Figura 20 -Gráfico de distribuição das ligações por pressão estática com classificação escalar	78
Figura 21 - Gráfico da distribuição das ligações por faixa de pressão escalares.....	78
Figura 22 - Gráfico de correlação entre faixa de pressão escalar e a incidência de vazamentos visíveis em 2019	78
Figura 23 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por faixa escalar e a recorrência por ramal no ano	79

Figura 24 - Gráfico de distribuição das ligações por faixa de pressão ordenada e categorias não escalares	80
Figura 25 - Gráfico da distribuição das ligações por faixa de pressão ordenada.....	80
Figura 26 - Gráfico de correlação entre faixa de pressão ordenada e a incidência de vazamentos visíveis em 2019.....	80
Figura 27 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por faixa ordenada e a recorrência por ramal no ano.....	80
Figura 28 - Gráfico de correlação entre o grupo de risco Unicritério e a incidência de vazamentos visíveis em 2019.....	95
Figura 29 - Gráfico Box plot com a distribuição da pressão por grupo de risco Unicritério...	96
Figura 30 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por Grupo de risco Unicritério, subdividido em grupos de recorrência por ramal no ano de 2019	96
Figura 31 - Gráfico de correlação entre os grupos de risco Multicritério e a incidência de vazamentos visíveis em 2019.....	99
Figura 32 - Gráfico Box plot com a distribuição da pressão por grupo de risco Multicritério	99
Figura 33 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por Grupo de risco Unicritério, subdividido em grupos de recorrência por ramal no ano de 2019	99
Figura 34 - Sobreposição do gráfico boxplot com a incidência de vazamentos para os métodos Unicritério e Multicritério	102
Figura 35 - Mapas de calor com incidência de vazamentos observado e calculado no R1 e R3	104
Figura 36 - Mapas de calor com incidência de vazamentos observado e calculado no Molha e Santa Luzia.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de rateios de perdas em alguns países Europeus e Jaraguá do Sul, adaptado de ABES (2015)	41
Tabela 2 - Descrição dos testes de hipóteses e da regra de decisão para cada situação avaliada	65
Tabela 3 - Escala de importância pareada dos critérios.....	67
Tabela 4 - Índice de consistência aleatória, Saaty (1980) apud SOUZA (2017).....	67
Tabela 5 - Percentual da aplicação do peso global de acordo com a posição alternativa dos critérios	69
Tabela 6- Matriz Unificada, campos adicionais à matriz de dados básicos	70
Tabela 7 - Variabilidade e representatividade da amostra.....	74
Tabela 8 - Estrutura da Matriz de dados básicos	76
Tabela 9 - Critérios avaliados e suas respectivas classificações estatísticas	76
Tabela 10 - Posições possíveis para cada um dos seis critérios	77
Tabela 11 - Análise descritiva da pressão estática com classificação escalar, não paramétrica	78
Tabela 12 - Análise descritiva da pressão estática com classificação ordenada em quintis.....	79
Tabela 13 - Resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (K-S) pela faixa de pressão estática ordenada.....	81
Tabela 14 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pela faixa de pressão estática ordenada.....	81
Tabela 15 - Análise descritiva pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster	82
Tabela 16 - Resultados do teste de normalidade K-S pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster	83
Tabela 17 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster	83
Tabela 18 - Análise descritiva pelo tipo de ramal de ligação	84
Tabela 19 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo tipo de ramal de ligação.....	85
Tabela 20 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pelo tipo de ramal de ligação ..	85
Tabela 21 - Análise descritiva pelo material da rede secundária	86
Tabela 22 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo tipo de material da rede	87
Tabela 23 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelo tipo de material da rede ...	87
Tabela 24 - Análise descritiva pelo local da rede secundária.....	88

Tabela 25 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo local da rede secundária	89
Tabela 26 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pelo local da rede secundária..	89
Tabela 27 - Análise descritiva pela existência de DMC	90
Tabela 28 - Resultados do teste de normalidade K-S pela existência de DMC.....	90
Tabela 29 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pela existência de DMC	91
Tabela 30 - Variação da incidência de vazamentos entre a melhor e a pior posição para cada critério independente.....	92
Tabela 31 - Definição do impacto da variação da pressão sobre o risco de vazamentos.....	93
Tabela 32 - Resultado do valor médio de importância na comparação pareada dos critérios feita por cinco especialistas.....	93
Tabela 33 - Resultado da aplicação do método AHP com o peso global de cada critério.....	94
Tabela 34 - Análise descritiva da relação entre os grupos de risco Unicritério e os vazamentos visíveis em 2019.....	95
Tabela 35 - Resultados do teste de normalidade K-S pelos grupos de risco Unicritério	96
Tabela 36 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelos grupos de risco Unicritério	97
Tabela 37 - Análise descritiva da relação entre os grupos de risco Multicritério e os vazamentos visíveis em 2019.....	99
Tabela 38 - Resultados do teste de normalidade K-S pelos grupos de risco Multicritério	100
Tabela 39 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelos grupos de risco Multicritério	100
Tabela 40 - Tabelas com os resultados dos testes de Kruskal-Wallis para Unicritério e Multicritério	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Significado
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADMC	Análise de Decisão Multicritério
AHP	Processo Analítico Hierárquico
DMC	Distrito de Medição e Controle
EEA	Estação de Elevatória de Água
EEAB	Estação de Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação de Elevatória de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAVAD	Fixed and Variable Area Discharge
FOFO	Ferro fundido
FP	Fator de Pesquisa
GIS	Sistema de Informações Geográficas
IPA	Índice de Perdas Aparentes
IVI	Índice de Vazamentos da Infraestrutura
IWA	International Water Association
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
OS	Ordem de Serviço cadastrada no sistema de gestão do SAMAE JS
PE	Pressão Estática
PEAD	Polietileno de alta densidade
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PRFV	Fibra de vidro
PVC	Cloreto de Polivinila
Qméd	Vazão Média de consumo de uma região
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAMAEJS	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Jaraguá do Sul
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TI	Tecnologia de Informação
VMN	Vazão Mínima Noturna
VRP	Válvula Redutora de Pressão
ZP	Zona de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	JUSTIFICATIVA.....	23
2	OBJETIVOS	25
2.1	OBJETIVOS GERAIS	25
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2.3	HIPÓTESE.....	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	27
3.1.1	Características gerais	27
3.1.2	Adutoras	27
3.1.3	Sistemas de bombeamento e Booster's	28
3.1.4	Válvulas redutoras de pressão	29
3.1.5	Reservatórios.....	30
3.1.6	Macromedição.....	31
3.2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO	31
3.2.1	Rede primária e secundária	32
3.2.2	Zonas de pressão	32
3.2.3	Micromedição.....	33
3.2.4	Setorização da rede.....	34
3.2.5	Acessórios de controle e proteção.....	34
3.2.6	Ramal de ligação	34
3.2.7	Materiais utilizados nas redes e principais tipos de falhas	36
3.2.8	Cadastro.....	38
3.3	CONTROLE DE PERDAS.....	38
3.3.1	Aspectos gerais	38
3.3.2	Balanco hídrico	39

3.3.3	Rateio de perdas	41
3.3.4	Perdas aparentes	42
3.4	PERDAS REAIS	43
3.4.1	Relação entre pressão e vazão de vazamentos	46
3.4.2	Distribuição da frequência de vazamentos	46
3.4.3	Distritos de Medição e Controle – DMC	47
3.4.4	Indicador de vazamentos de infraestrutura (IVI).....	48
3.4.5	Vazamentos não visíveis e métodos de detecção	49
3.5	MÉTODO FAVAD	50
3.6	MÉTODO AHP	50
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	52
3.7.1	Planos amostrais.....	53
3.7.2	Análise Descritiva.....	54
3.7.3	Testes de Normalidade.....	54
3.7.4	Testes de Tendência	55
3.8	MAPEAMENTO EM GIS.....	57
4	METODOLOGIA	59
4.1	TAMANHO DA AMOSTRA E ERRO ESTATÍSTICO	61
4.2	COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS CADASTRAIS, COMERCIAIS E OPERACIONAIS	61
4.2.1	Dados cadastrais.....	62
4.2.2	Dados comerciais.....	62
4.2.3	Dados operacionais.....	62
4.3	AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS BÁSICOS E DOS RESULTADOS	63
4.3.1	Análise Descritiva.....	63
4.3.2	Testes de Normalidade.....	64
4.3.3	Testes de Tendência	64

4.4	MÉTODO UNICRITÉRIO FAVAD	65
4.5	MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP.....	66
4.5.1	Seleção dos critérios para aplicação do método AHP	68
4.5.2	Percentual do peso global AHP em função da posição dos critérios.....	69
4.6	MATRIZ DE DADOS BÁSICOS E DE RISCOS.....	70
4.7	MAPAS DE SUSCEPTIBILIDADE DE VAZAMENTO EM GIS	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO ESTUDO	73
5.1.1	Planos amostrais	74
5.2	SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS QUALI-QUANTI ELEGÍVEIS NOS CADASTROS... 75	75
5.2.1	Relação de causa e efeito em perdas reais	76
5.2.2	Faixa de variação de cada critério	77
5.3	AValiação estatística dos dados básicos	77
5.3.1	Critério quantitativo de Pressão Estática.....	77
5.3.2	Critério qualitativo de Manutenção Preventiva	82
5.3.3	Critério qualitativo de Tipo de Ramal de Ligação	84
5.3.4	Critério qualitativo de Material da Rede Secundária	86
5.3.5	Critério qualitativo de Local de Rede Secundária.....	88
5.3.6	Critério qualitativo de DMC em operação	90
5.3.7	Matriz indexadora da relação entre a incidência de vazamentos e os critérios independentes.....	92
5.4	RESULTADOS DO MÉTODO FAVAD	93
5.4.1	Impacto da variação da pressão estática média.....	93
5.5	RESULTADOS DO MÉTODO AHP	93
5.5.1	Peso global dos critérios, opinião dos especialistas.....	94
5.6	AValiação estatística dos resultados de riscos de vazamentos	95
5.6.1	Risco Unicritério FAVAD	95

5.6.2	Risco Multicritério AHP	98
5.6.3	Método de maior assertividade	101
5.7	MAPAS DE SUSCEPTIBILIDADE DE VAZAMENTOS	103
6	CONCLUSÕES	107
7	RECOMENDAÇÕES	109
8	BIBLIOGRAFIA.....	111

1 INTRODUÇÃO

Conceitualmente, conforme Alegre et al. (2006), as perdas totais de água nos sistemas de abastecimentos são segmentadas em perdas reais, que representam os volumes físicos perdidos nos vazamentos e extravasamentos, e em perdas aparentes, que são as águas consumidas e não contabilizadas.

Em um contexto mundial, as perdas totais de água nos SAA sempre existiram e, em níveis baixos, são inevitáveis mesmo que se invista de forma antieconômica nos melhores materiais, tecnologias, controles e boas práticas. Como referência, podemos citar que ocorrem grandes variações nas perdas, por exemplo, comparando os países europeus Alemanha, Suécia, Inglaterra, Irlanda e a Bulgária, que entre os anos 1997 e 2000, tiveram suas perdas em 3%, 17%, 22%, 34% e 50% respectivamente, segundo European Environment Agency (2003).

Já no Brasil, segundo Brasil (2019), em 2018, a perda total média nacional foi de 38,5%, enquanto as perdas totais médias dos estados brasileiros variaram entre 30,2% e 73,4%. Entretanto, a básica mensuração dos volumes produzidos e consumidos necessária para a correta quantificação das perdas nem sempre é realizada em função da precariedade ou inexistência das instalações de macro e micromedição, e quando o são, por vezes são grandes os erros de medição. Fatos que levam às companhias de saneamento a adotarem estimativas, correções e metodologias de cálculos por muitas vezes controversas. Segundo Brasil (2019) o índice nacional de macromedição em 2018 foi de 81,4% e de micromedição 92,5%.

As perdas de água trazem consigo impactos negativos nos aspectos econômico, social e ambiental. No campo econômico, as perdas reais se refletem no desperdício do preço de custo investido na produção e transporte da água potável, já as perdas aparentes (não físicas) na ausência da receita do preço de venda ao consumidor.

No aspecto social, a universalização do acesso à água potável, prevista na Lei Federal 11.445/07, é uma condição de saúde pública que ainda não foi atingida por 48,7% dos municípios brasileiros, de acordo com Brasil (2019). Nessa perspectiva, os municípios que buscam a expansão do atendimento e que estão com a capacidade de produção e transporte no limite, se faz necessário avaliar se os recursos investidos terão um melhor retorno se aplicados no combate às perdas evitáveis comparados com as possíveis alternativas de ampliação dos sistemas de produção e transporte.

Em situações de escassez causadas pelo desequilíbrio do ciclo hidrológico e climático, a perda física de água evitada deixaria de ser extraída do manancial produzindo um ganho ambiental em poupar o uso e permitir o seu acúmulo em represas ou lagos. Já no caso de captação em rios, a redução do impacto ambiental seria sutil sobre o aspecto da escassez de água sendo percebida apenas pelos usuários a jusante da captação.

Nesse cenário, buscando reduzir os impactos econômicos, sociais, ambientais e equalizar as perdas em um melhor patamar nacional, em 2013, o Plano Nacional de Saneamento estipulou como meta para o ano de 2033 atingirmos uma média nacional de 31% (BRASIL, 2013). Conforme Tsutiya (2006), bons desempenhos nos índices de perdas encontram-se abaixo de 25%.

As redes de distribuição de água são extensas, não estão visíveis por serem subterrâneas e foram implantadas ao longo de décadas, continuamente, com variações de qualidade de materiais e tecnologia. Aspectos relacionados a projetos, como: concepções de arquitetura de rede e parâmetros de controle de pressão, também sofrem grandes variações em função do relevo da área abastecida e das modificações nos padrões conceituais de projeto adotados pelas companhias ao longo do tempo.

Nesse ambiente multivariável, onde as perdas reais de água ocorrem prioritariamente em vazamentos não visíveis que tem sua identificação feita por meio de um trabalho investigativo altamente especializado e demorado, surge o desafio: **“Como identificar as áreas mais susceptíveis a vazamentos para concentrar as ações de combate às perdas reais?”**

Mediante ao exposto, considerando as múltiplas variáveis que definem o risco de vazamento e a correlação entre estas e as ocorrências de vazamentos, emerge a necessidade de se desenvolver ferramentas eficientes, eficazes e flexíveis na adequação aos critérios que estão disponíveis nos cadastros das companhias de saneamento para auxiliar na priorização de áreas como subsídio à tomada de decisões. Com essa finalidade, conforme Campolina (2017) e Pimenta (2019), os modelos baseados em análise multicritério AHP integrados com GIS têm sido usados nas mais variadas áreas profissionais em processos complexos de decisões e têm entregado resultados satisfatórios, aumentando a assertividade, eficiência e a efetividade na aplicação dos recursos.

Esta dissertação de mestrado tem por objetivo estabelecer, com base em dados comerciais, de cadastro, de operação e de manutenção do SAA de Jaraguá do Sul, uma

metodologia de priorização de áreas para intervenções ativas com o propósito de controle e redução de perdas reais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atender às necessidades de priorizar as ações de combate às perdas reais identificando as regiões mais susceptíveis da rede de distribuição com o uso de ferramentas técnicas ágeis e eficazes com o propósito direcionar os investimentos na rede de distribuição para se aproximar o mais rapidamente possível do nível econômico de perdas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Estabelecer, com base em dados comerciais, cadastrais, de operação e de manutenção do SAA de Jaraguá do Sul, uma metodologia de priorização de áreas para intervenções ativas com o propósito de controle e redução de perdas reais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar em termos de dimensões, aspectos topográficos, estrutura física da rede, ocupação e demanda por água quatro regiões de abastecimento que compõem o SAA de Jaraguá do Sul;
- Estabelecer e caracterizar os critérios que irão compor a análise de priorização das áreas para controle de perdas;
- Verificar a existência de correlação entre as ocorrências de vazamentos e as características construtivas e operacionais do SAA de Jaraguá do Sul, comparando os métodos Unicritério FAVAD e Multicritério AHP para avaliação da incidência dessas ocorrências;
- Apresentar, de forma hierárquica, o mapeamento das áreas em nível de prioridade para o controle de perdas.

2.3 HIPÓTESE

A análise multicritério leva a obtenção de resultados diferentes e mais assertivos na priorização de áreas para controle de perdas reais, comparada à análise pelo critério único de pressão na rede.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

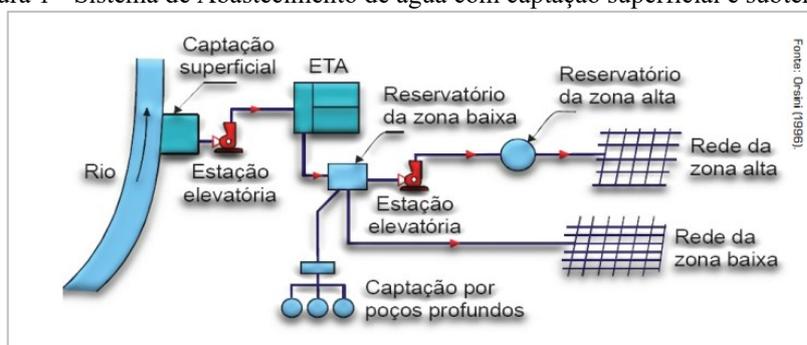
3.1.1 Características gerais

De acordo com Brasil (2011), um sistema de abastecimento de água para consumo humano é constituído por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, que vão desde a zona de captação até as ligações prediais, destinado à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

Na concepção dos SAA deve ser levada em consideração a topografia, a distribuição espacial da população, os tipos de consumidores, as flutuações horárias e anuais das demandas, assim como a perspectiva de expansão da população e da ocupação territorial (ABNT 1992).

Os sistemas de abastecimento de água são compostos basicamente por: manancial, captação, instalações elevatórias, adutora de água bruta, estação de tratamento (produção de água potável), adutora de água tratada, reservatórios, instalações de controle de pressão, redes de distribuição e os ramais de ligações de consumidores, (AZEVEDO NETTO, 1998). Na figura 1 é demonstrado um diagrama conceitual de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 - Sistema de Abastecimento de água com captação superficial e subterrânea



Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

O tema desse projeto de pesquisa está focado em perdas físicas na rede de distribuição, logo, as unidades manancial, captação e estação de tratamento não farão parte da revisão bibliográfica.

3.1.2 Adutoras

Conforme Azevedo Netto (1998), adutoras são canalizações principais destinadas a conduzir água entre as unidades operacionais de um sistema público de abastecimento que antecedem a rede de distribuição. Elas interligam a captação e tomada de água à estação de tratamento, e esta, aos reservatórios de um mesmo sistema produtor. No caso de existirem

derivações de uma adutora destinadas a conduzir água até outros pontos do sistema, constituindo canalizações secundárias, elas receberão a denominação de subadutoras. Segundo Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), uma adutora é “tubulação que transporta água bruta entre o ponto de captação e a ETA, ou transporta água tratada entre a ETA e os reservatórios setoriais de distribuição.”

Em função da natureza da água transportada, as adutoras podem ser de água bruta e de água tratada, e, em função do tipo de energia para o transporte, podem ser por gravidade, por recalque ou mista, de acordo com Azevedo Netto (1998).

Devido a suas menores extensões e derivações, as adutoras têm uma pequena parcela de inserção nas perdas físicas do SAA. Todavia, as prevenções quanto aos golpes de aríete com a adoções de sistema de proteção devem ser cuidadosamente observadas para se evitar rompimentos em eventos de grandes consequências.

Nesse sentido, conforme Azevedo Netto (1998), afirma: “recomendasse uma criteriosa análise de seu traçado em planta e perfil, a fim de verificar a correta colocação de órgãos acessórios (válvulas de parada, válvulas de descarga e ventosas), assim como ancoragens nos pontos onde ocorrem esforços que possam causar o deslocamento das peças (curvas, por exemplo)”.

3.1.3 Sistemas de bombeamento e Booster's

Os sistemas de bombeamento são empregados em locais onde o transporte por gravidade não é possível. Em resumo, de conformidade com a Norma Brasileira 12214/92 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), podem ser aplicadas em: captação de margem de manancial, captação direta no manancial, sucção em reservatório e booster (ABNT, 1992).

Tal qual Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), as estações elevatórias de água (EEA) é um conjunto de instalações destinadas a transferir água de uma cota mais baixa para outra mais alta e os booster são motobombas inseridas nas adutoras ou nas redes de distribuição de água para elevar a pressão.

Com relação às estações elevatórias, elas são diferenciadas em relação ao tipo de água que conduzem, sendo denominadas como estação elevatória de água bruta (EEAB) ou de água tratada (EEAT). As estações elevatórias precisam ser projetadas prevendo situações de eventos

extremos, como a queda da energia, para incluir dispositivos de proteção tipo: válvula de retenção de fechamento rápido e sistemas de alívio de pressão para amenizar as sobrepressões e subpressões causadas pelo golpe de aríete.

Consoante Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009), os booster são motobombas “utilizados para abastecer áreas que não podem ser atendidas pelos reservatórios, devido à insuficiência de pressões. Entretanto, com o uso de inversor de frequência, o booster é utilizado para controle de pressão, por permitir que se mantenha constante a pressão de saída, qualquer que seja a vazão de jusante e pressão a montante. A regulação da pressão de saída do booster é fator importante na operação desse equipamento, pois a perda real aumenta com o aumento da pressão.”

Os maiores problemas nesses sistemas podem ser falhas na automação de controle de pressão fazendo este trabalhar a máxima rotação sem necessidade ou com pressão negativa na sucção. A ausência de sistema de proteção contra os golpes de aríete, quando necessário, também pode ser um agravante para o aumento da incidência de vazamentos na região atendida. Com essas características, é importante prever manutenção preventiva nessas instalações para evitar elevações desnecessárias de pressão.

3.1.4 Válvulas redutoras de pressão

De acordo com Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2008), a vazão dos vazamentos aumenta com relação diretamente proporcional à pressão da rede. Em regiões com pressões muito elevadas, mesmo após intensas campanhas de pesquisa ativa e consertos de vazamentos, passado certo período, os vazamentos voltam a surgir na rede. Nessas situações, a implantação de válvulas redutoras de pressão (VRP) são alternativas convenientes para se reduzir as perdas de forma abrangente e de longo prazo.

A VRP é uma válvula de controle automática projetada para reduzir a pressão de montante a uma pressão constante a jusante, independentemente da variação da vazão e pressão do sistema, conforme Tsutiya (2006).

O controle da VRP pode ser feito por meio de sensores e atuadores hidráulicos na própria VRP ou por sensor de pressão em ponto crítico distante da VRP por sinal de telemetria e atuadores eletromecânicos. Quanto ao período de atuação da VRP, pode ser permanente ou em horários e dias pré-programados em função das necessidades e características da rede.

Tendo em vista o potencial de sobrepressão causado por uma falha no sistema de controle, a manutenção preventiva é peça chave para manter a rede da região abastecida sem rompimentos e com baixos índices de perdas.

3.1.5 Reservatórios

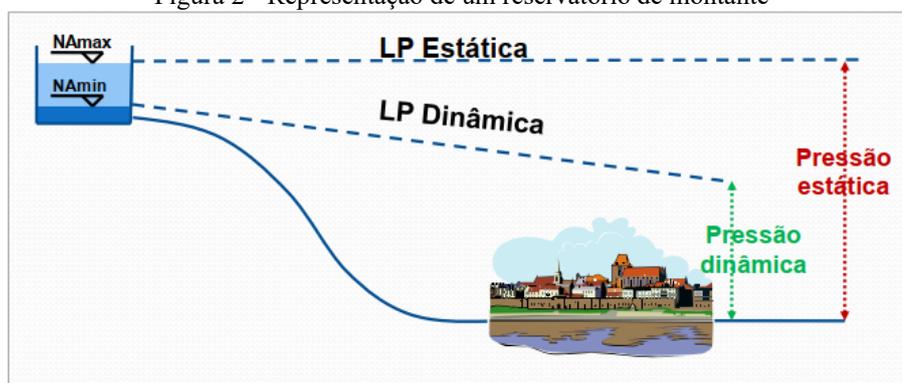
Segundo Azevedo Netto (1998), os reservatórios “são unidades destinadas a compensar as variações horárias de vazão.” Dependendo da sua configuração e sua posição com relação à rede de distribuição podem ser classificados como de montante ou jusante.

De conformidade com Tsutiya (2006) as principais finalidades dos reservatórios de distribuição de água são: regularizar a vazão; segurança do abastecimento em momentos de manutenções do sistema produtor; reserva de água para incêndio; estabilizar pressões na área de influência e; possibilitar o bombeamento fora do horário de pico.

Quanto ao regime de abastecimento dos reservatórios, conforme Tsutiya (2006), o reservatório de montante encontra-se antes da rede de distribuição, sendo que é o reservatório que sempre fornece água à rede. Já o reservatório de jusante, também chamado de reservatório de sobras, localiza-se depois da rede, sendo que a tubulação que abastece o reservatório é a mesma que fornece a água.

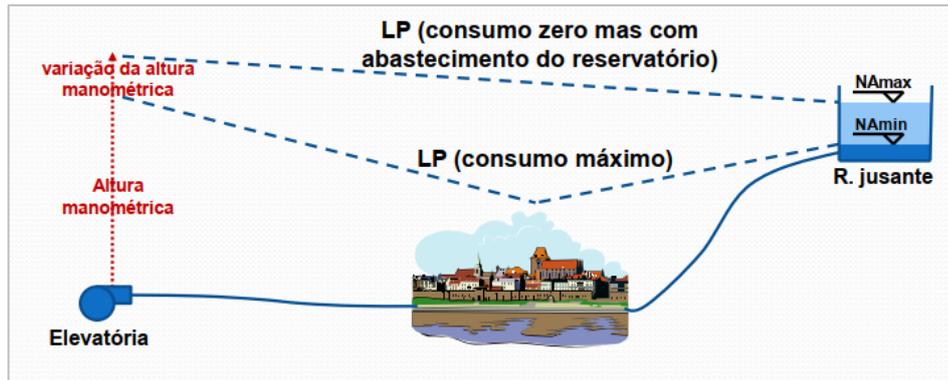
Com relação ao controle de pressão, o reservatório de montante, apresentado na Figura 2, é mais estável, o que pode trazer melhores desempenhos com relação às perdas, haja vista que os reservatórios de jusante, apresentado na Figura 3, trabalham com maiores pressões nos ramais prediais e maiores oscilações destas.

Figura 2 - Representação de um reservatório de montante



Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

Figura 3 - Representação de um reservatório de jusante



Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

3.1.6 Macromedição

A macromedição é aplicada nas unidades produtoras de água, em grandes áreas de distribuição e em distritos de medição e controle (DMC). Considerando que é o valor de entrada para os controles de perdas e para os balanços hídricos que definir a eficiência dos sistemas, de acordo com Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento (2015), os macromedidores precisam de qualidade e exatidão da medição, e para se alcançar essas características devem ser previstas ações em: projetos de instalação; aferições de rotina; calibração periódicas programadas e; manutenção preventiva para se alcançar uma gestão confiável no controle e combate às perdas.

3.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com Azevedo Netto (1998) “É a unidade operacional do sistema que conduz a água para os pontos de consumo (prédios, indústrias etc.) É composta de um conjunto de tubulações e peças especiais dispostas convenientemente, a fim de garantir o abastecimento dos consumidores de forma contínua nas quantidades e pressões padronizadas.”

A rede de distribuição é a estrutura do sistema de abastecimento de água mais integrada à realidade urbana. É constituída de um conjunto de tubulações interligadas instaladas ao longo das vias públicas ou nos passeios, junto aos edifícios, conduzindo a água aos pontos de consumo, conforme Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2008).

As partes principais das redes de distribuição são formadas por tubulações principais, tubulações secundárias e ramais de ligações dos consumidores. Para o seu correto funcionamento e atendimento aos padrões de qualidade, quantidade e pressão, devem se integrarem ao ambiente urbano interligando consumidores, reservatórios, hidrantes, estações elevatórias e unidades controladoras de pressão (booster's e válvulas reguladoras).

Em conformidade com Azevedo Netto (1998), Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003) e Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) as perdas físicas de água, em sua grande maioria ocorrem nas redes de distribuição. Da mesma forma, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2017) apud. Bulhões (2017), grafa que “a quase totalidade das perdas reais e comerciais em um sistema de abastecimento acontece na distribuição”.

Haja vista, a grande extensão das tubulações das redes de distribuição (majoritariamente enterradas) e boa parte dos vazamentos serem não visíveis, é na rede de distribuição onde se encontram os maiores desafios no combate às perdas.

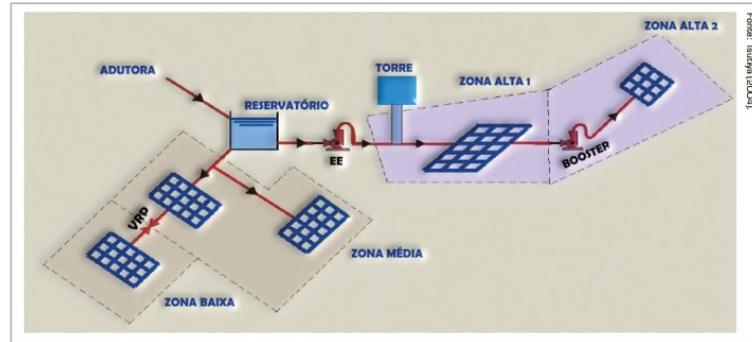
3.2.1 Rede primária e secundária

Conforme Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), a rede primária é composta pela tubulação de água que sai do reservatório setorial e supre as redes secundárias, sendo responsável pelo plano de pressão do setor de abastecimento ou zona de pressão, na rede primária não há conexões prediais. Já a rede secundária é caracterizada pela tubulação de água que é suprida pela rede primária e que atende a todas as conexões prediais.

3.2.2 Zonas de pressão

Conceitualmente as redes são planejadas em função de zonas de pressão, exemplificada na Figura 4. Conforme definição da Norma Brasileira ABNT NBR 12.218/17, a zona de pressão é a “Área abrangida por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados.” A prefixação destes limites deve se adequar à topografia de região abastecida e pode ser controlada por meio de umas das três unidades operacionais do SAA, sendo elas: reservatórios; VRP’s e Booster’s. Uma rede, quando planejada em condições ideais, deve garantir um arranjo tal que garanta em todos os ramais de ligação a disponibilidade de pressão na faixa entre 10 e 50 metros de coluna de água (medida em relação à cota da via pública) (ABNT, 2017).

Figura 4 – Zonas de pressão de um sistema de abastecimento de água



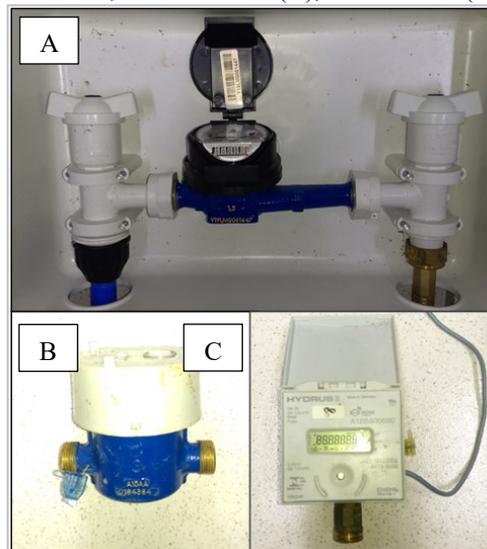
Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

3.2.3 Micromedição

Conforme Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), a micromedição refere-se à “medição permanente dos consumos mensais realizada no ponto de suprimento aos clientes finais da companhia de saneamento, geralmente através de hidrômetros, tendo em vista os processos de faturamento e controle de perdas na distribuição.”

De acordo com Tsutiya (2006), os principais tipos de mecanismo de micromedição são os velocimétricos, os volumétricos e os eletrônicos. Os medidores velocimétricos possuem turbinas ou hélices que convertem o número de rotação em volume de medição. Já os volumétricos são providos de câmeras de volume conhecido que se enchem e se esvaziam contabilizando o volume de passagem de acordo com a quantidade de ciclos, esses são mais precisos em baixas vazões. O terceiro tipo são os eletrônicos eletromagnéticos que possuem alta precisão e alta vida útil, porém tem um valor elevado o que o torna inviável para pequenos volumes de consumo. Na Figura 5 são apresentados os três tipos de hidrômetros.

Figura 5 - Tipos de hidrômetros, velocimétrico (A), volumétrico (B) e eletromagnético (C)



Fonte: Arquivo do SAMAEJS

Segundo Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009), “hidrômetros são aparelhos destinados a medir e indicar a quantidade de água fornecida pela rede distribuidora a uma instalação predial. Suas principais vantagens são baixo custo e fácil manutenção, enquanto as desvantagens são altas perdas de carga e desgaste de peças.”

Em função do desgaste destes equipamentos, a renovação do parque de hidrômetro é uma tarefa de alta importância em uma companhia de saneamento na medida em que os desgastes levam à submedição e consequentes perdas não físicas, ou aparentes.

3.2.4 Setorização da rede

Segundo Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2008), “Além da divisão em zonas de pressão, as redes de distribuição precisam ser divididas em setores de manobra e setores de medição. Setor de manobra é a menor subdivisão da rede adotada para possibilitar seu isolamento quando é necessária a realização de obras e serviços de manutenção. Setor de medição é a parte da rede de distribuição delimitada para permitir a avaliação da evolução do consumo de água e das perdas de carga e perdas de água.”

De acordo com Norma Brasileira ABNT NBR 12.218/17, as redes devem ser planejadas e organizadas de forma a criar setores isoláveis com as finalidades ou de manobras ou de medição e controle (ABNT, 2017).

Com relação ao Setor de medição e controle, ou distrito de medição e controle – DMC, terá um tópico específico no capítulo 3.4.3.

3.2.5 Acessórios de controle e proteção

Uma rede de distribuição, devido a questões hidráulicas, topográficas e de manutenção precisam ter diversos acessórios, por exemplo: registros, descargas, ventosas, válvulas redutoras ou sustentadoras de pressão, ancoragens e hidrantes.

Quanto às funcionalidades: os registros e descargas são utilizados em situação de manutenções na rede; os hidrantes são necessários para atender a emergências no combate a incêndios e; as válvulas redutoras ou as sustentadoras de pressão são utilizadas em situações topográficas e hidráulicas em que a pressão livre ultrapassaria os limites definidos em ABNT NBR 12218/17, caso não fossem utilizadas (ABNT, 2017).

3.2.6 Ramal de ligação

O ramal de ligação, conforme apresentado na Figura 6, é parte do sistema de distribuição de água que conecta a rede secundária ao imóvel consumidor dos serviços. Segundo diversos autores, entre eles: Tsutiya (2006), Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) e Brasil (2019), é a parte do sistema de abastecimento de água onde ocorrem as maiores quantidades de perdas reais.

Nesse sentido, é importante frisar que os materiais usados nos ramais de ligação vêm tendo muitas mudanças, evoluindo para conjuntos com menores riscos de vazamentos.

Figura 6 - Esquema de instalação de um ramal de ligação mostrando partes do ramal e rede primária e secundária



Fonte: Catálogo Amanco linha Infraestrutura.

Os ramais de ligação são compostos por Tês de serviço ou Colares de tomada, conforme apresentados na Figura 7, que se conectam diretamente nas redes secundárias e mangueiras de PEAD, e estas, aos registros e cavaletes com hidrômetros. Os tipos de materiais e a classe de pressão dos ramais e mangueiras, os métodos de instalação e a quantidade de pontos de conexões são fatores que interferem diretamente no volume de vazamentos nesses componentes, os quais são responsáveis por cerca de 80% do volume perdidos em um SAA, segundo Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003).

Figura 7- Tipos de Tê de serviço e colar de tomada usados no SAMAEJS



Fonte: adaptado do catálogo Amanco e de fotos do SAMAEJS.

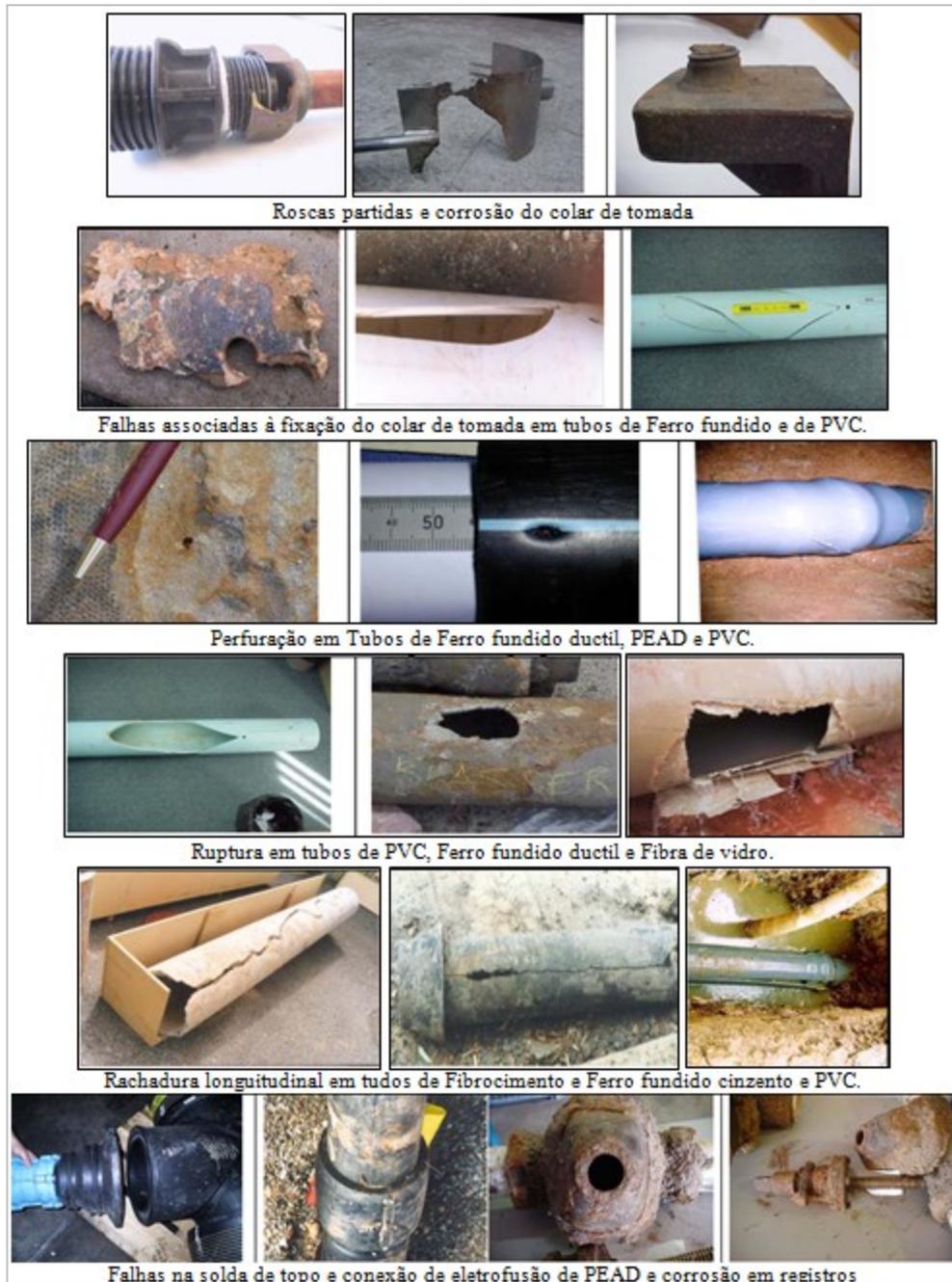
3.2.7 Materiais utilizados nas redes e principais tipos de falhas

Os principais materiais utilizados nas tubulações e peças são de ferro fundido cinzento, ferro fundido dúctil, tubos de policloreto de vinila (PVC), tubos de polietileno (PEAD) e tubos de fibrocimento Tsutiya (2006).

A ligação entre as tubulações secundárias e o cavalete do consumidor é feita pela ligação predial. Esta é constituída do dispositivo de tomada de água na tubulação, ramal predial, normalmente mangueira de PEAD.

Com base em Water Services Association of Australia Inc (2003), na Figura 8 apresentasse as falhas típicas responsáveis pelos vazamentos nas redes de distribuição por tipo de material e de componente.

Figura 8 - Principais falhas em tubos e componentes da rede de distribuição



Fonte: adaptado de Water Services Association of Australia Inc. (2003)

Segundo Nolli (2015), as falhas nas tubulações e acessórios da rede de distribuição podem ser provocadas por uma, ou pela combinação, dos seguintes fatores: perda de espessura do material devido a corrosão, fragilização da estrutura da parede da tubulação provocado pela furação para instalar o ramal de ligação, esforços mecânicos externos (como material ponte agudo em contato com a parede da tubulação, recalque do solo, excesso de carga rolante e choque durante escavações), esforços internos provocados por golpes de sobre pressão, além de desembolsamentos por deficiência na ancoragem e conexão ou juntas com vícios de instalação.

3.2.8 Cadastro

Consoante Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), o cadastro técnico mínimo deve ter plantas cadastrais com a localização das redes de distribuição, diâmetro, extensão, idade, limite de setor, interligações, localização de reservatórios, booster's e VRP's.

De acordo com IWA 2007 apud. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) a existência de um cadastro técnico atualizado e confiável, que retrate a realidade da infraestrutura da rede de distribuição de água, é condição essencial para a gestão das perdas.

3.3 CONTROLE DE PERDAS

De acordo com Azevedo Netto (1998), “perda é a diferença entre o volume de água produzido nas Estações de tratamento e o total dos volumes medidos nos hidrômetros, ou seja, o índice de perdas é a porcentagem do volume produzido que não é faturado pela concessionária dos serviços.”

3.3.1 Aspectos gerais

Conceitualmente, as perdas de água são divididas em aparentes e reais. As perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas ou comerciais, estão relacionadas ao volume de água que foi consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo, não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento ao prestador de serviços. São falhas decorrentes de erros de medição, ligações clandestinas, by pass irregulares nos ramais das ligações, falhas no cadastro comercial etc, (Brasil, 2019).

As perdas reais, também conhecidas como perdas físicas, referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Essas perdas acontecem por vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Elas compreendem, principalmente, os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, provocados especialmente pelo excesso de pressão e estão associados à qualidade dos materiais utilizados, à idade das tubulações, à qualidade da mão de obra para instalação, à operação e manutenção e à ausência de programas de monitoramento de perdas, dentre outros

fatores. A quase totalidade das perdas reais em um sistema de abastecimento acontece na distribuição (Brasil, 2019).

A gestão de uma companhia de saneamento é fundamentada em um conjunto de dados gerais sobre a empresa, na qual gera informações para que se possam exercer os mecanismos de gestão, ou seja, tomadas de ações efetivas. As informações se traduzem normalmente em indicativos puros, tais como número de consumidores, quilometragem da rede, volume produzido, volume consumido, entre outros. As devidas relações destes indicativos puros são denominadas indicadores de desempenho e podem fornecer informações sobre o diagnóstico do sistema de abastecimento de água (SILVA; LUVISOTTO JUNIOR, 2002 apud. SOARES, 2015).

Nesse contexto, existe uma gama de indicadores criados com a finalidade de orientar a gestão das companhias de saneamento. Por exemplo: o sistema SNIS possui 22 indicadores operacionais de águas. No caso do SAMAEJS, os indicadores índice de perdas na distribuição e índice de perdas por ligação são os mais utilizados. Nesse sentido, apresentasse a descrição desses dois indicadores:

- Índice de Perdas na Distribuição: considera os volumes micromedidos na rede de distribuição. Contempla as perdas totais (Reais + Aparentes). É expresso em % de perdas.
- Índice de Perdas por Ligação: considera os volumes micromedidos na rede de distribuição e as ligações ativas de água. Contempla as perdas totais (Reais + Aparentes). É expresso em Litros / ramal de ligação ativa dia.

3.3.2 Balanço hídrico

De acordo com Tsutiya (2006), o balanço hídrico é a quantificação de todos os possíveis usos da água em um sistema de abastecimento, desde o instante em que é captada no manancial até o momento em que é disponibilizada ao consumidor final.

Conforme demonstrado em Al-Washali (2020), existem diferentes métodos para se elaborar um balanço hídrico, todavia todos eles apresentam elevado grau de incertezas em função das simplificações arbitrárias para definir os rateios e as subsegmentações das perdas reais e das perdas aparentes.

Segundo Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), o balanço hídrico representa toda a distribuição volumétrica, em bases anuais, dos usos da água ao longo do processo, a partir de um determinado ponto do sistema até o ponto de fornecimento ao cliente.

Na Figura 9 segue uma representação das classificações de perdas e os rateios em subsegmentações conforme padrão IWA.

Figura 9 - Balanço hídrico anual de água padrão IWA

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

Fonte: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

Consoante Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), “a quantificação volumétrica das frações delineadas no balanço hídrico é fundamental para a avaliação das perdas, sem o que não seria possível exercitar qualquer gestão técnica para a melhoria da eficiência operacional do sistema de abastecimento de água.”

Ainda, segundo Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), “em termos de volumes, essa medição se dá em dois níveis: a macromedição é a referência principal de todo o Balanço Hídrico, realizada na apuração dos volumes produzidos nas ETA’s, disponibilizados à distribuição ou mesmo apurados em subsetores ou outras compartimentações operacionais das redes de distribuição de água. Já a micromedição é a apuração dos volumes de água na entrada dos consumidores finais (residências, imóveis comerciais, indústrias), em que são feitas leituras periódicas nos hidrômetros instalados. A totalização dessas leituras, em um intervalo de tempo, é que vai ser confrontada com a macromedição apurada nesse mesmo intervalo de tempo.”

3.3.3 Rateio de perdas

Consoante Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), a medição ou estimativa dos volumes do balanço hídrico, permite chegar até a quantificação das perdas, mas não é suficiente para expressar o rateio entre perdas reais e perdas aparentes.

As estipulações das segmentações das perdas aparentes (não físicas) podem ser quantificáveis através de cálculos estimativos das submedições da micromedição em função da idade média do parque de hidrômetros e da atribuição de um valor estimado do consumo não autorizado que pode ter como referência os registros históricos de fraudes detectadas.

Já a estipulação das segmentações das perdas reais, conforme recomenda Tsutiya (2006), “devem ser feitas medições de vazão e volume e, quando não dispuser destas medições, necessitam ser feitas estimativas a partir de critérios bem definidos.” Todavia, na elaboração dos balanços hídricos, as companhias de saneamento, geralmente estipulam percentuais apontados em pesquisas consagradas em literaturas técnicas como as apresentadas em Tsutiya (2006) e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003).

De acordo com Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), para se elaborar o rateio no balanço hídrico é necessário efetuar medições ou mesmo estimativas mais específicas para se chegar aos números. Na Tabela 1 apresenta-se exemplos de rateios de perdas.

Tabela 1 - Exemplo de rateios de perdas em alguns países Europeus e Jaraguá do Sul, adaptado de ABES (2015)

Local	População	Ramais	Perda Total [L/ramal.dia]	Perda Real [L/ramal.dia]	Perda Aparente [L/ramal.dia]	Rateio Real [%]	Rateio Aparente [%]	Perdas Totais [%]	Total vazamentos reportados no ano	Incidência de vazamentos por ramal
Jaraguá do Sul - 2020	170,000	42,000	320	267	53	83.4%	16.6%	36%	4,020	9.57%
Italia - Regio Emilia	475,000	94,400	319	246	73	77.1%	22.9%	25%	2,692	2.85%
Alemanha - Munique	1,500,000	130,000	285	243	42	85.3%	14.7%	13%	660	0.51%
Malta	421,400	140,000	256	77	179	30.1%	69.9%	43%	7,972	3.69%
Croácia - Pula	75,000	25,700	204	183	21	89.7%	10.3%	22%	370	1.44%
Chipre - Lemesos	158,000	53,000	152	127	25	83.6%	16.4%	23%	1,380	2.60%
França - Bordeaux	724,200	201,000	114	103	11	90.4%	9.6%	18%	3,185	1.58%
Austria - Salzburgo	155,400	20,130	91	84	7	92.3%	7.7%	6%	163	0.81%
Bélgica - Região de Flandes	2,860,000	1,108,000	80	70	10	87.5%	12.5%	22%	6,841	0.62%
Dinamarca - Odense	160,000	33,230	35	34	1	97.1%	2.9%	5%	58	0.17%
					Média =	81.6%	18.4%			

Sobre o tema, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) cita os dois métodos: Bottom-up feito por meio de medições em campo das vazões mínimas noturnas, às quais, aplicando estimativas de consumos noturnos e correções de pressão, chega-se às perdas reais, e por diferença, às perdas aparentes; ou também efetuar exaustivo trabalho de avaliação de submedição dos hidrômetros instalados, e depois de estimar um volume relativo

às fraudes, chegar às perdas aparentes, e por diferença, às Perdas Reais. Outro método é o chamado Top-down que efetua o rateio a partir de estimativas genéricas, apoiada em dados secundários ou de outros sistemas, portanto, de mais fácil obtenção, de menor custo, porém, de baixa precisão.

“Na maioria das vezes, a quantificação em volume do rateio tem demonstrado uma parcela maior de Perdas Reais, mesmo em sistemas com caixas d'água, em que a submedição é maior. Entretanto, a situação se inverte quando se monetizam os volumes: os valores unitários para as Perdas Reais (R\$/m³) incorporam os custos de produção e distribuição da água, enquanto as Perdas Aparentes incorporam a venda da água no varejo e o faturamento dos esgotos, resultando valores por m³ substancialmente maiores. Daí que ambas as perdas são importantes de serem combatidas, uma com visão de gestão operacional e parcimônia na gestão de recursos hídricos, e outra com visão mais empresarial” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2015).

Nesse contexto, o combate às perdas aparentes é de alta importância para a saúde financeira da companhia e as atividades como manutenção de um parque de hidrômetro com baixa submedição e as investigações de combate às fraudes devem ser realizadas com a devida importância.

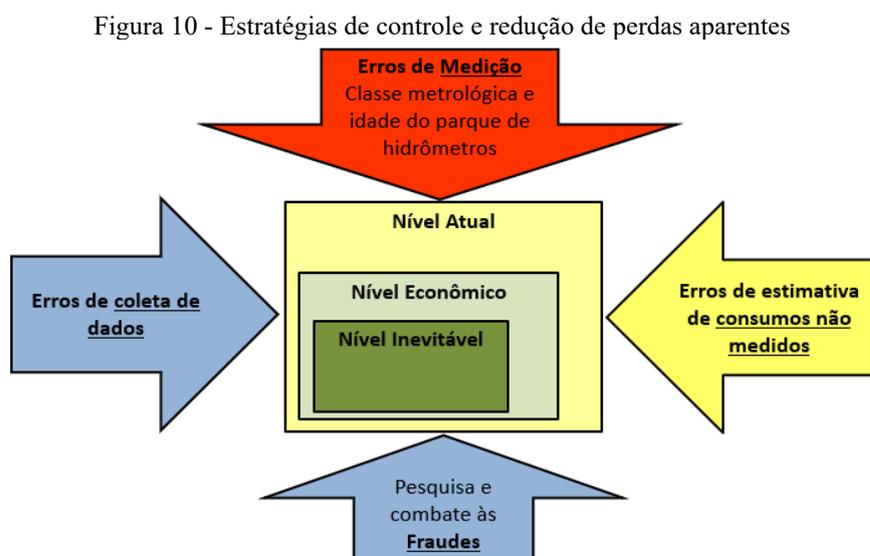
3.3.4 Perdas aparentes

Conforme Tardelli Filho, 2004 apud. Melato (2010), “a perda aparente corresponde ao volume de água consumido, mas não contabilizado, decorrente de erros e incertezas de medição nos hidrômetros e demais medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas de cadastro comercial. Neste caso, a água é efetivamente consumida, mas não é medida e nem faturada.”

As perdas nos hidrômetros são decorrentes dos desgastes que ocorrem nestes com o passar da água ao longo dos anos. A determinação da submedição pode ser feita por meio de testes de bancada em uma amostragem representativa dos hidrômetros, seguida por análises estatísticas das perdas de forma a gerar valores percentuais de tendência de aumento de perdas por ano de uso.

O controle e redução das perdas aparentes é o campo de ação, no combate de perdas, que apresenta o maior potencial de retorno de investimento. Haja vista, que os custos da substituição dos hidrômetros são baixos em relação ao aumento do faturamento potencial do volume recuperado, pois este volume é contabilizado conforme o preço de venda da água, o que faz com que a recuperação do investimento seja rápida.

Além da submedição dos hidrômetros, o combate a fraudes também pode trazer grandes retornos econômicos, o que pode variar em função do método usado para direcionar o foco das investigações. Na Figura 10 são apresentadas as principais linhas de ações para melhorar o desempenho em relação as perdas aparentes em direção ao nível econômico de perdas.



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015)

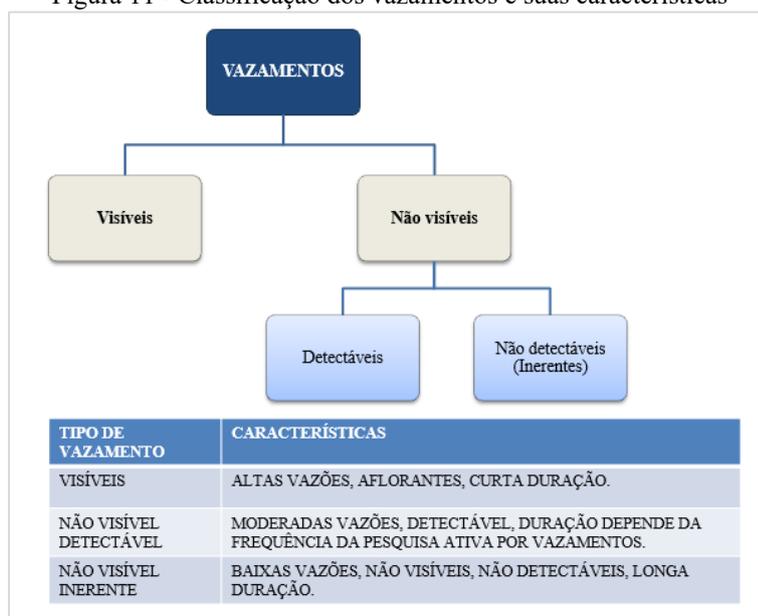
3.4 PERDAS REAIS

Segundo Brasil (2019), as perdas reais, também conhecidas como perdas físicas, referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Essas perdas acontecem por vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Elas compreendem principalmente os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, provocados especialmente pelo excesso de pressão, habitualmente em locais com grande variação topográfica. Os vazamentos estão associados ao estado de conservação das tubulações (materiais utilizados, idade das redes), à qualidade da instalação pela mão de obra executada e à existência de programas de monitoramento de perdas, dentre outros fatores. A utilização de água para procedimentos operacionais, como lavagem de filtros da Estação de Tratamento de Água (ETA) e descargas na rede, não deve ser considerada perda quando este consumo se refere ao estritamente necessário para operação.

De acordo com Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), conforme Figura 11, existem três tipos de vazamentos na rede de distribuição de água:

- os vazamentos visíveis: caracterizados por altas vazões e aflorantes à superfície que são vistos e comunicados pela população à operadora de saneamento para o reparo;
- os vazamentos não visíveis e detectáveis: caracterizados por não afloram à superfície, mas são passíveis de identificação pelos equipamentos atuais de detecção acústica, cuja duração e respectivo volume perdido estão diretamente associados ao intervalo entre duas varreduras de pesquisa de vazamentos;
- os vazamentos não visíveis e não detectáveis (inerentes): caracterizados por baixas vazões e longa duração, não afloram à superfície do terreno e não são passíveis de serem identificados pelos equipamentos atuais de detecção acústica.

Figura 11 - Classificação dos vazamentos e suas características



Fonte: adaptado de Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2009)

Os vazamentos não visíveis e não detectáveis ocorrem por meio de pequenas fissuras nos componentes das redes de distribuição que, ao longo do tempo, tendem a ir se expandindo até que se tornam um vazamento não visível detectável e, em último estágio, podem se tornar um vazamento aflorante e até causar falta de água no seu entorno.

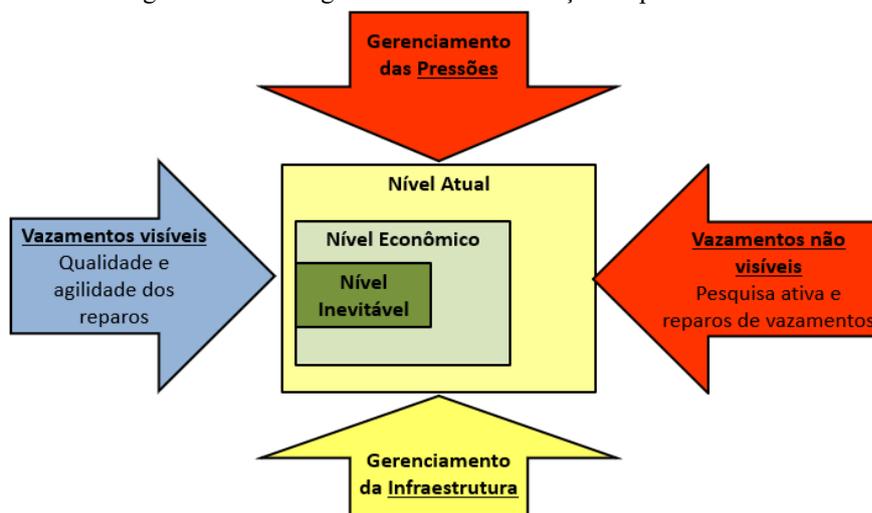
Ensaio ou avaliações realizadas demonstram que os volumes perdidos através dos vazamentos visíveis representam pequena parcela dos volumes totais perdidos nos vazamentos; assim, a maior parte das perdas reais é devida a vazamentos não visíveis, não aflorantes à superfície do terreno, segundo (ABES, 2015).

De acordo com Tardelli Filho (2016), “os vazamentos visíveis representam pouco na totalização dos volumes perdidos; a grande maioria dos vazamentos nas redes e ramais não aflora à superfície. Por sua vez, os ramais prediais são os pontos mais frágeis da rede de distribuição, verificando-se a ocorrência do maior número de falhas e do maior volume perdido.”

Conforme Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), documentos e apresentações de consultores internacionais defendem que para a obtenção de resultados, segura e economicamente viáveis à curto prazo, as ações de reparo de vazamentos, pesquisa de vazamentos não visíveis e gerenciamento de pressão (VRP's e booster's) são as mais indicadas. Já as ações que envolvem a melhoria da infraestrutura, como a setorização e a substituição de infraestrutura, as quais dão resultados permanentes e a longo prazo, devem merecer planejamento e estudos mais criteriosos, tendo em vista os custos mais elevados de execução, especialmente pela necessidade de emprego de métodos não destrutivos nos grandes centros urbanos ou nas áreas centrais das cidades.

Na Figura 12 são apresentadas as principais linhas de ações para melhorar o desempenho em relação as perdas reais em direção ao nível econômico de perdas.

Figura 12 - Estratégias de controle e redução de perdas reais



Fonte: adaptado de Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015)

De acordo com Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2019), “Então, dentre as várias causas de vazamentos, as mais importantes são: má qualidade dos materiais utilizados na implantação e manutenção do sistema; má qualidade dos serviços executados; pressões elevadas nas tubulações; oscilações de pressão, ocasionando fraturas ou rupturas em tubulações devido ao deslocamento de blocos de ancoragem, flexão de tubos, entre outros; deterioração das tubulações, causada pela

corrosão de tubos metálicos; efeitos do tráfego, podendo ocasionar movimentação do solo e possíveis rupturas em tubulações.”

3.4.1 Relação entre pressão e vazão de vazamentos

“A pressão de serviço na rede de distribuição de água é o parâmetro operacional mais importante na vazão dos vazamentos e na frequência de sua ocorrência. A elevação da pressão de serviço nas redes de distribuição tem efeito duplo na quantificação dos volumes perdidos, pois além de aumentar a frequência de arrebentamentos, aumenta a vazão dos vazamentos.” Tsutiya (2006).

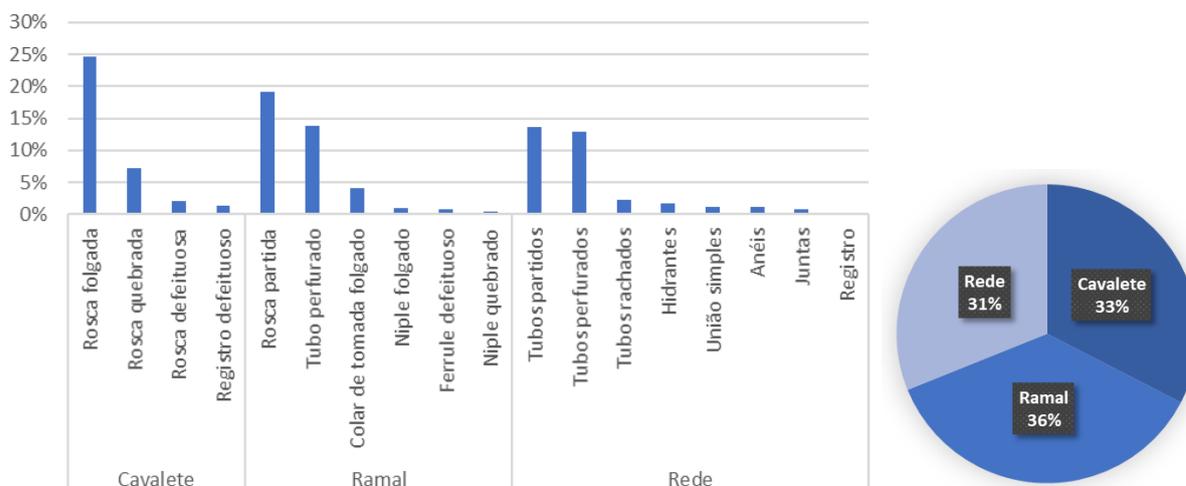
A relação entre a pressão e a vazão de perda de águas que passa pelas rachaduras e fissuras de uma rede sofre significativas alterações em função da combinação da pressão com a elasticidade do material da tubulação. Sendo que, quanto mais elástico o material da tubulação for e maior a pressão, maior será a deformação e abertura da fissura, o que leva a uma potencialização da vazão perdida.

Essas observações foram feitas e estudadas no Reino Unido o que deu origem ao modelo FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge Paths) conforme Lambert, 2002 apud. Tsutiya (2006). Da mesma forma Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003), cita que “No caso de tubos plásticos, estudos têm apontado para uma redução ainda maior das perdas em função da diminuição de pressão.”

3.4.2 Distribuição da frequência de vazamentos

A densidade de ramais de ligação, em zonas urbanas, facilmente ultrapassa em muito a quantidade de 20 ramais por quilometro. De acordo com Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003), estudos da SANASA mostram que as perdas nos ramais são responsáveis pela parcela de 65% das perdas reais do sistema de abastecimento de água. Na Figura 13 seguem representações dos dados da SANASA de Campinas (SNSA, 2003).

Figura 13 - Gráfico do rateio de perdas reais, adaptado conforme dados da experiência Sanasa,



Fonte: adaptado de Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2003).

Tal condição pode sofrer grandes variações em função da qualidade dos materiais e dos serviços de instalação. Ramais mais modernos com soluções reforçadas e menores pontos de conexões, induzem à uma redução nas perdas por vazamentos nestes por motivo de as conexões serem pontos frágeis e multiplicadores de probabilidade de vazamentos. Portanto, caracterizar as regiões que apresentam maior densidade de tipos de ramais problemáticos e planejar suas trocas, pode ser uma ação de alto impacto no combate às perdas.

Os ramais apresentam vazamentos, por vezes não visíveis e indetectáveis, o que faz destes, grandes vilões nos combates às perdas de águas. Nesses tipos de vazamentos a ação indicada é amenizá-los por meio da redução da pressão média na zona de pressão.

3.4.3 Distritos de Medição e Controle – DMC

De acordo com Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) o DMC - Distrito de Medição e Controle é uma subdivisão da rede de distribuição de água, com medição de vazão na entrada, para gestão e controle das ações de combate às perdas.

No gerenciamento das redes de distribuição, conforme orienta a Norma Brasileira ABNT NBR 12.218/17, é importante planejá-la em concepções de distritos de medição e controle (DMC). Esses distritos de medição e controle são regiões isoláveis, com a finalidade de acompanhar os comportamentos de vazão e pressão. É recomendável que esses monitoramentos tenham leituras automáticas com frequências altas, por exemplo, entre de 10 a 60 leituras por hora, seguidas por registros em banco de dados e processamento dos dados para gerar informações com o propósito de se identificar anomalias e direcionar de forma ágil as ações de manutenções corretivas (ABNT, 2017). De acordo com esta mesma norma, os DMCs

devem ter no máximo 25.000 metros de rede. Embora, na prática, geralmente as implantações de macromedicação iniciam-se dando prioridades para as zonas de pressão que normalmente ultrapassam essa extensão de referência. Todavia, à medida que o controle vai se intensificando, essas grandes áreas (zonas de pressão) vão sendo subdivididas em DMCs propriamente ditos conforme os parâmetros da ABNT NBR 12.218/17.

Os indicadores básicos extraídos das medições dos DMC's para o controle e combate às perdas são a vazão mínima noturna (VMN) e o fator de pesquisa (FP). Concorrente aqueles indicadores, tem o indicador mais adequado a realidade, o indicador de vazamentos de infraestrutura (IVI), que também é extraído das medições dos DMC's em conjunto com o levantamento da pressão estática de todos os ramais da rede.

Conforme Fraga e Silva (1995) apud Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007) “o fator de pesquisa é determinado a partir da relação entre VMN e a vazão média diária. O comportamento desse parâmetro indica possíveis problemas operacionais no abastecimento de água. Quanto mais ele tende para 1, maior a possibilidade de estarem ocorrendo vazamentos. Isto significa também um grande potencial de retorno no trabalho de pesquisa acústica.”

Segundo Fávero e Dib (1981) apud Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007), em geral, se o fator de pesquisa for maior que 0,30, o setor em estudo contém vazamentos economicamente detectáveis.

De acordo com Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007), “a vazão mínima noturna é o principal indicador do nível de perdas reais que está ocorrendo em um sistema. Normalmente, o consumo noturno é reduzido, principalmente em áreas residenciais. Qualquer alteração na vazão mínima de uma unidade de abastecimento pode significar ocorrência de vazamentos.”

3.4.4 Indicador de vazamentos de infraestrutura (IVI)

Segundo Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007), a metodologia para definir qual a região deve ser priorizada depende das características e condição da rede de distribuição. Os principais indicadores e métodos para a quantificação e comparação de perdas entre setores são: índice de perdas, indicador de vazamentos de infraestrutura (IVI) e o fator de pesquisa (FP) baseado na vazão mínima noturna (SNSA, 2007).

Consoante com Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007), “O indicador de vazamento da infraestrutura é a relação entre as perdas reais anuais de água e as perdas reais anuais inevitáveis. Utiliza-se este indicador para comparar a eficiência do gerenciamento das perdas reais entre operadoras e sistemas de água, uma vez que o uso isolado do índice de perdas não permite uma avaliação em sistemas com diferentes características, de pressão e qualidade de materiais e serviços. Sistemas com índice de vazamento na infraestrutura próximo de 1 podem ser considerados como sistemas com bom gerenciamento da infraestrutura, e à medida que o índice afasta de 1, o gerenciamento do sistema piora.”

De acordo com Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento (2015), “O Banco Mundial desenvolveu um sistema de classificação dos sistemas de abastecimento em categorias de desempenho técnico, como um meio de promover uma espécie de benchmarking mundial. Este sistema de classificação está expresso na Figura 14. Há um sistema de classificação para países desenvolvidos e outro para não desenvolvidos – neste último o Brasil se enquadraria.”

Figura 14 - Matriz de avaliação de perdas reais do Banco Mundial.

Categorias de Desempenho Técnico	IVI	Litros/ramal/dia (quando o sistema está pressurizado) a uma pressão de:					
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	
Países Não Desenvolvidos	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000
RETORNAR PARA INDICADORES	A	Redução adicional de perda pode não ser econômica, a menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo efetivo da melhoria					
	B	Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede					
	C	Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos					
	D	Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário					

Fonte: Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento (2015)

3.4.5 Vazamentos não visíveis e métodos de detecção

Conforme Melato (2010), a pesquisa por vazamentos não visíveis consiste em localizar e reparar o vazamento antes deste aflorar. O método mais usual de localizar um vazamento não visível é por pesquisa acústica, que indica o local para realizar a escavação com base na intensidade do ruído emitido pela passagem da água pressurizada através de um furo, fenda ou defeito na tubulação ou conexão. Quanto maior a frequência de pesquisa por vazamentos,

menor será o tempo do vazamento e o volume perdido através dele. Além de campanhas periódicas de pesquisa de vazamentos, o direcionamento das pesquisas acústicas deve ser priorizado para as áreas que apresentam aumento repentino na VMN e setores com maiores IVI.

A realização das pesquisas de vazamentos não visíveis, conforme Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2007), são feitas por equipes de pesquisa acústica com o uso dos seguintes equipamentos: haste de escuta mecânica, geofone mecânico, geofone eletrônico e correlacionador de ruído. Já o localizador de massa metálica, a válvula pulsadora, o medidor de pressão e a trena de medição, são considerados equipamentos auxiliares.

3.5 MÉTODO FAVAD

O método FAVAD (Fixed and Variable Area Discharge) foi desenvolvido por John May em 1994 e considera a que pressão exercida sobre uma fissura na tubulação determina a variação da vazão, com intensidade exponencial ajustada pela maleabilidade do material da rede, que pode ser rígida no caso de materiais metálicos ou flexível no caso de materiais plásticos.

Sendo assim, a vazão dos vazamentos tem o comportamento de acordo Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento (2015) com a relação exponencial de pressão, dada pela equação 1.

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad (1)$$

Onde: **Q1** = vazão final de vazamentos, **Q0** = vazão inicial de vazamentos, **P1** = pressão média da rede final, **P0** = pressão média da rede inicial, **N1** = expoente normalmente varia de 0,5 em tubos metálicos a 1,5 em plásticos.

3.6 MÉTODO AHP

O método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma das técnicas que faz parte das Análise de decisão multicritério (ADMC) utilizadas em ambientes complexos para auxiliar na tomada de decisão.

A análise de decisão multicritério (ADMC), segundo Vorobiev 2015 apud. Campolina (2017) poderia ser definida como “um processo estruturante de avaliação e seleção de alternativas, sob condições de alta incerteza, com base na combinação quantitativa e qualitativa de critérios para a avaliação e comparação de tecnologias, a fim de alcançar o entendimento mútuo e solucionar conflitos entre vários grupos de interesse envolvidos no processo de tomada de decisão”.

Conforme Campolina (2017), a análise de decisão multicritério envolve abordagens dos tipos: modelos de mensuração de valor; modelos de sobre classificação e modelos baseados em metas. Nesse contexto, os modelos de mensuração de valor são mais objetivos e mais versáteis em suas aplicações. Entre os tipos de modelos de mensuração de valor o método AHP é o mais utilizado e apresenta bons resultados em função da facilidade de uso, e estrutura com hierarquia que confere versatilidade para se adaptar a diversos tipos de problemas.

De acordo com Souza (2017), a técnica Processo Analítico Hierárquico (AHP), permitiu determinar pesos aos fatores: diâmetro, material, setores de abastecimento, declividade e hipsografia, que a partir dos pesos gerados e de álgebra de mapas foi produzido o mapa de susceptibilidade a vazamentos na rede de distribuição de água.

Entre os métodos de análise multicritérios mais difundidos e utilizados globalmente, o Processo Analítico Hierárquico ou em inglês Analytic Hierarchy Process (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1980, nos Estados Unidos. Trata-se de uma metodologia voltada para solução de problemas de escolha (opção), aplicada para diversas situações em que existam estruturas complexas. O método AHP analisa matematicamente comparações pareadas entre fatores em conjunto aos julgamentos e pesos de especialistas para avaliar critérios qualitativos ou intangíveis. Assim, são identificados fatores ou atributos que, quando selecionados, são organizados hierarquicamente descendentes de modo geral até o objetivo ou solução para o(os) problema(as) até o critério, subcritério e alternativas em diversos níveis Saaty, 1990 apud. Pimenta (2019).

A técnica AHP é adequada para aplicações que envolvem diversos fatores decisivos. Portanto, também é pertinente na construção de mapas de susceptibilidade, que frequentemente são construídos a partir de grande quantidade de dados e envolvem diversos fatores, Kordi 2008 apud Souza (2017).

Desde sua apresentação, o método AHP vem sendo aplicado nas mais diversas áreas de especialidade para resolver problemas de decisão em sistemas complexos que envolvem múltiplas variáveis e vem entregando resultados satisfatórios.

Segundo Campolina (2017), o método AHP possui estrutura com facilidade de uso que a confere versatilidade para se adaptar a diversos tipos de problemas. Ainda, de acordo com a revisão sistêmica de Guarnieri (2015), o AHP foi o método ADMC de uso individualizado mais utilizado atualmente para auxiliar em decisões complexas de seleção de fornecedores.

Considerando o consagrado uso do método AHP nas mais diversas áreas de conhecimento e suas aplicações recentes desenvolvidas na área de controle de perdas e gerenciamento de redes de distribuição de água por Souza (2017), este foi o método multicritério adotado para aplicação nesse projeto de pesquisa.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A estatística é a ferramenta matemática fundamental para o método científico pois tem condições de quantificar a certeza na tomada de decisão por meio da definição do erro admissível sobre a análise dos dados amostrais que representam uma população. Assim, a estatística contribui para reduzir ao mínimo a subjetividade e a interpretação imprecisa em uma pesquisa científica.

A estatística oferece processos para recolher, organizar, classificar, apresentar e interpretar conjuntos de dados. A quantidade de métodos estatísticos reconhecidos é muito ampla e a escolha de qual método usar é feita em função dos tipos de dados analisados, dos tipos de associações entre os dados que pretendem se verificar e de quais hipóteses precisam ser respondidas pela pesquisa.

Os principais testes estatísticos são divididos em dois grandes grupos: os paramétricos e os não paramétricos. Os testes paramétricos exigem que sejam aplicados em variáveis respostas contínuas e que sejam cumpridos os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Já os testes não paramétricos dispensam conhecimento a priori referente à distribuição de probabilidade dos dados e são adaptáveis aos estudos que envolvem variáveis com níveis categóricos ou ordinais, de acordo com Fonseca e Martins apud. Detoni (2020).

Sendo assim, antes da utilização de qualquer teste estatístico, o primeiro passo a ser realizado é o teste de normalidade, necessário para definir quais os testes sucessores mais apropriados.

Nesse capítulo 3.7 são abordados os temas: coleta de dados, análise descritiva, teste de normalidade e testes de tendência, discorrendo apenas sobre os tipos de testes e técnicas que foram usadas nessa pesquisa.

3.7.1 Planos amostrais

A situação ideal para se estudar um fenômeno é trabalhar com os dados de toda a população estatística. No entanto, atender a essa condição normalmente é inviável tendo em vista os custos, falta de dados etc. Sendo assim, quando não é possível analisar os dados de toda a população estatística se faz necessário selecionar uma parte da população, que é chamada de amostra, com a finalidade de representar o todo.

No planejamento da amostragem podem ser escolhidas diversas técnicas que são elegíveis em função das características da população estatística e do método possível de se realizar a coleta dos dados. Os procedimentos focos dessa pesquisa foram as amostragens por agrupamentos e por estratificação.

Conforme Lopes (2003), os procedimentos de amostragem por agrupamento são aplicados em populações que devido as suas características devem ser coletadas por conglomerados ou agrupamentos, por exemplo uma região de abastecimento. Já os procedimentos por estratificação são aplicados quando nos depararmos com populações heterogêneas, na qual pode-se distinguir subpopulações mais ou menos homogêneas, por exemplo tipos zonas de pressão, idade da rede etc.

Por fim, o plano de amostragem é uma etapa muito relevante da análise estatística, tendo em vista que ele será determinante para se obter uma amostra que atenda com a maior proximidade possível a representação das variabilidades e proporcionalidades da população estatística.

3.7.1.1 Tamanho da amostra e erro estatístico

Em toda avaliação onde não é possível trabalhar com os dados da totalidade da população estatística, ocorre um erro amostral. Diversas técnicas são disponíveis para calcular o erro amostral. Nesse estudo, conforme Fonseca e Martins (2011), foram utilizadas a equação

2 para definir o tamanho da amostra e a equação 3 para correção do tamanho da amostra em função da população.

$$n_o = \frac{1}{E_o^2} \quad (2)$$

Onde: n_o é o tamanho da amostra sem correção, E_o é o erro máximo pretendido.

$$n = \frac{N \cdot n_o}{N + n_o} \quad (3)$$

Onde: n é o tamanho da amostra corrigido, N população estatística.

3.7.2 Análise Descritiva

A análise estatística descritiva é a primeira etapa da avaliação dos dados da amostra, utilizada para descrever e resumir os dados. Nesta, as variáveis são descritas de forma separada ou associada com as medidas de variáveis quantitativas dependentes e independentes, as quais sejam assumidas como interessantes para uma leitura e interpretação inicial das relações entre os dados.

Algumas das medidas mais utilizadas para resumir os dados quantitativos são listados a seguir: média, mediana, quartis, frequências, intervalo-interquartil, variância e desvio padrão.

Nessa etapa são utilizados muitos tipos de gráficos para facilitar a interpretação dos dados. Entre os gráficos mais utilizados estão o boxplot, histogramas, barras empilhadas etc.

3.7.3 Testes de Normalidade

A normalidade pressupõe que os dados de uma variável contínua, extraídos de determinada amostra estudada, devem possuir distribuição correspondente à distribuição normal gaussiana. Há diferentes formas de testar essa suposição, que varia desde metodologias descritivas, que analisam visualmente o resultado de alguns gráficos, bem como alguns testes de aderência, tais como o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste de Shapiro-Wilk (SW), conforme Leotti e Corrar apud. Detoni (2020).

A normalidade das variáveis é exigida para a definição de qual o método de inferência estatística deve ser usado. Portanto, deve ser o primeiro teste a ser aplicado após a análise descritiva, sendo que quando a distribuição é normal são classificados como paramétricos, e quando não tem distribuição normal são definidos como dados não paramétricos.

O teste de normalidade foco dessa pesquisa será o Kolmogorov-Smirnov (KS). Para executá-lo deve ser definido o nível de significância, que é a probabilidade de se rejeitar incorretamente a hipótese nula (H_0) quando ela é verdadeira, sendo este o valor de referência que será usado como regra de decisão. O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) fornece o parâmetro de valor de significância (p-value), que é interpretado como o grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal.

A regra de decisão adotada para mostrar se a distribuição é Normal é aceitar H_0 . De forma complementar, a regra de decisão adotada para mostrar que a distribuição não é Normal, é rejeitar H_0 . A regra segue a seguinte lógica:

- 1 - se $p\text{-value} < \alpha$, rejeita-se H_0 e o conjunto não possui distribuição Normal;
- 2 - se $p\text{-value} \geq \alpha$, não se rejeita H_0 e é possível que o conjunto de dados possua distribuição Normal.

3.7.4 Testes de Tendência

O teste de tendência é um teste estatístico de inferência que, admitindo um erro de generalização adotado, averigua a veracidade de uma hipótese nula (H_0), onde não há diferença entre as variáveis, buscando rejeitá-la. Essa hipótese considera que as médias de dois ou mais conjuntos são iguais estatisticamente. Caso for rejeitada, existe uma hipótese alternativa (H_1) indica que as médias dos conjuntos são diferentes (teste bilateral), ou que uma delas é maior ou menor que a outra (teste unilateral).

Qualquer teste estatístico possui um erro intrínseco. A probabilidade do erro tipo I é chamada de nível de significância (α), que é a probabilidade de se rejeitar H_0 quando ele é verdadeiro. Ou seja, α é a probabilidade máxima de erro admitida para decidir estatisticamente pela hipótese H_1 .

Geralmente se adotam valores de α igual a 10%, 5% e 1%. De modo complementar, o nível de confiança (confiabilidade) é igual a $1 - \alpha$.

Resumidamente, as etapas utilizadas para proceder com o Teste de Hipóteses são:

- a) estabelecer as hipóteses estatísticas;
- b) determinar a região crítica (se teste é bilateral ou unilateral);
- c) fixar o nível de significância;
- d) determinar o teste de acordo com distribuição e variância;
- e) calcular medida estatística do teste (t observado), para hipótese nula;
- f) estabelecer as regras do teste para rejeitar hipótese nula;
- g) calcular a probabilidade de significância (p valor);
- h) aplicação do critério de decisão do teste;
- i) conclusão estatística.

Os testes de tendência dessa pesquisa, em conformidade com a distribuição dos dados quantitativos, são todos do tipo não paramétricos com variáveis dependentes ordinais de duas categorias ou de três ou mais categorias. Sendo que a variável que tem até dois agrupamentos ordinais o método utilizado foi o de Mann-Whitney, e quando a variável possui três ou mais agrupamentos ordenados foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis.

O teste de Mann-Whitney é indicado para comparação de dois grupos não pareados para se verificar se pertencem ou não à mesma população. Em outras palavras, verifica-se se há evidências para acreditar que valores de um grupo A são superiores aos valores do grupo B. De acordo com Fonseca e Martins (2011), “é usado para testar se duas amostras independentes foram retiradas de populações com médias iguais. Trata-se de uma interessante alternativa ao teste paramétrico para igualdade de médias, pois o teste Mann-Whitney não exige nenhuma consideração sobre as distribuições populacionais e suas variâncias. Este teste pode ser aplicado para variáveis intervalares ou ordinais.” Os valores de U calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas.

Conforme Fonseca e Martins (2011), o teste de Kruskal-Wallis é o teste não paramétrico utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes e pode ser aplicado para variáveis intervalares ou ordinais. Ele nos indica se há diferença entre pelo menos dois deles. O método consiste em primeiramente atribuir a cada valor observado, um posto, sempre atribuindo o menor posto ao menor valor e o maior posto ao maior valor. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas.

3.8 MAPEAMENTO EM GIS

Segundo Tsutiya (2006), “Os Sistemas de Informações Geográficas (GIS) permitem integrar os dados, processá-los e gerar novas informações de acordo com as necessidades do usuário. Têm capacidade analítica ilimitada das situações reais atuais (diagnóstico) e projetadas, através da realização de simulações. As aplicações são mais comuns nas atividades cuja análise requer manipulação de mapas e dados, entre as quais se incluem a operação de redes de utilidades (água, esgoto, gás, etc).”

Conforme Yoshimoto, Tardelli Filho, Sarzedas (1999), os sistemas de informações geográficas possibilitam uma resposta rápida na tomada de decisões. Através de um mapa de pressões estáticas resultante de um mapa altimétrico da região, do nível de água do reservatório e mapeamento de vazamentos é possível localizar as áreas onde as pressões devem ser reduzidas.

Consoante Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), um cadastro técnico desejável deve ser em GIS abordando toda a malha de distribuição, setores de abastecimento, zonas de pressão, DMC e setores de manobras. A correlação entre o cadastro, os dados operacionais e de manutenção devem gerar mapas temáticos e permitir a exportação para elaboração de modelos hidráulicos.

De conformidade com Souza (2017), a análise multicritério, processo analítico multicritério (AHP), é aplicável juntamente com álgebra de mapas para resultar em mapeamentos de áreas com maior susceptibilidade de vazamentos.

4 METODOLOGIA

Essa pesquisa foi desenvolvida com dados reais de quatro regiões de abastecimento do SAA do SAMAE de Jaraguá do Sul, ver Figura 15. As quatro regiões foram escolhidas em função da disponibilidade de dados e de terem permanecido com condições de operação constante durante todo o ano de 2019, ano que foi usado como o período temporal deste estudo.

Os dados foram extraídos dos sistemas de gestão comercial, operacional e de manutenção e cruzados com dados cadastrais da rede de distribuição em ambiente GIS. O nível de detalhamento dos dados usados chegou aos ramais de ligação.

Figura 15 - Localização da cidade de Jaraguá do Sul



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Jaragu%C3%A1_do_Sul

O estudo seguiu uma abordagem quanti-qualitativa, baseada na coleta e análise estatística inferencial de dados numéricos e nominais ordinais formatados na matriz de dados básicos, ver Tabela 8, que foi construída pela coleta, organização, processamento e cruzamentos dos bancos de dados do SAMAEJS.

Essa pesquisa se fundamentou em desenvolver o cálculo de risco de vazamento de acordo com as características comerciais, cadastrais, de operação e de manutenção de cada um dos ramais de ligação da amostra de estudo. Obtendo-se os resultados de risco foi comparado a assertividade dos dois métodos verificando-se qual deles apresentou uma correlação mais forte

com os dados de registros de ordens de serviços georreferenciadas de vazamentos visíveis e de consertos de ligações observadas no ano de 2019.

O uso dos registros de vazamentos visíveis e de consertos de ligações foram eleitos porque no cadastro operacional de ocorrências ele é mais fidedigno com a realidade do que os cadastros de vazamentos não visíveis, haja vista que estes não possuem um registro de ordens de serviço específico e georreferenciado.

Com vistas em desenvolver um mapa de suscetibilidade, essa pesquisa compara duas metodologias, uma Unicritério e a outra Multicritério, para representar os resultados de risco em mapas de calor.

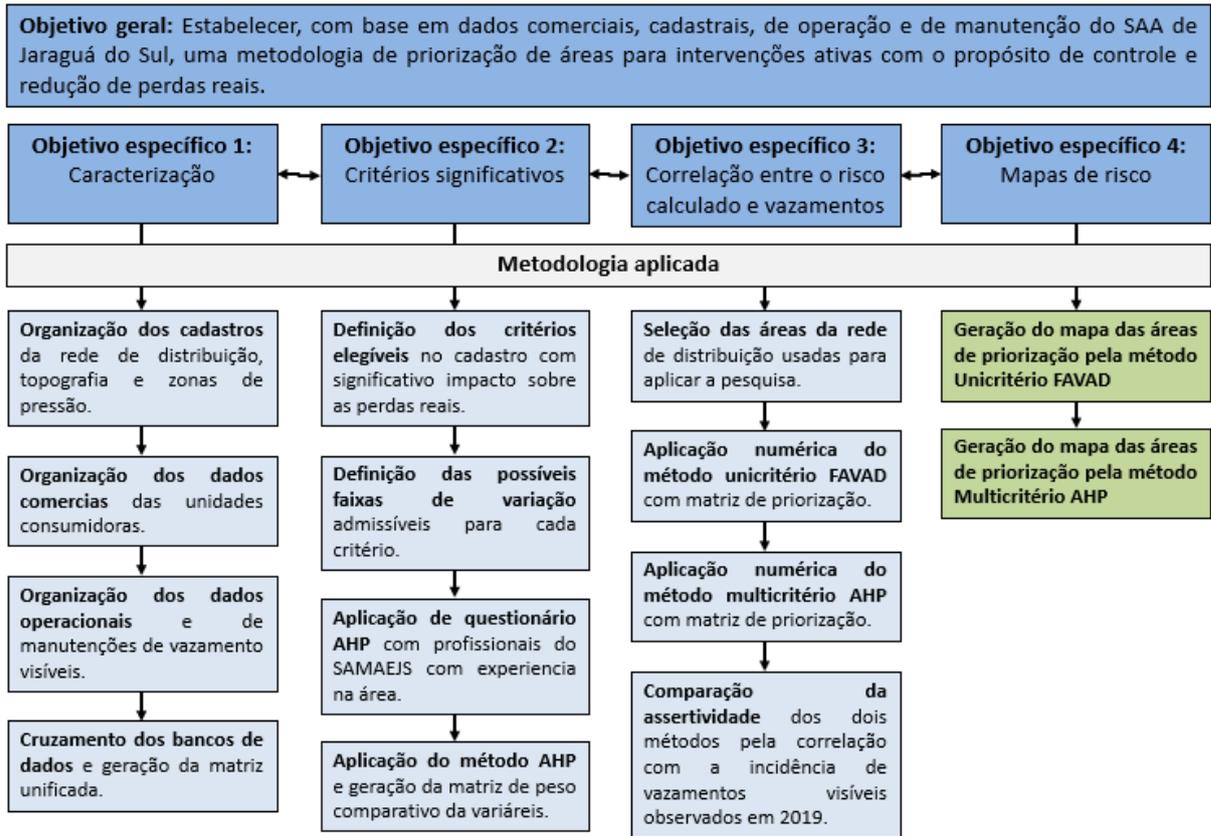
A metodologia multicritério está embasada na seleção de critérios elegíveis no cadastro do SAMAEJS com significativos impactos sobre as perdas reais e a atribuição de pesos pareados a esses critérios de acordo com a percepção de profissionais do SAMAE com experiência na área.

Os resultados da média dos pesos pareados atribuídos por cinco profissionais com experiência na pesquisa de vazamentos resultou no peso global para cada um dos seis critérios, os quais foram usados nos cálculos para determinar o risco de vazamento para cada um dos ramais de ligação. Os resultados dos riscos calculados foram ordenados de forma crescente e agrupados em cinco níveis de riscos, cada um contabilizando 20% dos ramais da amostra.

Já o método Unicritério considera apenas o critério de pressão estática nos mesmos ramais de ligação para calcular o risco de vazamentos, resultando também em cinco níveis de risco ordenados, com o agrupamento de 20% dos ramais em cada grupo.

As etapas de desenvolvimento do método aplicado nessa pesquisa são sintetizadas na Figura 16.

Figura 16- Fluxograma da metodologia com o ordenamento dos estudos investigativos de acordo com os objetivos do trabalho



4.1 TAMANHO DA AMOSTRA E ERRO ESTATÍSTICO

O SAA de Jaraguá do Sul possuía, em 2019, 42.115 ligações ativas e, para viabilizar o desenvolvimento da pesquisa, foram selecionadas de forma representativa 12.349 ligações ativas que, conforme equação 2 e equação 3, resulta em um erro amostral de 0,75%.

$$n_o = \frac{1}{0,0075^2} \quad (2)$$

$$n = \frac{42115 \cdot 17472}{42115 + 17472} \quad (3)$$

4.2 COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS CADASTRAIS, COMERCIAIS E OPERACIONAIS

Os dados que embasam esse trabalho são provenientes dos sistemas de gestão cadastral, comercial e operacional do SAMAEJS. Para desenvolver esse estudo foi feito o cruzamento das três bases de dados nos softwares Excel e Qgis. Estes dados foram organizados na forma de banco de dados formando a matriz de dados básicos, conforme Tabela 8, a qual serviu para os posteriores cálculos de riscos e avaliações estatísticas.

4.2.1 Dados cadastrais

O SAMAE-JS mantém uma base cadastral da rede de distribuição em GIS com informações de atributos como: diâmetro, material, ramais de ligação, delimitação das zonas de pressão etc. Duas informações relevantes para as perdas reais que atualmente não são computadas no cadastro é a idade e classe de pressão da rede secundária, por isso esses critérios não foram elencados para representar os seus impactos no método AHP.

Todos os dados vetoriais possuem informações de altimetria com base no modelo digital de terreno adquirido pela Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Os dados de cadastro da rede são administrados pelo setor de projetos do SAMAEJS, que apesar de trabalhar sobre uma base cadastral comercial georreferenciada com boa confiabilidade dos cadastros das unidades consumidoras, preexistiam falhas de cadastro como, por exemplo: falta de informação do diâmetro e material da rede secundária de 6.328 ramais e dos 6.021 ramais restantes, os que estão em ruas que possuem mais de um diâmetro de rede disponível, tem baixa confiabilidade, haja vista a variabilidade de como essa informação foi inserida no cadastro.

Contudo, para viabilizar a aplicação do método Multicritério, as informações pré-existentes disponíveis de diâmetro e material da rede as quais os 6.021 ramais estão conectados foram tomadas como representativas. Já os demais 6.328 ramais de ligação com essas informações faltantes, foram avaliadas no mapeamento GIS e inseridas manualmente na tabela de atributos pelo autor usando o critério de proximidade da rede. Também foram identificados 51 ramais de ligação em redes com mangueiras de PEAD DN 32, as quais estão sendo integralmente substituídas motivado por apresentarem um índice de vazamentos muito acima da média. Por esse motivo, essas 51 ligações tiveram os materiais alterados no banco de dados para o material considerado de pior qualidade.

4.2.2 Dados comerciais

O sistema de gestão administrativa do SAMAE-JS possui integração com tecnologia GIS que foi usada na exportação de informações como: localização das unidades consumidoras, endereço completo, ano de ligação na rede etc. Os dados comerciais usados nesse trabalho foram referentes ao ano de 2019 que foram convertidos e exportados para serem operados no software Qgis e Excel.

4.2.3 Dados operacionais

Para geolocalizar os vazamentos visíveis ocorridos em 2019, foi utilizado dois tipos específicos de códigos de ordens de serviço da base de dados de registros operacionais, as quais são abertas vinculadas as unidades consumidoras mais próximas do vazamento visível reportado.

Porém, a localização nem sempre está diretamente associada a ligação ou a rede em que ocorreu o vazamento, o que foi percebido ao exportar a matriz de dados básicos para o mapeamento GIS, onde pode-se perceber forte tendência de que em ruas com duas redes onde cada uma delas pertencia a uma zona de pressão, houve uma incidência de ocorrência de vazamentos muito acima da média nas ligações que pertenciam a zona de pressão mais baixa, o que evidenciou uma associação equivocada do vazamento à ligação que ficava na zona de pressão baixa. Para sanar esses erros, os dados foram avaliados geoespacialmente no mapeamento GIS e as correções foram inseridas manualmente na tabela de atributos pelo autor no desenvolvimento deste trabalho.

As ordens de serviços georreferenciadas foram utilizadas para verificar a assertividade dos dois métodos de cálculo de probabilidade de vazamentos.

4.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS BÁSICOS E DOS RESULTADOS

O trabalho focou-se na incidência de vazamentos visíveis observados em função dos dados básicos dos seis critérios selecionados, numa primeira etapa, e, em função dos resultados dos cálculos de risco de vazamentos Unicritério e Multicritério, numa segunda etapa.

As avaliações estatísticas aplicadas para cada uma das hipóteses, conforme relacionadas na Tabela 2, foram apresentadas na seguinte ordem: análises descritivas, testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov e os testes de tendência de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis.

Na primeira etapa de avaliação, a estatística descritiva e os testes de normalidade e tendência foram aplicados sobre a matriz de dados básicos, conforme Tabela 8. Enquanto na segunda etapa as avaliações se desenvolveram sobre a matriz de dados unificados, que corresponde a união das estruturas das matrizes apresentadas na Tabela 8 e Tabela 6, com base nos resultados de risco calculados pelo unicritério e multicritério.

4.3.1 Análise Descritiva

Nesse capítulo foram avaliadas as relações entre os grupos de cada critério selecionado sobre a incidência de vazamentos e, como medida auxiliar, foram incluídas medidas da pressão estática.

O uso da pressão estática foi considerado importante pois, apesar de ela não ser a única variável que determina a ocorrência de um vazamento, ela é, diferente de todos os outros critérios avaliados, a única que tem atuação universal sobre todos os pontos de fragilidade da rede. Nas análises descritivas a pressão estática é apresentada junto das frequências de ramais e de incidência de vazamentos.

As medidas que foram utilizadas nessa pesquisa são listadas a seguir: frequências, média, mínima, máxima, proporcionalidade e desvio padrão. Quanto a apresentação dos resultados foi por meio de tabelas e gráficos de linhas, barras e boxplot.

4.3.2 Testes de Normalidade

Nesse estudo foi utilizado o método de Kolmogorov-Smirnov e adotado um nível de significância menor que 5% (α).

A regra de decisão adotada para mostrar se a distribuição é Normal, é rejeitar H_0 : i: se $p\text{-value} < \alpha$, rejeita-se H_0 , isto é, o conjunto de dados não possui distribuição Normal; ii: se $p\text{-value} \geq \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, é possível que o conjunto de dados possua distribuição Normal.

4.3.3 Testes de Tendência

Os testes de tendência são tipos de testes estatísticos de inferência que, admitindo um erro de generalização, averigua a veracidade de uma hipótese nula (H_0), onde não há diferença entre as categorias, buscando rejeitá-la. Essa hipótese considera que as médias de conjuntos diferentes são iguais estatisticamente.

Nesse estudo, as hipóteses alternativas foram todas unilaterais e os valores de comparação foram médias e proporções. Como referência de decisão adotou-se o nível de significância α igual a 5% para aceitar que existe diferença entre as categorias das variáveis analisadas.

Para verificação da existência de influência das variáveis independentes sobre a variável dependente é apresentada na Tabela 2 com a caracterização dos tipos de variáveis, os testes de hipóteses utilizados e a regra de decisão.

Tabela 2 - Descrição dos testes de hipóteses e da regra de decisão para cada situação avaliada

Hipóteses H1	Variável independente	Variável dependente	Teste de tendência	Regra de decisão	Resultado do teste
1 - Relação direta entre as cinco faixas de pressão estática e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Pressão estática - quantitativo ordinal - 5 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Kruskal-Wallis	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
2 - Relação inversa entre ter manutenção preventiva e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Manutenção preventiva em VRP's e Booster's - qualitativo ordinal - 2 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Mann-Whitney	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
3 - Relação direta entre a proporção de ramal colar de tomada e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Tipo de ramal - qualitativo ordinal - 2 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Mann-Whitney	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
4 - Relação direta entre a proporção de rede de amianto e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Material da rede - qualitativo ordinal - 5 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Kruskal-Wallis	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
5 - Relação inversa entre a proporção de redes no passeios e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Localização da rede secundária no passeio - qualitativo ordinal - 2 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Mann-Whitney	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
6 - Relação inversa entre a proporção DMC em operação e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	DMC em operação - qualitativo ordinal - 2 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Mann-Whitney	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
A - Relação direta entre o risco de vazamentos Unicritério e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Faixa de risco de vazamento Unicritério - quantitativo ordinal - 5 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Kruskal-Wallis	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
B - Relação direta entre o risco de vazamentos Multicritério e a quantidade de ocorrência de vazamentos visíveis	Faixa de risco de vazamento Multicritério - quantitativo ordinal - 5 categorias	Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019	Kruskal-Wallis	Precisa atingir $\alpha < 0.05$	Regra atendida (H1) = existe diferença entre as categorias. Regra não atendida (H0) = não existe diferenças entre as categorias.
C - A priorização pelo Método Multicritério AHP leva a obtenção de resultados diferentes e mais assertivos na priorização de áreas para controle de perdas reais, comparada à análise pelo Método Unicritério FAVAD.		Incidência de ocorrência de vazamentos por ramal de ligação no ano 2019			O método que apresentar o maior t-observado será reconhecido como o de diferença mais forte na incidência de vazamentos entre as categorias. Portanto será considerado o método mais assertivo.

4.4 MÉTODO UNICRITÉRIO FAVAD

Os dados de pressão estática de cada ramal de ligação não possuem uma distribuição normal e por esse motivo foram ranqueadas e ordenadas em quintil. A pressão média de cada quintil é a base numérica para determinar o risco de vazamentos pelo método unicritério FAVAD (Fixed and Vvariable Area Discharge).

Com base na pressão estática média de cada quintil foi determinado o risco de vazamento de acordo com a equação 1, sendo que o valor de risco máximo é igual a 1. Nesse trabalho se adotou a $N1 = 1,42$ em função da composição dos materiais da rede da amostra, . O percentual do risco calculado pelo método FAVAD serviu para definir os percentuais dos pesos tanto do método unicritério quanto do critério pressão estática do método multicritério, conforme indexado na Tabela 5. A equação 4 demonstra a forma de operar os cálculos de acordo

com a faixa de pressão estática que cada ramal se encontra adequada a matriz de valores da Tabela 5.

$$Risco_{Uni} = (1press\tilde{a}o) \quad (4)$$

Onde: **Risco_{Uni}** = valor do cálculo de risco de acordo com a pressão estática de cada ramal, podendo variar de 0,26 a 1.

Os cálculos dos riscos de vazamentos para cada um dos ramais de ligação pelo método Unicritério FAVAD foram realizados no software Excel e os resultados são apresentados na Tabela 31 e foram incluídos como um campo novo na base de dados para a formação de uma matriz unificada, conforme Tabela 6, que contém os dados básicos e de resultados dos cálculos de risco.

4.5 MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP

De acordo com Souza (2017), o método de análise hierárquica de processo (AHP) foi proposto em Saaty (1978) onde foi demonstrado ser possível chegar a uma resposta assertiva de uma questão complexa por intermédio de uma estrutura lógica e hierárquica pela abordagem do critério global único de síntese.

A aplicação do método tem por princípio utilizar a opinião de especialistas na determinação das importâncias relativas dos critérios que façam parte do processo decisório e assim determinar o peso global de cada um dos critérios. No caso desse estudo, o peso global de cada critério foi usado para calcular o risco de ocorrência de vazamento em cada um dos ramais avaliados. Com os cálculos dos riscos feitos para cada ramal de ligação, os resultados foram organizados na forma de quintil para agrupar cinco faixas de risco para posterior aferição da assertividade pela correlação com a incidência de vazamentos visíveis observados no ano de 2019.

A sistemática desse método foi aplicada por meio do roteiro sequencial que segue: (1) delimitar o problema, (2) definir a hierarquia entre os critérios com a opinião média dos especialistas, (3) construir a matriz de comparações pareadas entre esses critérios, (4) verificar a consistência dessa matriz, (5) determinar o peso global de cada um dos critérios e (6) aplicá-los no cálculo indexador do risco de vazamentos para cada um dos ramais de ligação.

As comparações pareadas dos critérios feitas pelos especialistas são necessárias para determinar a importância que um critério tem em relação ao que é comparado, o que permite construir a matriz com a composição do peso global de cada critério. A escala numérica e nominal de importância pareada é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de importância pareada dos critérios

VALOR DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO
1	MESMA IMPORTÂNCIA
2	IMPORTÂNCIA MODERADA
3	IMPORTÂNCIA FORTE
4	IMPORTÂNCIA MUITO FORTE
5	IMPORTÂNCIA EXTREMA

Construída a matriz de comparações pareadas, é necessário calcular as equações 5 e 6 que seguem:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Onde: **IC** = índice de consistência, λ_{\max} = o maior autovalor da matriz de comparações pareadas elevada ao seu posto, **n** = o número de critérios utilizados na tomada de decisão.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (6)$$

Onde: **RC** = razão de consistência, **IA** = a inconsistência aleatória.

A inconsistência aleatória depende da quantidade de elementos considerados na tomada de decisão. Os valores de IA utilizados em aplicações com até 6 elementos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Índice de consistência aleatória, Saaty (1980) apud SOUZA (2017).

n	1	2	3	4	5	6
IA	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24

Para que a matriz de comparações seja considerada consistente, o valor de RC deve ser inferior a 0,10.

Por fim, o peso global de cada critério é determinado com a equação 7, descrita em Saaty (2008) apud Souza (2017).

$$P(i) = \frac{\sum_{j=1}^n M(i,j)^n}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n M(k,j)^n} \quad (7)$$

Onde: $P(i)$ = o peso que o fator i exerce no processo de decisão, $M(i, j)$ = o elemento da matriz de comparações na linha i e a coluna j , n = posto da matriz de comparações.

Com o peso global de cada critério e a matriz de dados básicos com a posição de cada critério para cada um dos 12.349 ramais de ligação, foi calculado o valor indexador de risco de vazamento que pode ser no mínimo zero e no máximo 1.

4.5.1 Seleção dos critérios para aplicação do método AHP

A pressão estática tem uma relação direta com a vazão dos vazamentos, que por conseguinte manterá relação com a incidência de vazamentos visíveis. Por esse motivo foi um fator selecionado para avaliar tanto o método multicritério quanto o método unicritério.

Uma cultura de manutenção preventiva em VRP's e Booster's confere a estabilidade da pressão na rede, assim como a permanência da pressão em níveis planejados e diminui o risco da ocorrência de golpes de sobre pressão. Sendo assim é um fator que tem relação inversa com a incidência de vazamentos e ruptura nas redes e ramais. Desta forma foi escolhido como um critério para compor o método AHP.

Os materiais dos ramais e das redes podem ter características mecânicas que os tornam mais frágeis, assim como baixas resistências químicas que os levam a perda de material e consequente perda de resistência mecânica, sendo assim o tipo de material pode ter relação com a incidência de vazamentos. Com isso o tipo de ramal colar de tomada e o material da rede foram eleitos como critérios a serem considerados.

Os esforços mecânicos externos podem ser causas de trincas e rachaduras nas redes e conexões. Tendo em vista que as redes implantadas sob as vias de circulação de veículos estarem expostas as maiores cargas de rolagem e recalque do solo, a localização da rede foi eleita como um critério de avaliação.

Os DMC|'s são responsáveis por monitorar as regiões que apresentam picos repentinos de vazão noturna e com isso são muito efetivos no direcionamento dos trabalhos de campo de busca por vazamentos. Desta forma pode existir uma relação inversa entre a existência de DMC e a incidência de vazamentos. Por esse motivo foi selecionado como critério para essa pesquisa.

4.5.2 Percentual do peso global AHP em função da posição dos critérios

Entre os critérios selecionados, temos cinco qualitativos e um escalar. Quanto aos qualitativos, quatro possuem duas categorias e um deles possui cinco categorias. Já o critério escalar, possui uma distribuição não normal e por isso foi ranqueado e ordenado em quintil.

A Tabela 5 apresenta o percentual de aplicação do peso global em função da posição alternativa para cada um dos seis critérios considerados no método multicritério.

Tabela 5 - Percentual da aplicação do peso global de acordo com a posição alternativa dos critérios

% do peso pela posição	1 - Faixa de pressão estática	2 - Manutenção preventiva em VRP ou Booster	3 - Tipo de ramal de ligação	4 - Material da rede	5 - Localização da rede secundária	6 - Existência de DMC em operação
0.000		Tem	Colar de tomada		Passeio	Tem
0.200				PEAD		
0.260	Faixa de pressão 1 [PE média = 26.77mca]					
0.359	Faixa de pressão 2 [PE média = 33.65mca]					
0.400				FOFO		
0.598	Faixa de pressão 3 [PE média = 48.16mca]					
0.600				PVC		
0.800				PRFV		
0.801	Faixa de pressão 4 [PE média = 59.19mca]					
1.000	Faixa de pressão 5 [PE média = 69.20mca]	Não tem	Tê de serviço	AMIANTO	Via pública	Não tem

Na equação 8 é apresentada a fórmula de cálculo do risco de vazamento conforme opinião média dos profissionais do SAMAE sobre as comparações pareadas entre critérios demonstrada na Tabela 33 e as ponderações do peso relativo do critério pressão estática que varia em função da faixa de pressão estática na qual o ramal se encontra, de acordo com as fundamentações dos capítulos 3.4.5 e 4.4.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Risco}_{Multi} = & (1_{press\tilde{a}o})x 0,3204 + (2_{manuten\tilde{c}\tilde{a}o})x 0,2870 + \\
 & (3_{ramal})x 0,1402 + (4_{material})x 0,0805 + (5_{localiza\tilde{c}\tilde{a}o})x 0,0588 + \\
 & (6_{dmc})x 0,1132
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Onde: \mathbf{Risco}_{Multi} = risco de vazamento multicritério por ramal, $(1_{press\tilde{a}o})$ = pressão estática do ramal, $(2_{manuten\tilde{c}\tilde{a}o})$ = existência de manutenção preventiva,

(**3ramal**) = tipo de ramal, (**4material**) = material da rede secundária, (**5localização**) = localização da rede secundária, (**6dmc**) = ramal dentro de região de DMC.

Por fim, com o uso da equação 8 e da Tabela 5 foi possível realizar o cálculo do risco Multicritério de vazamentos para os 12.201 ramais de ligação da amostra da pesquisa.

4.6 MATRIZ DE DADOS BÁSICOS E DE RISCOS

Após os cruzamentos dos bancos de dados, a remoção dos erros de cadastro e os ajustes dos erros de localização dos vazamentos visíveis em regiões de fronteira de zonas de pressão, obteve-se a matriz de dados básicos, conforme Tabela 8, com as características dos seis critérios para cada um dos 12.201 ramais de ligação.

A matriz de dados básicos com a posição de cada um dos seis critérios para cada um dos 12.201 ramais de ligação, apresentada na Tabela 8, foi a base informacional para realizar os cálculos de risco de vazamentos pelos métodos Unicritério FAVAD e Multicritério AHP por meio da aplicação da equação 4 e equação 8, ambas fundamentadas pela Tabela 5.

Finalizada a realização dos cálculos de risco para cada um dos ramais de ligação usando os dois métodos, foram adicionados novos campos à estrutura da matriz de dados básicos, gerando assim uma matriz unificada de dados básicos e de resultados para otimizar as avaliações estatísticas inferenciais e o processamento dos atributos em GIS para gerar os mapas de calor. Na Tabela 6 são apresentados os campos que foram adicionados à matriz de dados básicos.

Tabela 6- Matriz Unificada, campos adicionais à matriz de dados básicos

Ramal de ligação	8 - Risco calculado método Unicritério	9 - Ranqueamento Unicritério	10 - Grupos de risco Unicritério	11 - Risco calculado método Multicritério	12 - Ranqueamento Multicritério	13 - Grupos de risco Multicritério
1	0.260	1	1	0.600	1	1
...
12349	1.000	12349	5	1.000	12349	5

4.7 MAPAS DE SUSCEPTIBILIDADE DE VAZAMENTO EM GIS

As ferramentas em GIS possibilitam representações gráficas proporcionais a valores numéricos, por exemplo: mapas de calor, categorização por cores etc. Nessa pesquisa, com o uso do software Qgis, a técnica de representação por mapa de calor foi utilizada para demonstrar os resultados de três situações. A primeira representa a incidência de Ordens de serviços (OS's)

de vazamentos visíveis observados em 2019, já a segunda e a terceira situação representam os mapas de riscos calculados pelos métodos Unicritério e Multicritério, respectivamente. Os mapas de calor são apresentados no capítulo 5.7.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

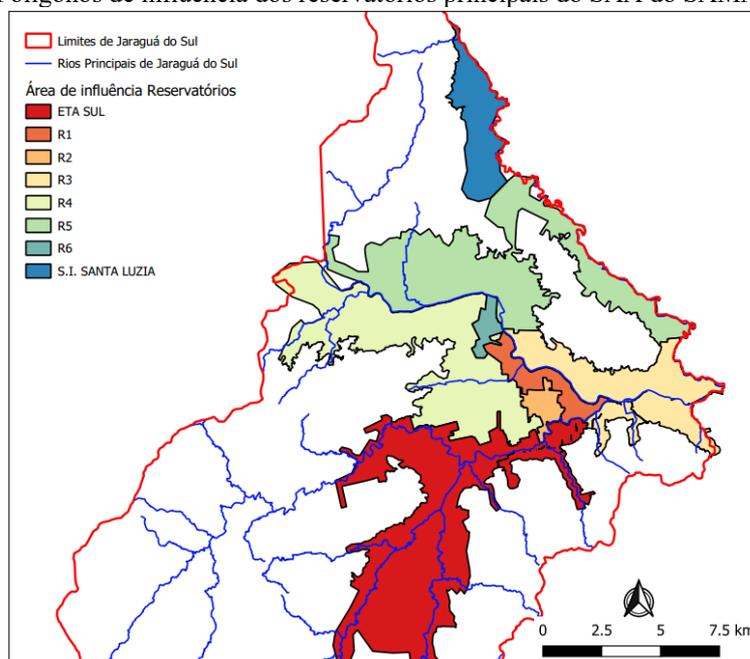
5.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DO ESTUDO

A cidade de Jaraguá do Sul possui uma área territorial de 530,89 km² e uma população estimada pelo IBGE em 2020 de 181.173 habitantes. A cobertura de abastecimento de água é de 100% da população urbana e o sistema de coleta e tratamento de esgoto atende a 90% da população urbana.

Conforme o cadastro técnico e comercial do SAMAEJS, em 2019, o sistema de abastecimento de água de Jaraguá do Sul era constituído de aproximadamente 900 km de redes de distribuição, 42.115 ligações ativas, cerca de 100 zonas de pressão. As ligações atendidas pelo SAA têm variações de cotas entre 25 e 250 metros em relação ao nível do mar. Com relação as medições da água produzida e faturada, o SAA de Jaraguá do Sul tem 100% monitorado.

Uma apresentação dos polígonos de influência dos reservatórios principais referente a configuração da rede em 2020 é encontrada na Figura 17.

Figura 17 - Polígonos de influência dos reservatórios principais do SAA do SAMAEJS em 2020

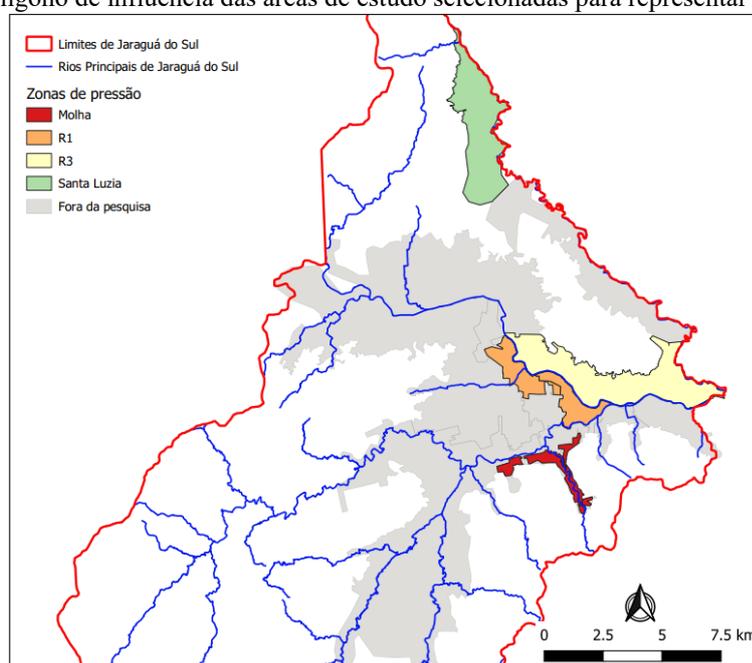


Fonte: o autor.

A rede de distribuição do SAMAE sofreu significativas modificações ao longo do ano de 2020 com alterações na maioria dos reservatórios principais que passaram o regime de distribuição de jusante para montante, além disso, houve a desativação de 5 sistemas independentes de produção de água. Por essa razão, essa pesquisa usou como base de referência os dados cadastrais, operacionais e comerciais do ano 2019.

Tendo em vista, o tamanho, a complexidade do SAA e as inconsistências no cadastro, esse trabalho teve como foco a avaliação dos dados cadastrais, comerciais e operacionais das regiões de abastecimento atendidas pelos reservatórios R1, R3 e pelos Sistemas independentes do Rio Molha e Santa Luzia, os quais totalizam 12.349 ramais de ligação, que representavam uma amostra de 29,32% do total de ligações ativas e aproximadamente 35% do volume total micromedido no SAA de Jaraguá do Sul no ano 2019. Na Figura 18 são representados os polígonos de influência das áreas de estudo desta pesquisa com a configuração da rede no ano de 2019.

Figura 18 - Polígono de influência das áreas de estudo selecionadas para representar o SAA em 2019



Fonte: o autor.

5.1.1 Planos amostrais

Esse trabalho se desenvolveu com base no cálculo de risco de vazamento para cada um dos ramais de ligação. A situação ideal de pesquisa seria fazer o processamento de todos os 42.115 ramais do SAA. Todavia, algumas regiões de abastecimento tiveram as zonas de pressão alteradas ao longo dos anos 2019 e 2020, além de o cadastro ter muitas informações faltantes que demandam correção manual. Por esses motivos, foram eleitas quatro áreas que se mantiveram sem alterações em 2019 e que apresentavam características variadas abrangendo todos os tipos de zonas de pressão, diversificadas idades de rede e de pressão média, conforme Tabela 7. Atendendo assim ao propósito de ter características abrangentes que vão ao encontro da representatividade da população.

Tabela 7 - Variabilidade e representatividade da amostra

Região de abastecimento	Pressão estática média [mca]	Tipos de zona de pressão	Existência de DMC	Ano da implantação do perímetro urbano
R1	31	Reservatório – 1 zona de pressão	Sim	1960
R3	56	Reservatório, booster e vrp – 10 zonas de pressão	Não	1980
Santa Luzia	66	Reservatório – 1 zona de pressão	Sim	1990
Molha	67	Reservatório, booster e vrp – 6 zonas de pressão	Sim	2000

5.2 SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS QUALI-QUANTI ELEGÍVEIS NOS CADASTROS

Em concordância com capítulo 3.4.1, os vazamentos na rede de distribuição têm uma relação de proporção direta com o aumento da pressão, sendo, geralmente, as variações ou o excesso de pressão as causas responsáveis por ocorrências como: rompimentos e intensificação de vazamentos. Nesse sentido, as modificações que visam à redução da pressão média na rede surtem um efeito de melhoria em toda a extensão da rede de distribuição.

Conforme Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015) e Tardelli Filho (2016), as perdas reais estão fortemente relacionadas com a qualidade e estado de conservação dos materiais da rede e a qualidade dos serviços de instalação, assim como, com infraestruturas de monitoramento e com o local de assentamento da rede.

A escolha dos critérios disponíveis nos cadastros com significativo impacto sobre as perdas reais foi feita com base em Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (2015), Tardelli Filho (2016) e em sugestões feitas pelos próprios profissionais do SAMAEJS com experiência no tema e por meio de observações práticas das atividades do setor de controle de perdas do SAMAEJS, haja vista que o autor dessa pesquisa desenvolve suas atividades profissionais no referido setor do SAMAEJS. A seleção resultou em seis critérios elegíveis no cadastro com significativos impactos sobre as perdas reais, conforme Figura 19.

Figura 19 - Os seis critérios avaliados no método multicritério AHP organizados por grupos de causas



Fonte: o autor.

Com a definição dos critérios significativos caracterizáveis nas bases de dados do SAMAEJS foi construída a estrutura de dados básicos, conforme Tabela 8, a qual foi usada como base informacional de entrada para realização dos cálculos de risco de vazamentos.

Tabela 8 - Estrutura da Matriz de dados básicos

Ramal de ligação	1 - Faixa de pressão estática	2 - Manutenção preventiva em VRP ou Booster	3 - Tipo de ramal de ligação	4 - Material da rede	5 - Localização da rede secundária	6 - Existência de DMC em operação	7 - Quantidade de vazamentos atendidos em 2019
1	0.260	1.000	0.000	0.600	0.000	0.000	1
...
12349	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7

5.2.1 Relação de causa e efeito em perdas reais

Foi feita a avaliação do impacto de seis variáveis independentes elegíveis e caracterizáveis sobre a variável dependente de incidência de vazamentos visíveis ocorridas no ano de 2019, conforme resumido na Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios avaliados e suas respectivas classificações estatísticas

Grupo de critério	Descrição do critério	Tipo de variável	Tipo de dado
Controle de pressão	Pressão estática	Independente	quantitativo
Controle de pressão	Manutenção preventiva em VRP's e Booster's	Independente	qualitativo
Infraestrutura de combate ativo a perdas	DMC implantado	Independente	qualitativo
Resistência mecânica	Tipo de ramal	Independente	qualitativo
Resistência mecânica	Material da rede	Independente	qualitativo
Resistência mecânica	Localização da rede secundária	Independente	qualitativo
Vazamentos visíveis	Incidência de ocorrência de vazamentos visíveis por ramal de ligação na faixa de risco no ano 2019	Dependente	quantitativo

5.2.2 Faixa de variação de cada critério

Nas bases cadastrais foi possível categorizar os dados de acordo com a Tabela 10 que apresenta as possibilidades de posições possíveis para cada critério e a lógica para defini-la.

Tabela 10 - Posições possíveis para cada um dos seis critérios

Descrição do critério	Posições possíveis	Lógica de definição
Pressão estática	5	Quintil para formar cinco faixas de pressão. - Maior pressão, pior posição. Maior risco. - Variação da intensidade de cada quintil exponencial e proporcional a equação FAVAD, com $N1=1,42$ valor médio da amostra.
Manutenção preventiva em VRP's e Booster's	2	- Zona de pressão por Booster e VRP's, pior posição. Maior risco. - Zonas de pressão por reservatório, melhor posição. Menor risco.
DMC implantado	2	- Região sem macromedicação, pior posição. Maior risco. - Região sem macromedicação, melhor posição. Menor risco.
Tipo de ramal	2	- Ramal de ligação executado antes 2009 é do tipo colar de tomada, pior posição. Maior risco. - Ramal de ligação executado a partir de 2009 é do tipo tê de serviço articulado em PP, melhor posição. Menor risco.
Material da rede	5	Cinco tipos de materiais com risco de 100% para o pior e 20% para o melhor. Variação é linear respeitando a seguinte ordem, do pior para o melhor: Amianto, PRFV, PVC, FOFO, PEAD.
Localização da rede secundária	2	- Rede sob a via pública, pior posição. Maior risco. - Rede sob o passeio, melhor posição. Menor risco.

5.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS BÁSICOS

Nesse capítulo são apresentadas as análises descritivas feitas em tabelas dinâmicas no Excel, e, os testes de normalidade e os testes de tendência feitos no Software SPSS 28 para cada um dos seis critérios independentes sobre as ocorrências de vazamentos visíveis observadas em 2019.

5.3.1 Critério quantitativo de Pressão Estática

O critério de pressão estática foi ranqueado seguindo as seguintes classificações: primeiramente de forma decrescente de acordo com ano de ligação do ramal na rede e na segunda e última classificação foi crescente em relação a pressão estática de cada ramal, definindo assim um ranqueamento com o sentido de o primeiro valor ser um ramal com pressão mais baixa e idade mais nova até o último que apresenta a pressão mais alta e a idade mais velha.

4.1.1.1 Classificação escalar

A classificação escalar foi feita com intervalos de 15 metros de coluna de água (mca) para cada categoria de agrupamento, o que resultou em uma distribuição desproporcional de ramais em cada categoria. Esse resultado foi determinante para decidir pela uniformização da classificação ordenada por quintis para seguir com todas as avaliações estatísticas realizadas nas variáveis independentes quantitativas desta pesquisa.

5.3.1.1.1 Análise descritiva

Na Tabela 11 e na Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias ranqueadas de forma escalar.

Tabela 11 - Análise descritiva da pressão estática com classificação escalar, não paramétrica

Faixa de pressão estática - escalar	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
5	603	4.94%	233	38.64%	80.70	75.00	89.98	4.24
4	2909	23.84%	418	14.37%	63.71	60.00	74.99	3.79
3	3079	25.24%	354	11.50%	54.68	45.01	60.00	3.71
2	3146	25.78%	224	7.12%	34.92	30.00	44.99	3.04
1	2464	20.20%	184	7.47%	26.80	15.01	30.00	2.76
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

Figura 20 - Gráfico de distribuição das ligações por pressão estática com classificação escalar

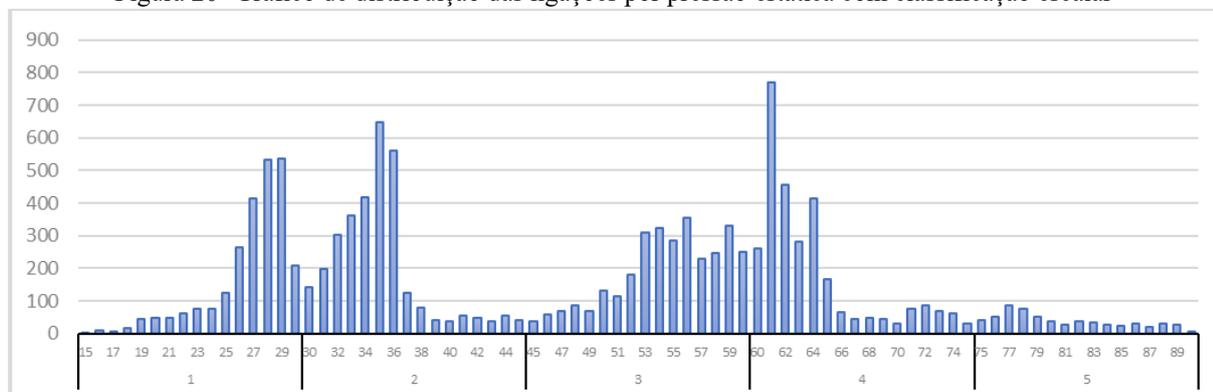


Figura 21 - Gráfico da distribuição das ligações por faixa de pressão escalares

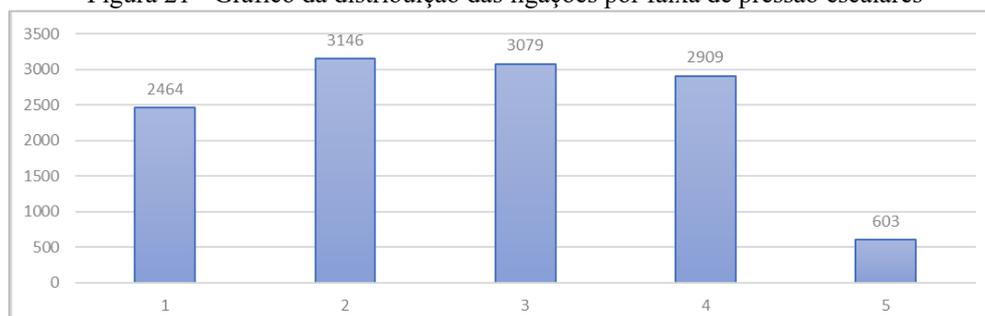


Figura 22 - Gráfico de correlação entre faixa de pressão escalar e a incidência de vazamentos visíveis em 2019

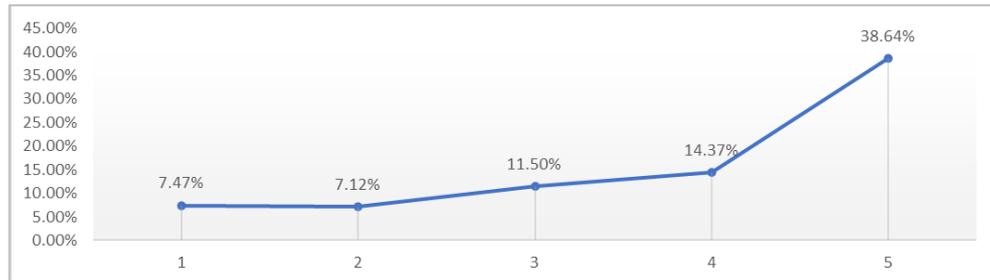
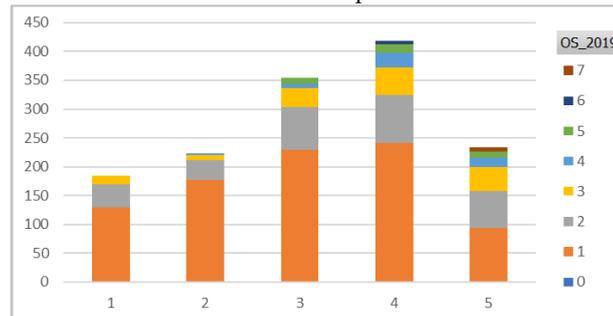


Figura 23 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por faixa escalar e a recorrência por ramal no ano



As ligações que estão na faixa de pressão mais elevada apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 417,4% maior que as ligações dentro da faixa de pressão mais baixa. Todavia, o número de ligações por faixa de pressão estática não é paramétrico o que foi decisivo para reordenar as categorias de forma paramétrica e abandonar o tipo de classificação escalar.

Portanto, os ramais foram reordenados em faixas de pressão formando quintis com quantidades iguais. Desta forma, todas as considerações e demais discussões sobre os resultados desta pesquisa serão feitas com base nas avaliações estatísticas com classificação ordenada.

4.1.1.2 Classificação ordenada em quintil

A classificação ordenada foi feita com intervalos que totalizam 20% dos ramais em cada categoria de agrupamento. Com isso se alcançou a uniformização por classificação ordenada, que foi a mesma classificação usada nas demais variáveis independentes quantitativas desta pesquisa.

4.1.1.2.1 Análise descritiva

Na Tabela 12 e nas Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias da pressão estática ranqueadas de forma ordenada.

Faixa de pressão estática - ordenada por quintil	Contagem de ligações	Frequencia relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
5	2440	20.00%	504	20.66%	69.20	61.51	89.98	7.67
4	2440	20.00%	325	13.32%	59.19	55.64	61.51	1.77
3	2440	20.00%	240	9.84%	48.16	36.20	55.64	6.62
2	2440	20.00%	162	6.64%	33.65	29.94	36.20	1.75
1	2441	20.01%	182	7.46%	26.77	15.01	29.94	2.75
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

Figura 24 - Gráfico de distribuição das ligações por faixa de pressão ordenada e categorias não escalares

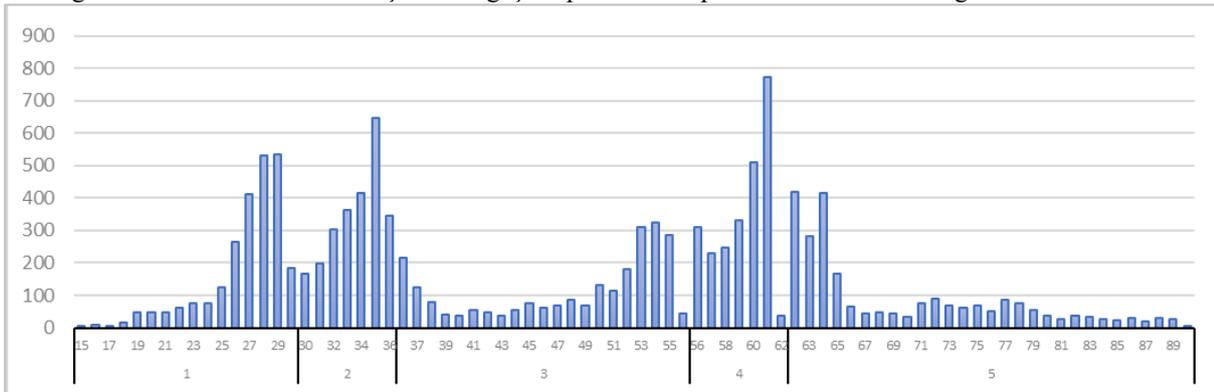


Figura 25 - Gráfico da distribuição das ligações por faixa de pressão ordenada

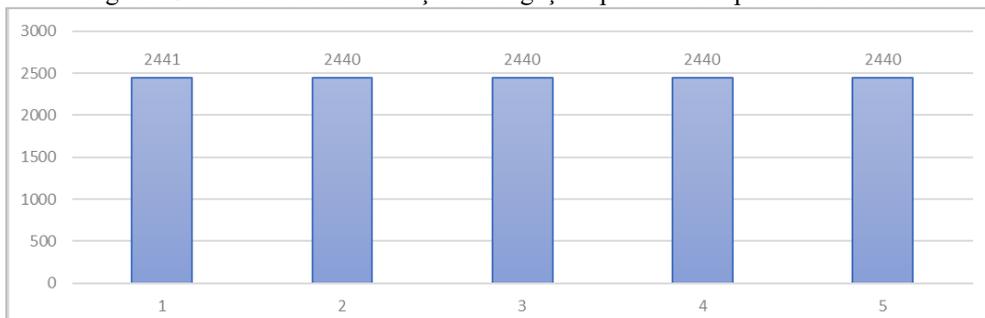


Figura 26 - Gráfico de correlação entre faixa de pressão ordenada e a incidência de vazamentos visíveis em 2019

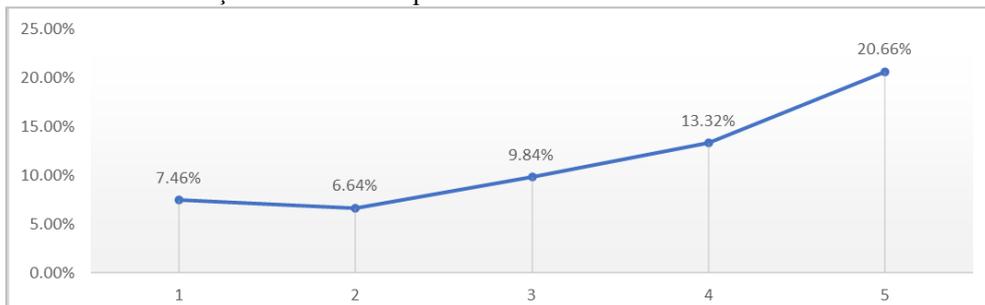
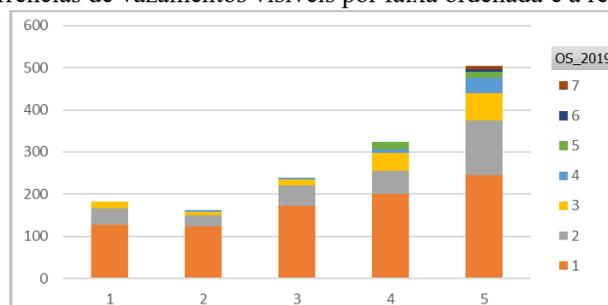


Figura 27 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por faixa ordenada e a recorrência por ramal no ano



4.1.1.2.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as faixas de pressão estática ordenadas foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (K-S) pela faixa de pressão estática ordenada.

		Kolmogorov-Smirnov ^a		
Faixa de pressão estática		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	Muito baixa	,532	2441	,000
	Baixa	,533	2440	,000
	Média	,526	2440	,000
	Alta	,511	2440	,000
	Muito alta	,491	2440	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.1.2.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre as faixas de pressão estática ordenadas foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Kruskal-Wallis. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pela faixa de pressão estática ordenada

Teste Kruskal-Wallis			
Postos			
	Faixa de pressão estática	N	Posto médio
OS_2019	Muito baixa	2441	5934,97
	Baixa	2440	5903,97
	Média	2440	6061,44
	Alta	2440	6176,13
	Muito alta	2440	6428,56
	Total	12201	

Estatísticas de teste ^{a,b}	
OS_2019	
H de Kruskal-Wallis	145,687
df	4
Significância Sig.	<,001

a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Faixa de pressão estática

Verifica-se no teste uma significância $< 0,001$, valor inferior a 0,05. Sendo assim, pode se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação direta entre pressão estática e a incidência de vazamentos, com uma sutil inversão de tendência de relação direta entre as faixas 1 e 2.

As ligações que estão na faixa de pressão mais elevada apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 176,9% maior que as ligações que estão na faixa de pressão mais baixa. Esse resultado foi coerente com a teoria do método FAVAD que se fundamenta na tendência de obedecer a relação direta entre pressão e vazamentos. Entretanto, a incidência de vazamentos visíveis não deve apresentar relação diretamente proporcional, com razão 1:1, com a vazão de vazamentos, haja vista a interferência de outros fatores para acontecer o afloramento da água na superfície, por exemplo a estrutura do subsolo e a capacidade de infiltração deste.

5.3.2 Critério qualitativo de Manutenção Preventiva

O critério qualitativo de existência de manutenção preventiva em VRP's e Booster's foi ranqueado de forma ordenada seguindo as seguintes classificações: o valor mais alto e considerado a pior posição foi atribuído a todos os ramais inseridos em zonas de pressão controladas por VRP's e Booster's considerando que em 2019 era feita apenas manutenção corretiva nesses sistemas, já o valor mais baixo e de melhor posição considera que tem manutenção preventiva ou que não havia necessidade, haja vista as zonas de pressão controladas pelo nível de reservatórios o que levou a inclusão de todos os ramais de ligações que estavam nestas zonas de pressão na posição de menor valor.

4.1.2.1 Análise descritiva

Na Tabela 15 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de manutenção preventiva ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 15 - Análise descritiva pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster

Manutenção preventiva VRP e Booster - (0=tem; 1=não tem)	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
1	869	7.12%	289	33.26%	67.22	15.39	89.98	17.44
0	11332	92.88%	1124	9.92%	45.88	15.01	89.80	15.30
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

4.1.2.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as categorias ordenadas de manutenção preventiva foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados do teste de normalidade K-S pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster

Manutenção preventiva de VRP e Booster		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	Tem	,524	11332	,000
	Não tem	,455	869	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.2.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre a existência de manutenção preventiva em VRP's e Booster's foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Mann-Whitney. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pela existência de manutenção preventiva em VRP e Booster

Postos			
Manutenção preventiva de VRP e Booster	N	Posto médio	Soma de Classificações
OS_2019			
Tem	11332	6045,42	68506722,50
Não tem	869	6825,75	5931578,50
Total	12201		

Estatísticas de teste ^a	
OS_2019	
U de Mann-Whitney	4293944,500
Wilcoxon W	68506722,50
Z	-12,736
Significância Sig. (2 extremidades)	<,001
Sig exata (2 extremidades)	<,001
Sig exata (1 extremidade)	<,001
Probabilidade de ponto	,000

a. Variável de Agrupamento: Manutenção preventiva de VRP e Booster

Verifica-se no teste uma significância $< 0,001$, valor inferior a $0,05$. Desta forma, pode se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação inversa entre ter manutenção preventiva e a incidência de vazamentos.

As ligações inclusas em zonas de pressão controladas por booster ou VRP e sem manutenção preventiva apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 235,3% maior que as zonas de pressão que tem ou que não necessitam de manutenção. Porém, conforme Tabela 15, percebe-se uma pressão estática média cerca de 21 mca superior na pior categoria em relação a da melhor categoria. Desta forma, presume-se que a diferença entre as pressões médias estáticas das duas categorias tem impacto sobre a diferença de incidência de vazamento entre elas. Mas, além da diferença de pressão entre as categorias, deve-se considerar que a ocorrência de falhas nos equipamentos e nas regulagens dos controles de automação são inerentes a qualquer equipamento. Sendo assim, o potencial de variação de pressão em ZP com booster ou VRP devido uma eventual falha é muito superior ao potencial de variação de pressão que ocorre em uma zona de pressão regulada pelo nível do reservatório em condições normais de operação. Fato que, pode contribuir de forma significativa para essa maior incidência de vazamentos observadas nessas ZP's.

5.3.3 Critério qualitativo de Tipo de Ramal de Ligação

O critério qualitativo de tipo de ramal de ligação foi ranqueado de forma ordenada seguindo as seguintes classificações: o valor mais alto e considerado a pior posição foi atribuído ao ramal tipo colar de tomada que teve seu uso iniciado no SAMAEJS a partir de 2008, já o valor mais baixo e de melhor posição considera o ramal tipo tê de serviço, ambos apresentados na Figura 7.

4.1.3.1 Análise descritiva

Na Tabela 18 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de tipo de ramal ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 18 - Análise descritiva pelo tipo de ramal de ligação

Tipo de ramal de ligação - (0=bom; 1=ruim)	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
1	10395	85.20%	1323	12.73%	47.41	15.01	89.98	16.39
0	1806	14.80%	90	4.98%	47.33	17.57	89.26	16.49
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

4.1.3.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as categorias ordenadas de tipo de ramal foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo tipo de ramal de ligação

Tipo de ramal de ligação		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	Bom	,538	1806	,000
	Ruim	,515	10395	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.3.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre o tipo de ramal de ligação foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Mann-Whitney. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pelo tipo de ramal de ligação

Postos				
Tipo de ramal de ligação		N	Posto médio	Soma de Classificações
OS_2019	Bom	1806	5830,77	10530373,00
	Ruim	10395	6147,95	63907928,00
Total		12201		

Estatísticas de teste ^a	
OS_2019	
U de Mann-Whitney	8898652,000
Wilcoxon W	10530373,00
Z	-7,148
Significância Sig. (2 extremidades)	<,001
Sig exata (2 extremidades)	<,001
Sig exata (1 extremidade)	<,001
Probabilidade de ponto	,000

a. Variável de Agrupamento: Tipo de ramal de ligação

Verifica-se no teste uma significância $< 0,001$, valor inferior a 0,05. Desta forma, pode se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação direta entre ter ramal de ligação ruim (colar de tomada) e a incidência de vazamentos.

As ligações que fazem uso do ramal de pior qualidade apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 155,6% maior que as ligações que usam o ramal de melhor qualidade. Considerando que os dois grupos apresentam pressão estática média iguais, a pressão não deve influenciar sobre a diferença percebida entre os dois grupos. Porém, há um fator que pode ter alta influência sobre essa diferença, haja vista que os ramais de serviço de melhor qualidade, que são os tês de serviço, começaram a ser usados apenas a partir de 2008. Com isso, esse grupo pode estar sendo privilegiado por ser uma instalação mais nova. Essa é mais uma situação que demonstra a importância de se manter essa informação no cadastro técnico.

5.3.4 Critério qualitativo de Material da Rede Secundária

O critério qualitativo do material da rede secundária foi ranqueado de forma ordenada seguindo as seguintes classificações: o valor mais alto foi atribuído ao material Amianto considerado de pior qualidade, seguindo em ordem decrescente foram os materiais: fibra de vidro (PRFV), PVC, ferro fundido (FOFO) e polietileno (PEAD).

4.1.4.1 Análise descritiva

Na Tabela 21 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de material da rede secundária ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 21 - Análise descritiva pelo material da rede secundária

Material da rede secundária - (1=PEAD; 2=Fofo; 3=PVC; 4=PRFV; 5=Amianto)	Contagem de ligações	Frequencia relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
5	492	4.03%	63	12.80%	44.01	21.75	78.41	16.17
4	24	0.20%	1	4.17%	33,23	32.09	43.30	2.17
3	11620	95.24%	1344	11.57%	47.65	15.01	89.98	16.40
2	65	0.53%	5	7.69%	32.41	18.47	53.48	9.73
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

4.1.4.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as categorias ordenadas de material da rede secundária foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo tipo de material da rede

Material de rede secundária		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	FOFO	,536	65	<,001
	PVC	,518	11620	,000
	PRFV	,539	24	<,001
	AMIANTO	,516	492	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância <0,05 o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.4.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre o material da rede secundária foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Kruskal-Wallis. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelo tipo de material da rede

Postos			
Material de rede secundária		N	Posto médio
OS_2019	FOFO	65	6017,35
	PVC	11620	6097,00
	PRFV	24	5806,13
	AMIANTO	492	6220,86
	Total	12201	

Estatísticas de teste ^{a,b,c}	
OS_2019	
H de Kruskal-Wallis	3,233
df	3
Significância Sig.	,357

a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Material de rede secundária

Verifica-se no teste uma significância de 0,357, valor $> 0,05$. Desta forma, pode se afirmar que não existe evidência estatística, dentro da margem aceitável de 95% de certeza, para afirmar que há tendência de relação direta entre o pior material (amianto) e a incidência de vazamentos. Portanto, conclui-se que não existe diferença entre os grupos.

O teste de tendência de Kruskal-Wallis demonstrou não haver diferenças significativas entre as categorias. Além disso, a análise demonstrou que 95,24% das ligações estão em redes de PVC e o segundo material com mais ligação é o amianto com apenas 4,03%. Sendo assim, sobre esse critério independente o autor conclui que a amostragem selecionada, não possui ramais ligados em redes secundárias de materiais diferentes do PVC em quantidades suficientes para gerar boas análises estatísticas.

5.3.5 Critério qualitativo de Local de Rede Secundária

O critério qualitativo de localização da rede secundária foi ranqueado de forma ordenada seguindo as seguintes classificações: o valor mais alto e considerado de pior posição foi atribuído para as redes localizadas na via pública, já o valor mais baixo e de melhor posição considera as redes localizadas sob o passeio.

4.1.5.1 Análise descritiva

Na Tabela 24 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de local da rede secundária ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 24 - Análise descritiva pelo local da rede secundária

Local da rede secundária - (0=passeio; 1=via pública)	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
1	11720	96.06%	1392	11.88%	47.39	15.01	89.98	16.52
0	481	3.94%	21	4.37%	47.63	16.42	81.05	13.29
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

4.1.5.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as categorias ordenadas de localização da rede secundária foi feita no Software SPSS 28 pelo

método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Resultados do teste de normalidade K-S pelo local da rede secundária

Local da rede secundária		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	Passeio	,539	481	,000
	Via pública	,517	11720	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.5.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre o tipo de ramal de ligação foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Mann-Whitney. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pelo local da rede secundária

Postos				
Local da rede secundária		N	Posto médio	Soma de Classificações
OS_2019	Passeio	481	5806,66	2793005,50
	Via pública	11720	6113,08	71645295,50
	Total	12201		

Estatísticas de teste ^a	
OS_2019	
U de Mann-Whitney	2677084,500
Wilcoxon W	2793005,500
Z	-3,784
Significância Sig. (2 extremidades)	<,001
Sig exata (2 extremidades)	<,001
Sig exata (1 extremidade)	<,001
Probabilidade de ponto	,000

a. Variável de Agrupamento: Local da rede secundária

Verifica-se no teste uma significância $<0,001$, valor inferior a $0,05$. Desta forma, pode-se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação inversa entre ter rede no passeio e a incidência de vazamentos.

As ligações que estão em redes localizadas nas vias públicas apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 171,9% maior que as ligações em redes que estão sob os passeios. Todavia, as redes duplas posicionadas sob os passeios passaram a serem predominantes em loteamentos novos nos últimos 10 anos. Com isso, a idade da rede pode estar causando uma influência sobre as incidências de vazamentos. Entretanto, a informação sobre a idade da rede no cadastro é escassa, o que inviabilizou fazer essa conferência.

5.3.6 Critério qualitativo de DMC em operação

O critério qualitativo de existência de DMC em operação foi ranqueado de forma ordenada seguindo as seguintes classificações: o valor mais alto e considerado de pior posição foi atribuído as regiões que não tem DMC, já o valor mais baixo e de melhor posição considera as regiões que tem DMC em operação.

4.1.6.1 Análise descritiva

Na Tabela 27 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de DMC em operação ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 27 - Análise descritiva pela existência de DMC

DMC em operação - (0=tem; 1=não tem)	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão
1	6673	54.69%	921	13.80%	57.63	15.01	89.98	10.97
0	5528	45.31%	492	8.90%	35.04	15.13	87.38	13.04
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40			

4.1.6.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre as categorias DMC em operação foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Resultados do teste de normalidade K-S pela existência de DMC

DMC em operação	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estatística	gl	Sig.
OS_2019 Tem	,525	5528	,000
Não tem	,512	6673	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.1.6.3 Teste de tendência

O teste de tendência na relação entre as ocorrências de vazamentos visíveis sobre o tipo de ramal de ligação foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Mann-Whitney. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 - Resultados do teste de tendência Mann-Whitney pela existência de DMC

Postos				
DMC em operação		N	Posto médio	Soma de Classificações
OS_2019	Tem	5528	5996,34	33147779,00
	Não tem	6673	6187,70	41290522,00
Total		12201		

Estatísticas de teste^a	
OS_2019	
U de Mann-Whitney	17865623,00
Wilcoxon W	33147779,00
Z	-6,045
Significância Sig. (2 extremidades)	<,001
Sig exata (2 extremidades)	<,001
Sig exata (1 extremidade)	<,001
Probabilidade de ponto	,000

a. Variável de Agrupamento: DMC em operação

Verifica-se no teste uma significância $< 0,001$, valor inferior a 0,05. Desta forma, pode-se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação inversa entre ter DMC em operação e a incidência de vazamentos.

As regiões que não têm DMC em operação apresentaram uma incidência de vazamentos visíveis 55,1% maior que as regiões que têm DMC em operação. Todavia, essas regiões sem DMC apresentam uma pressão estática média de 12 mca superior que as que tem DMC. Sendo assim, esse fato pode ter grande parte da interferência que provoca a diferença de incidência observada.

Além disso, o SAMAEJS utiliza o conceito de FP para comparar e concentrar ações de pesquisa ativa de vazamentos nas áreas com os piores valores, sendo que o valor de

referência para definir a ação é igual para todos os DMC's e independe da pressão estática média nos ramais. Esse fato pode levar a uma perda de foco em regiões de baixa pressão estática média e interferir de forma negativa explicando o baixo desempenho observados nestas regiões. Também é importante considerar que no ano de 2019 houve uma redução nas ações de pesquisa ativa de vazamentos o que pode ter levado a uma diferença de incidência de vazamentos observados entre a pior e melhor categoria abaixo do esperado.

5.3.7 Matriz indexadora da relação entre a incidência de vazamentos e os critérios independentes

Na Tabela 30 é apresentado o resumo da diferença observada na incidência de vazamentos entre a pior e a melhor posição para cada um dos cinco critérios independentes que apresentaram diferença significativa entre as categorias, conforme demonstrado ao longo do capítulo 5.1

Tabela 30 - Variação da incidência de vazamentos entre a melhor e a pior posição para cada critério independente

Critérios	Incidência melhor posição	Incidência pior posição	Diferença % da Incidência entre pior e melhor posição	Diferença PE média entre pior e melhor posição
Manutenção preventiva de VRP's e Booster's	9.92%	33.26%	235.3%	21.34
Pressão estática	7.46%	20.66%	176.9%	42.43
Localização da rede	4.37%	11.88%	171.9%	0.24
Tipo de ramal	4.98%	12.73%	155.6%	0.08
DMC's em operação	8.90%	13.80%	55.1%	22.59

O único critério que não demonstrou diferenças entre os grupos foi o de material da rede secundária o que não condiz com os estudos desenvolvidos por SOUZA (2017). No estudo ele avaliou cinco critérios pelo método AHP e o critério de maior peso global foi o do material da rede, com 45,6% da importância global. Pode ser que esse peso era devido a uma particularidade da região estudada por ele. Porém, no estudo ele não realizou um procedimento para averiguar a assertividade do método, como foi feito neste trabalho. O que deixou o estudo sem a possibilidade de conferência de assertividade.

No projeto de pesquisa foi almejado encontrar um método estatístico para calibrar o peso global determinado pela média da opinião dos especialistas no método AHP, e assim se obter uma maior assertividade do risco de vazamentos calculado sobre a incidência de vazamentos observada em relação ao método Multicritério AHP sem correções. Com isso, essa pesquisa geraria um terceiro método que seria denominado de método multicritério AHP

ajustado. Porém, durante o desenvolvimento dos estudos foi percebido um elevado número de incertezas sobre outros fatores intervenientes aos resultados que demandaria buscar outros métodos estatísticos para realizar os ajustes sem subjetividade, o que se mostrou inviável no tempo disponível e decidiu-se por não o concretizar nessa pesquisa.

5.4 RESULTADOS DO MÉTODO FAVAD

Com os ramais distribuídos em cinco faixas de risco classificadas de forma ordenada em quintis foi calculada a pressão estática média de cada faixa e aplicada a equação 1.

5.4.1 Impacto da variação da pressão estática média

Os resultados dos cálculos da equação 1 são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Definição do impacto da variação da pressão sobre o risco de vazamentos

Faixa de risco FAVAD	Pressão Estática (PE) média	PE mínima	PE máxima	Risco calculado
5	69.20	61.51	89.98	100.00%
4	59.19	55.64	61.51	80.10%
3	48.16	36.20	55.64	59.77%
2	33.65	29.94	36.20	35.93%
1	26.77	15.01	29.94	25.96%

O percentual do risco calculado pelo método FAVAD serviu para definir os percentuais dos pesos tanto do método unicritério quanto do método multicritério, conforme indexado na Tabela 5.

5.5 RESULTADOS DO MÉTODO AHP

Foi aplicado um formulário de consulta com cinco profissionais experientes no combate às perdas reais, do qual se obteve o valor médio de importância na comparação pareada entre os seis critérios nas suas piores posições. Na Tabela 32 é apresentado o valor médio da nota de importância atribuída pelos cinco especialistas.

Tabela 32 - Resultado do valor médio de importância na comparação pareada dos critérios feita por cinco especialistas

Critério 1 - [pior posição]	Valor médio de importância	Critério 2 - [pior posição]
Pressão estática - [>60 mca]	3.0	Localização da rede - [na rua]
Pressão estática - [>60 mca]	3.6	Material da rede - [amianto]
Pressão estática - [>60 mca]	3.2	DMC's em operação - [não tem dmc]
Pressão estática - [>60 mca]	3.0	Tipo de ramal - [colar de tomada]
Pressão estática - [>60 mca]	1.8	Manutenção preventiva de VRP's e Boosters - [não tem preventiva]
Manutenção preventiva de VRP's e Boosters - [não tem preventiva]	4.2	Localização da rede - [na rua]
Manutenção preventiva de VRP's e Boosters - [não tem preventiva]	4.2	Material da rede - [amianto]
Manutenção preventiva de VRP's e Boosters - [não tem preventiva]	3.2	DMC's em operação - [não tem dmc]
Manutenção preventiva de VRP's e Boosters - [não tem preventiva]	3.4	Tipo de ramal - [colar de tomada]
Tipo de ramal - [colar de tomada]	2.4	Localização da rede - [na rua]
Tipo de ramal - [colar de tomada]	2.6	Material da rede - [amianto]
Tipo de ramal - [colar de tomada]	2.0	DMC's em operação - [não tem dmc]
DMC's em operação - [não tem dmc]	2.8	Localização da rede - [na rua]
DMC's em operação - [não tem dmc]	2.2	Material da rede - [amianto]
Material da rede - [amianto]	2.6	Localização da rede - [na rua]

As razões de consistência, calculados conforme equação 5 e equação 6, em função das respostas dos valores de importância pareados respondidos pelos especialistas tiveram como resultado individual valores que variaram entre 2,55% e 15,79%. Por conseguinte, a razão de consistência média, em função da nota média de importância para cada critério pareado com base na opinião dos cinco especialistas, apresentadas na Tabela 32, resultaram em um índice de consistência médio de 5,53%. O qual ficou abaixo do limite máximo de 10% proposto por Saaty (1978).

5.5.1 Peso global dos critérios, opinião dos especialistas

Na aplicação do método AHP foi utilizado o valor de importância pela média da opinião dos especialistas, o que resultou na Tabela 33 com composição do peso global dos critérios, calculados conforme resultados da Tabela 32 aplicados na equação 7.

Tabela 33 - Resultado da aplicação do método AHP com o peso global de cada critério

Critério	Peso global
Pressão estática	32.04%
Manutenção preventiva de VRP's e Booster's	28.70%
Tipo de ramal	14.02%
DMC's em operação	11.32%
Material da rede	8.05%
Localização da rede	5.88%

Por fim, os resultados da Tabela 33 foram a base de cálculo para fundamentar a Tabela 5 e para operar os cálculos de risco da equação 8.

5.6 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RISCOS DE VAZAMENTOS

Nesse capítulo são apresentadas as análises descritivas feitas em tabelas dinâmicas no Excel e os testes de normalidade e testes de tendências feitos no Software SPSS 28 para verificar a relação entre os resultados de risco de vazamentos calculados pelos métodos unicritério e multicritério sobre a ocorrência de vazamentos visíveis observados em 2019.

Os resultados dos cálculos de risco, para cada um dos métodos, foram classificados de forma ordenada em quintis de risco para realizar as análises estatísticas decorrentes.

5.6.1 Risco Unicritério FAVAD

O resultado quantitativo de risco Unicritério foi ordenado em quintis conforme o ranqueamento definido pela classificação que resultou que na primeira posição ficou o ramal com a combinação de menor pressão estática e o ramal mais novo, e na última posição ficou o ramal com a combinação de maior pressão estática e o ramal mais velho. As operações de ranqueamento foram feitas diretamente na matriz Unificada que é resultado da união das Tabela 8 e Tabela 6.

4.4.1.1 Análise descritiva

Na Tabela 34, Figura 28, Figura 29 e Figura 30 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias de risco de vazamento Unicritério FAVAD.

Tabela 34 - Análise descritiva da relação entre os grupos de risco Unicritério e os vazamentos visíveis em 2019

Faixa de risco Unicritério - FAVAD	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão	Risco Unicritério média
5	2440	20.00%	504	20.66%	69.20	61.51	89.98	7.67	1.00
4	2440	20.00%	325	13.32%	59.19	55.64	61.51	1.77	0.80
3	2440	20.00%	240	9.84%	48.16	36.20	55.64	6.62	0.60
2	2440	20.00%	162	6.64%	33.65	29.94	36.20	1.75	0.36
1	2441	20.01%	182	7.46%	26.77	15.01	29.94	2.75	0.26
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40				0.60

Figura 28 - Gráfico de correlação entre o grupo de risco Unicritério e a incidência de vazamentos visíveis em 2019

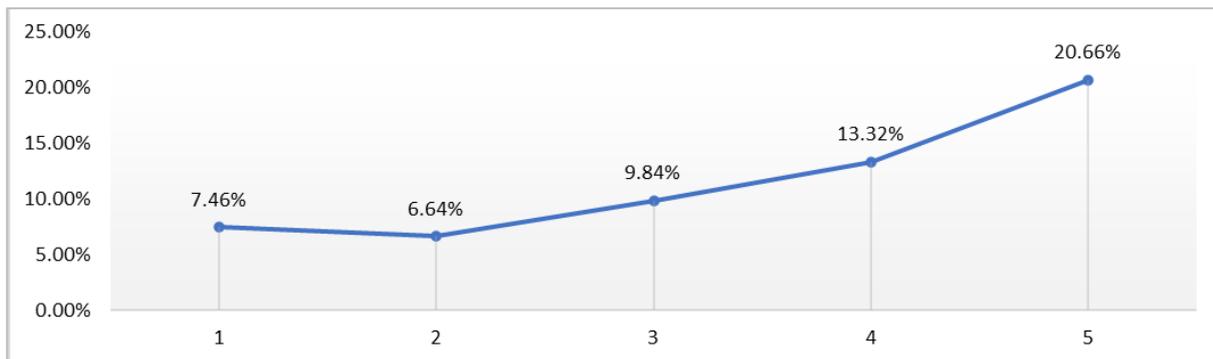


Figura 29 - Gráfico Box plot com a distribuição da pressão por grupo de risco Unicritério

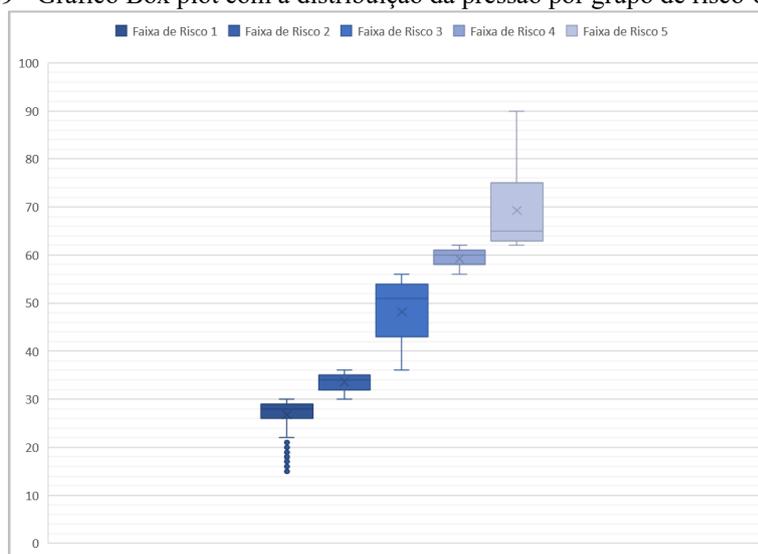
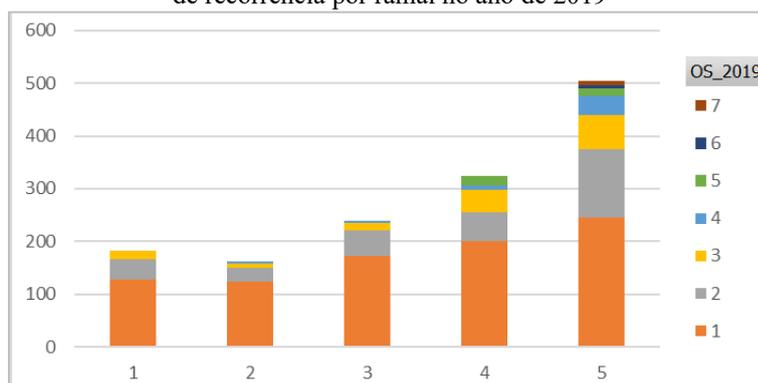


Figura 30 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por Grupo de risco Unicritério, subdividido em grupos de recorrência por ramal no ano de 2019



4.4.1.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre os grupos de risco de vazamentos Unicritério foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Resultados do teste de normalidade K-S pelos grupos de risco Unicritério

Grupo de risco Unicritério		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
OS_2019	Muito baixo	,532	2441	,000
	Baixo	,533	2440	,000
	Médio	,526	2440	,000
	Alto	,511	2440	,000
	Muito alto	,491	2440	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores de significância $<0,05$ o que determinou, conforme a regra de decisão apresentada no capítulo 3.7.3, a escolha de teste de tendência não paramétrico.

4.4.1.3 Teste de tendência

O teste de tendência da relação entre as categorias ordenadas de risco de vazamento Unicritério sobre os vazamentos visíveis foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Kruskal-Wallis. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelos grupos de risco Unicritério

Postos			
Grupo de risco Unicritério		N	Posto médio
OS_2019	Muito baixo	2441	5934,97
	Baixo	2440	5903,97
	Médio	2440	6061,44
	Alto	2440	6176,13
	Muito alto	2440	6428,56
Total		12201	

Estatísticas de teste ^{a,b,c}	
OS_2019	
H de Kruskal-Wallis	145,687
df	4
Significância Sig.	<,001

a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Grupo de risco Unicritério

Verifica-se no teste uma significância $<0,001$, valor inferior a 0,05. Sendo assim, pode-se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação direta entre o grupo de risco Unicritério e a incidência de vazamentos.

Os resultados do teste de tendência de Kruskal-Wallis atestaram que há relação direta entre as faixas de risco e a incidência de vazamentos visíveis. Entretanto, houve uma quebra da tendência de relação direta na faixa de risco 2, o que demonstra um ponto fraco do método.

A análise estatística também mostrou que a pior faixa de risco do método Unicritério apresentou uma incidência de vazamentos visíveis 176,9% maior que a incidência da faixa de menor risco. Fato que está em conformidade com a teoria FAVAD.

5.6.2 Risco Multicritério AHP

O resultado quantitativo de risco Multicritério foi ranqueado de forma ordenada, conforme os resultados dos cálculos de risco para cada um dos ramais da amostra determinados pela equação 8 e pela Tabela 5 e uma combinação de subclassificações.

A necessidade do uso das subclassificações para otimizar o ranqueamento foi comprovado levando em consideração que a Tabela 5 tem potencial de apresentar no máximo quatrocentos valores diferentes de risco multicritério e a amostra possui um total de 12.201 ramais. Desta forma, ao se fazer uma simples classificação ordenada pelos valores de risco multicritério, resultaria em incoerências de ordenamento por exemplo com relação ao risco proporcional à pressão estática e a idade do ramal.

Sendo assim, foi adotada a seguinte lógica de subclassificação: primeiramente foi feita a classificação decrescente de acordo com ano de ligação do ramal na rede, seguida de uma segunda classificação crescente em relação a pressão estática de cada ramal e na terceira e última uma classificação crescente em função do valor de risco multicritério calculado. Com isso, ficou definido um ranqueamento que teve na sua primeira posição um ramal com a combinação de menor valor de risco, pressão estática mais baixa e idade mais nova, e a última posição ficou com um ramal com a combinação de maior valor de risco, maior pressão estática e ramal mais velho.

Por fim, com o ranqueamento formado foi feito o ordenamento das categorias de risco Multicritério em quintis onde a numeração mais baixa tem o grupo de risco mais baixo e a numeração mais alta tem o grupo de risco mais alto.

4.4.2.1 Análise descritiva

Na Tabela 37, Figura 31, Figura 32 e Figura 33 são apresentados os resultados de frequência de ramais, contagem e incidência de vazamentos, assim como os valores de média, mínima, máxima e desvio padrão da pressão estática para cada uma das categorias do risco de vazamento Multicritério AHP ranqueadas de forma ordenada.

Tabela 37 - Análise descritiva da relação entre os grupos de risco Multicritério e os vazamentos visíveis em 2019

Faixa de risco Multicritério - AHP	Contagem de ligações	Frequência relativa	Contagem Vazamentos visíveis 2019	Incidência de vazamentos por ligações	PE média	PE mínima	PE máxima	PE Desvio padrão	Risco Multicritério média
5	2440	20.00%	502	20.57%	64.78	15.39	89.98	10.76	0.75
4	2440	20.00%	360	14.75%	60.31	17.57	87.38	6.79	0.60
3	2440	20.00%	224	9.18%	49.29	15.01	83.32	11.26	0.50
2	2440	20.00%	170	6.97%	34.79	16.42	59.38	5.38	0.36
1	2441	20.01%	157	6.43%	27.82	15.13	53.24	3.71	0.29
Total Geral	12201	100.00%	1413	11.58%	47.40				0.50

Figura 31 - Gráfico de correlação entre os grupos de risco Multicritério e a incidência de vazamentos visíveis em 2019

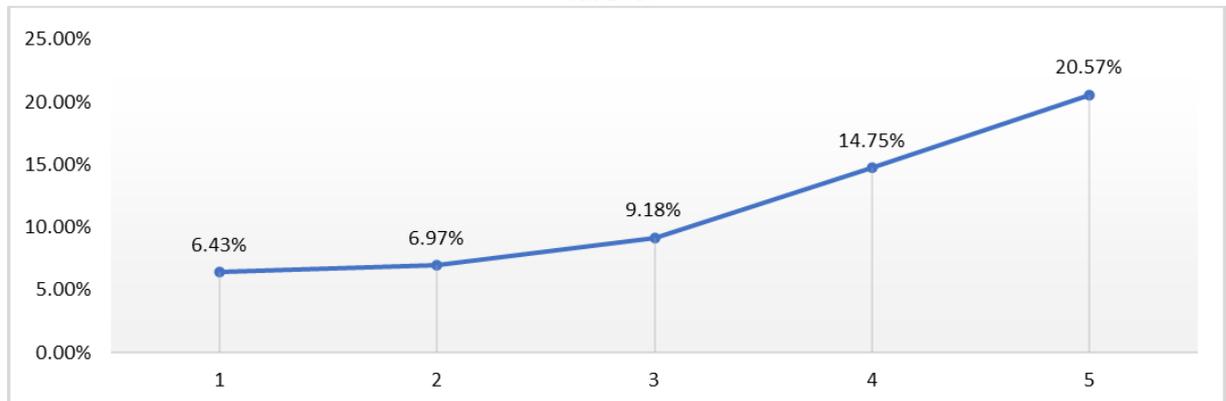


Figura 32 - Gráfico Box plot com a distribuição da pressão por grupo de risco Multicritério

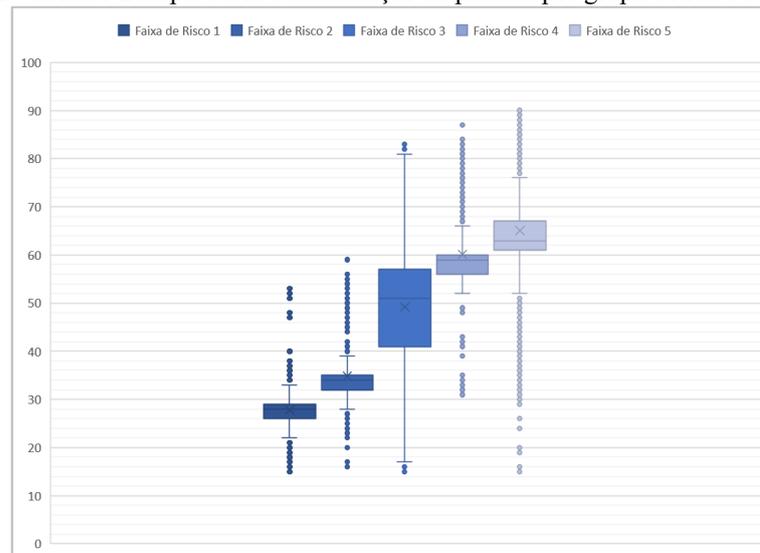
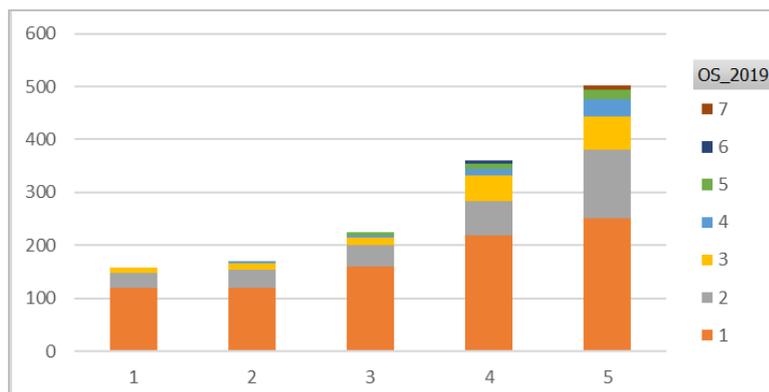


Figura 33 - Soma de ocorrências de vazamentos visíveis por Grupo de risco Unicritério, subdividido em grupos de recorrência por ramal no ano de 2019



4.4.2.2 Teste de normalidade

A análise da distribuição normal das ocorrências de vazamentos visíveis sobre os grupos de risco de vazamentos Multicritério foi feita no Software SPSS 28 pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Resultados do teste de normalidade K-S pelos grupos de risco Multicritério

OS_2019	Grupo de risco Multicritério	Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	gl	Sig.
	Muito baixo	,534	2441	,000
	Baixo	,532	2440	,000
	Médio	,526	2440	,000
	Alto	,507	2440	,000
	Muito alto	,492	2440	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

O teste de normalidade K-S apresentou valores significativos $<0,05$, situação que determinou a escolha de teste de tendência não paramétrico, conforme Tabela 2.

4.4.2.3 Teste de tendência

O teste de tendência da relação entre as categorias ordenadas de risco de vazamento Multicritério sobre os vazamentos visíveis foi feito no Software SPSS 28 pelo método de Kruskal-Wallis. Os resultados de significância e graus de liberdade são apresentados na Tabela 39.

Tabela 39 - Resultados do teste de tendência Kruskal-Wallis pelos grupos de risco Multicritério

Postos			
	Grupo de risco Multicritério	N	Posto médio
OS_2019	Muito baixo	2441	5896,41
	Baixo	2440	5909,96
	Médio	2440	6021,59
	Alto	2440	6246,62
	Muito alto	2440	6430,50
	Total	12201	

Estatísticas de teste ^{a,b,c}	
	OS_2019
H de Kruskal-Wallis	172,708
df	4
Significância Sig.	<,001

a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Grupo de risco Multicritério

Verifica-se no teste uma significância $< 0,001$, valor inferior a 0,05. Sendo assim, pode-se afirmar que existe evidência estatística com mais de 95% de certeza que há tendência de relação direta entre o grupo de risco Multicritério e a incidência de vazamentos.

Os resultados do teste de tendência de Kruskal-Wallis atestaram que há relação direta entre as faixas de risco e a incidência de vazamentos visíveis.

A análise estatística também mostrou que a pior faixa de risco do método Multicritério apresentou uma incidência de vazamentos visíveis 219,9% maior que a incidência da faixa de menor risco. Também evidenciou que o grupo de ligações presentes na faixa de risco 1 tem ramais com pressão estática máxima de 53,24mca e na faixa de risco 5 tem ramal com pressão estática mínima de até 15,39mca, fatos que demonstram que o método multicritério transpassa os limites de faixas de pressão, trazendo resultados diferentes do método unicritério.

5.6.3 Método de maior assertividade

O método Multicritério apresentou um grau de entrelaçamento com a incidência de vazamentos mais forte que o método Unicritério, conforme demonstrado pelos valores de H de Kruskal-Wallis da Tabela 40, onde o maior valor representa o maior entrelaçamento dos dados.

Portanto, existe a prova estatística de que o método Multicritério além de trazer resultados diferentes também foi mais assertivo.

Tabela 40 - Tabelas com os resultados dos testes de Kruskal-Wallis para Unicritério e Multicritério

Estatísticas de teste ^{a,b,c}	
OS_2019	
H de Kruskal-Wallis	145,687
df	4
Significância Sig.	<,001

a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Grupo de risco Unicritério

Estatísticas de teste ^{a,b,c}	
OS_2019	
H de Kruskal-Wallis	172,708
df	4
Significância Sig.	<,001

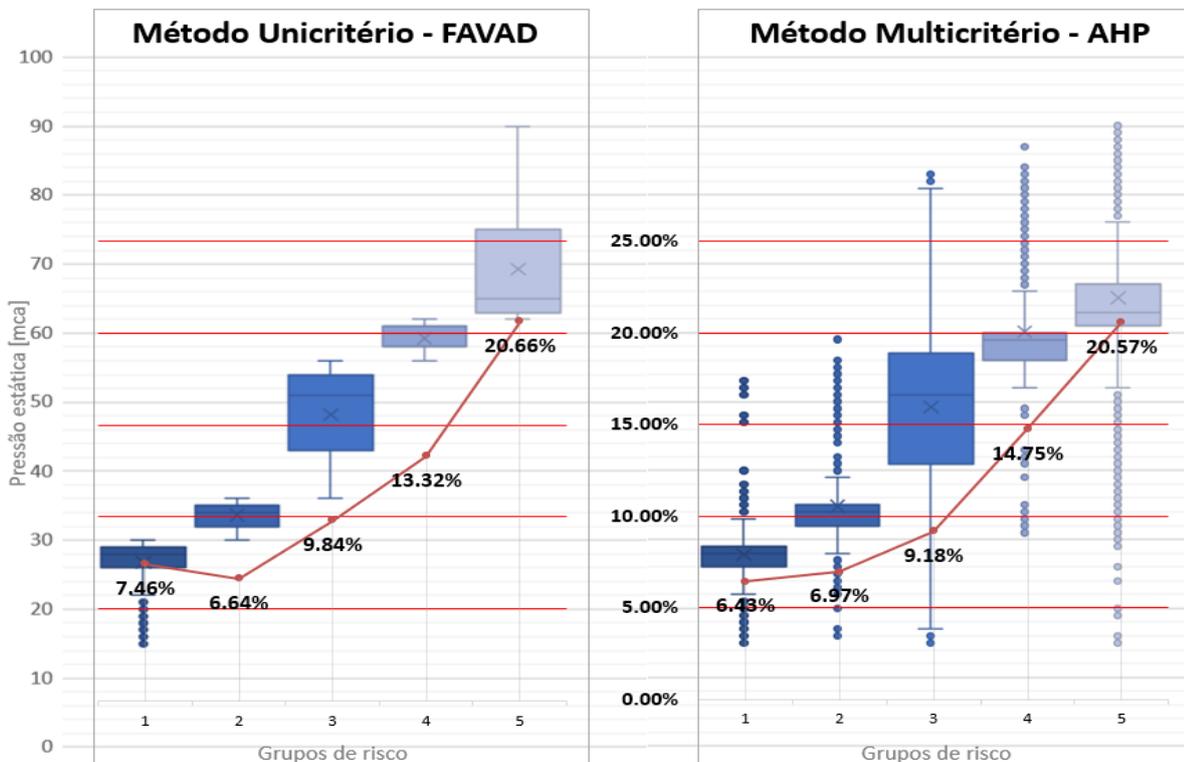
a. Teste Kruskal Wallis
b. Variável de Agrupamento: Grupo de risco Multicritério

Postos			
	Grupo de risco Unicritério	N	Posto médio
OS_2019	Muito baixo	2441	5934,97
	Baixo	2440	5903,97
	Médio	2440	6061,44
	Alto	2440	6176,13
	Muito alto	2440	6428,56
	Total	12201	

Postos			
	Grupo de risco Multicritério	N	Posto médio
OS_2019	Muito baixo	2441	5896,41
	Baixo	2440	5909,96
	Médio	2440	6021,59
	Alto	2440	6246,62
	Muito alto	2440	6430,50
	Total	12201	

Na Figura 34 é apresentado o gráfico comparativo entre os dois métodos com a sobreposição da distribuição boxplot e a incidência de vazamentos visíveis observados em 2019.

Figura 34 - Sobreposição do gráfico boxplot com a incidência de vazamentos para os métodos Unicritério e Multicritério



5.7 MAPAS DE SUSCEPTIBILIDADE DE VAZAMENTOS

Com base na quantidade de registros georreferenciados de ordens de serviço de vazamentos visíveis observadas em 2019 e na matriz unificada com os riscos de vazamentos calculados pelos dois métodos, os valores numéricos foram usados para gerar mapas de calor para representarem as regiões com maior risco de apresentarem vazamentos sobre as três óticas.

O propósito de gerar o mapa de calor baseado nas ocorrências observadas em 2019 é para viabilizar a comparação visual na busca de se encontrar similaridade geográfica entre os vazamentos observados e o risco de vazamento calculado.

Para tornar a avaliação visual com melhor resolução foram elaborados quatro conjuntos de mapas, sendo um para representar cada uma das quatro regiões de abastecimento, conforme Figura 35 e Figura 36.

Figura 35 - Mapas de calor com incidência de vazamentos observado e calculado no R1 e R3

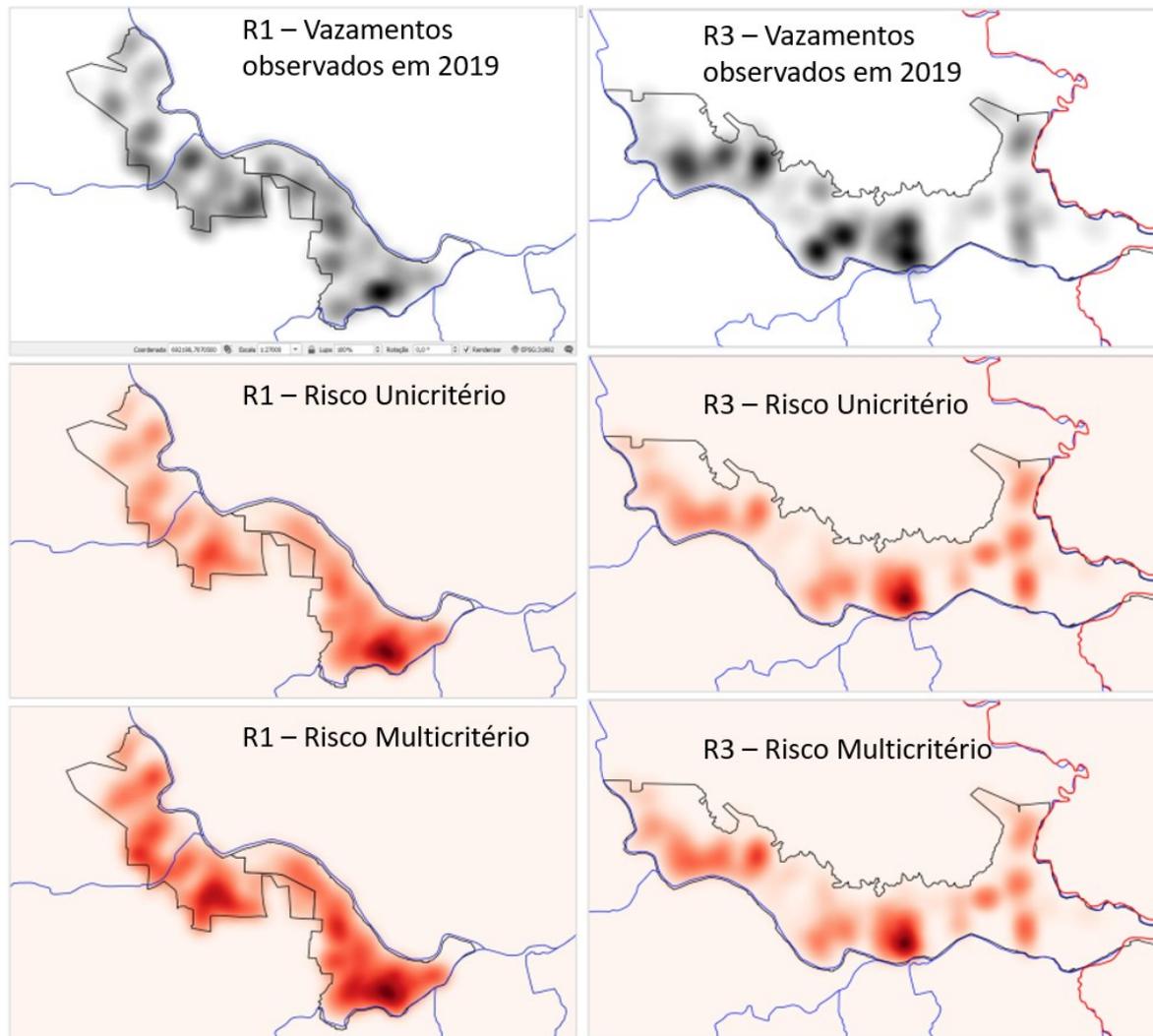
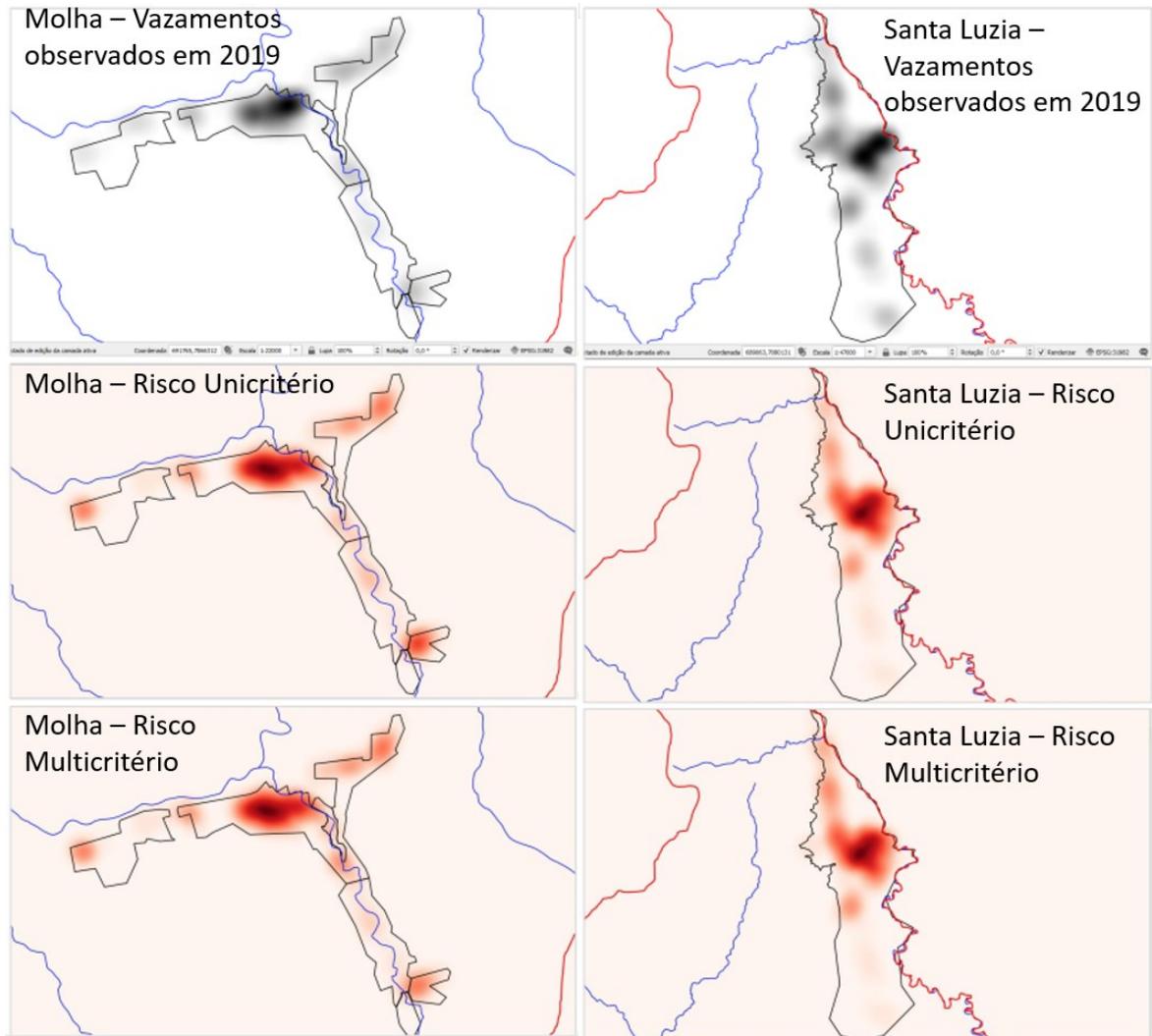


Figura 36 - Mapas de calor com incidência de vazamentos observado e calculado no Molha e Santa Luzia



6 CONCLUSÕES

A caracterização das quatro regiões de estudo se tornou viável pelo nível de detalhamento e pela qualidade dos sistemas de informações construídos e mantidos pela cultura organizacional do SAMAEJS.

Com os dados básicos de cada ramal de ligação organizados foi possível eleger entre os dados disponíveis quais tinha relação com a incidência de vazamentos, nesse sentido foram escolhidos a pressão estática, a manutenção preventiva, o tipo de ramal de ligação, a existência de DMC, o material da rede e a localização da rede.

Considerando que o método Multicritério AHP, por abordar outros fatores relevantes além da pressão estática da rede, na análise do risco de vazamentos, apresentou resultados diferentes e com maior consistência, coerência e assertividade que o método Unicritério. Com isso, presume-se que o método multicritério tem potencial de ser utilizado em outros SAA de forma versátil para se adaptar a outras bases de dados utilizando-se de alguns dos critérios deste trabalho e de outros critérios relevantes específicos do SAA. Todavia, na aplicação do método AHP o autor sugere que se o método for aplicado em SAA's que possuam registros de vazamentos visíveis georreferenciados seja preferencialmente realizada uma validação por meio da correlação ou comparação com a incidência de vazamentos observados para verificar a coerência dos pesos globais definidos pelos especialistas, conforme foi realizado nesta pesquisa.

Já a aplicação do método unicritério FAVAD, sob o ponto de vista do autor, é um passo fundamental para se avaliar a condição de atendimento às pressões limites e deve ser uma avaliação primária indispensável para qualquer SAA. Entretanto, a aplicação do método unicritério em zonas de pressão com as pressões estáticas dentro dos limites dificulta identificar as regiões mais susceptíveis influenciadas por outros critérios. Sendo assim, nessas situações, o método unicritério pode apresentar resultados menos assertivos e ser menos útil no direcionamento das ações de combate às perdas.

Ambos os mapas de calor mostraram relação locacional forte com a incidência de vazamentos observados, o que indica potencial de os mapas de calor serem aplicados para a busca por vazamentos não visíveis em pesquisas ativas.

7 RECOMENDAÇÕES

Com relação a seleção dos critérios com impacto significativo sobre as perdas, levar em consideração os critérios de idade e classe de pressão da rede pois esses têm significativos impactos sobre a resistência mecânica das redes.

Sobre o método AHP, que seja realizada uma validação ou ajuste do peso global de cada critério por meio de ponderações com base nas correlações univariadas entre os critérios e a incidência de vazamentos observados, e; que as metodologias sejam desenvolvidas para gerar matrizes de risco que possibilitem, junto de indicar o local mais susceptível, indicar qual o tipo de ação mais apropriada para atuar nesses locais.

8 BIBLIOGRAFIA

ABES - 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.** 2015. Disponível em: < http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf> Acesso em: mai. 2021.

AESBE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. **Guia Prático para determinação de volume de entrada nos Sistemas de Abastecimento.** Brasília, 2015. Disponível em: < https://aesbe.org.br/wp-content/uploads/2018/04/GUIA-1_V5-.pdf>. Acesso em: mai. 2021.

AESBE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. **Guia prático para método direto de quantificação de perdas reais em sistemas de abastecimento.** Brasília, 2015. Disponível em: < https://aesbe.org.br/wp-content/uploads/2018/04/GUIA-6_V5-.pdf>. Acesso em: mai. 2021.

AL-WASHALI, Taha; SHARMA, Saroj, LUPOJA, Robert; NOZAILY, FadhlAl; HAIDERA, Mansourl, KENNEDY, Maria. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. **Resources, Conservation and Recycling.** v. 152, p. 104515, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304215?via%3Dihub>>. Acesso em: mai. 2021.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J.M.; CABRERA JR., H.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. 2 ed. **Performance indicators for water supply services.** London: IWA Publishing, 2006. 312 p. Disponível em:< https://www.researchgate.net/publication/221936068_Performance_Indicators_for_Water_Supply_Services/link/0a85e532d2987d68b7000000/download>. Acesso em: mai. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT-NBR 12.211:** Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT-NBR 12.214:** Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT-NBR 12.215:** Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1991. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT-NBR 12.217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT-NBR 12.218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. 2. ed. Rio de Janeiro, 2017. 23 p.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998. 669 p.

BRASIL, **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em jan. 2021.

BRASIL. **Lei Federal 11.445, de 5 de janeiro de 1997. Estabelece as Diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as Leis 6766, de 19 de dezembro de 1979, 8036 de 11 de maio de 1990, 8666 de 21 de junho de 1993, 8987 de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6528 de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Brasília, DF, 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em mai. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 2914/11 de 12 de dezembro de 2011 - Dispões sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília, 2011. Disponível em: < https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em mai. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília, 2013. Disponível em: < http://www.cecol.fsp.usp.br/dcms/uploads/arquivos/1446465969_Brasil-PlanoNacionalDeSaneamentoB%C3%A1sico-2013.pdf>. Acesso em mai. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>>. Acesso em mai. 2021.

BULHÕES, Jamile Leite. **Escoamento transitório e perdas de água: análise em sistemas de distribuição da cidade de Salvador-BA**. 2017. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/59_escoamento_transitorio_e_perdas_de_agua_analise_em_sistemas_de_distribuicao_da_cidade_de_salvador-ba.pdf>. Acesso em mai. 2021.

CAMPOLINA, A.G.; SOARES, P.C.; AMARAL, F.V.; ABE, J.M. Análise de decisão multicritério para alocação de recursos e avaliação de tecnologias em saúde: tão longe e tão perto? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, n. 10, e00045517, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csp/a/Qgrxx6hCsCqR4JVndQZz3vS/?lang=pt&format=pdf>>; Acesso em mai. 2021.

DETONI, Mariana Nolde Pacheco. **Mapamento e aplicação de testes estatísticos em engenharia de software**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) - Programa de Pós-graduação em Ciências da Computação, Pontífca Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2020.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Indicator Fact Sheet - (WQ06) Water use efficiency (in cities): leakage**. 2003. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-use-efficiency-in-cities-leakage/water-use-efficiency-in-cities-leakage/view>>. Acessado em: mai. 2020.

FÁVERO, J. A.; DIB, M. E. M. Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. **Revista DAE**, nº 126, p. 50-59, 1981. Disponível em: <<http://revistadae.com.br/site/artigo/1256-Pesquisa-e-controle-de-perdas-em-sistemas-de-abastecimento-de-agua>>. Acesso em mai. 2021.

FRAGA, A. S.; SILVA SAMUEL, P. R. **Experiência do DMAE Porto Alegre no combate às perdas através de distrito pitométrico**. 26ª Assembléia Nacional da Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento – ASSEMAE, 1995.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade, **Curso de estatística**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 320 p.

GUARNIERI, Patricia. Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. **RAC**, v. 19, n 1, p. 1 - 25, 2015. Disponível em: <<https://rac.anpad.org.br/index.php/rac/article/view/1087/1083>>. Acesso em mai. 2021.

IWA - INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **District Metered Areas - Guidance notes**. 2007. Disponível em:< https://iwa-network.org/learn_resources/district-metered-areas-guidance-notes/>. Acesso em mai. 2021.

KORDI, M. **Comparison of fuzzy and crisp analytic hierarchy process (AHP) methods for spatial multicriteria decision analysis in GIS 2008**. Master Thesis in Geomatics, Department of Thechnology and Built Environment, University of Gavle, 2008. Disponível em:<<https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-fuzzy-and-crisp-analytic-hierarchy-in-Kordi/a59515d5c6da88b8aa10c3456434e7a837247b6b>>. Acesso em mai. 2021.

LAMBERT, A.; TRORNTON, J. **Avaliação de perdas reais. Consultoria à SABESP**, São Paulo, 2002.

LEOTTI, V. B.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v. 32, n.2, p. 227–234, 2012. Disponível em:<https://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=elwzVGwAAAAJ&citation_for_view=elwzVGwAAAAJ:W7OEmFMylHYC>. Acesso em mai. 2021.

LOPES, Luis Felipe Dias. **Apostila de estatística**. Santa Maria-RS: UFSM, 2003. Disponível em:<<http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/LIVROS/LIVROS/Luis%20Felipe%20Dias%20Lopes.pdf>>. Acesso em mai. 2021.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010-092608/pt-br.php>>. Acesso em mai. 2021.

MORAIS, Danielle Costa; CAVALCANTE, Cristiano Virginio, ALMEIDA, Adiel Teixeira. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa**

Operacional, v. 30, n. 1, p. 15-32, 2010. Disponível em:<
<https://www.scielo.br/j/pope/a/mCgyZSTtZsVt67SqGng6mFF/?lang=pt#>>. Acesso em mai.
 2021.

NOLLI, Nubia Aparecida Vale. **Investigação experimental do comportamento de fraturas em tubos de PVC submetidos à variações de pressão**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em:<
https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AAFEVU/1/disserta__o_519__nubia_a_v_nolli.pdf>. Acesso em mai. 2021.

PIMENTA, Lianne Borja, BELTRÃO, Norma Ely Santos, GEMAQUE, Amanda Madalena da Silva, TAVARES, Paulo Amador. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

SAATY, T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 1, n. 1, p. 57-68, 1978.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Abastecimento de água : gerenciamento de perdas de água e de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água : guia do profissional em treinamento : nível 2**. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 83 p. Disponível em:<
https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/gerenciamentodeperdasdeaguaedeenergiaeletricaemsistemasdeabastecimentodeagua-nivel2.pdf>. Acesso em mai. 2021.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Construção, operação e manutenção de redes de distribuição de água: Guia do profissional em treinamento Nível 2**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 112 p. Disponível em:<
https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/construcaooperacaoemanutencaoderedesdedistribuicaoodeagua-nivel2.pdf>. Acesso em mai. 2021.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 65 p. Disponível em:<

<https://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/202/titulo/guias-praticos-tecnicas-de-operacao-em-sistemas-de-abastecimento-de-agua-volume-4>>. Acesso em mai. 2021.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Documento técnico de apoio nº a2 - Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água.** Brasília: Ministério das Cidades, 2003. 80 p. Disponível em:<<https://antigo.mdr.gov.br/saneamento/proeesa/101-secretaria-nacional-de-saneamento/biblioteca/3151-publicacoes>>. Acesso em mai. 2021.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL - SNSA. **Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis.** Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 89 p. Disponível em:<<https://www.nexusbr.com/downloads/saneamento/Volume%203%20PESQUISA%20E%20COMBATE%20A%20VAZAMENTOS.pdf>>. Acesso em mai. 2021.

SILVA, N.A.S; LUVISOTTO JUNIOR, E. **Indicadores de Gestão para Sistemas de Abastecimento de Água.** In: Simpósio Iberoamericano de redes de água, esgoto e drenagem. João Pessoa: UFPB, 2002. Disponível em:<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/serea2002/trabalhos/A16_21.pdf>. Acesso em mai. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015.** Brasília, 2017. Disponível em:<<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em mai. 2021.

SOARES, Andréia Senna. **Qualidade da operação e manutenção do sistema de distribuição de água costa sul leste em Florianópolis/SC com base em histórico de dados de autorização de serviço.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em:<<https://pergamum.ufsc.br/pergamum/biblioteca/index.php?codAcervo=338948>>. Acesso em mai. 2021.

SOUZA, Luiz Eduardo Christovam de, IMAI, Nilton Nobuhiro, SHIMABUKURO, Milton Hirokasu, GALO, Maria de Lourdes Bueno Trindade. Mapa de susceptibilidade a vazamentos na rede de distribuição d'água de Presidente Prudente-SP baseado na técnica AHP. **IV Simpósio Brasileiro de Geomática - SBG2017, II Jornadas Lusófanos - Ciências e Tecnologias de Informação geográfica - CTIG2017.** Presidente Prudente - SP, 2017. p. 119-

125. Disponível em:<
http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_60.pdf>. Acesso em mai. 2021.

TARDELLI FILHO, Jairo. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, janeiro-abril 2016, p. 6-20. Disponível em:<
http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf>. Acesso em mai. 2021.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água** - 4a. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p. Disponível em:<
<https://pergamum.ufsc.br/pergamum/biblioteca/index.php?codAcervo=235938>>. Acesso em mai. 2021.

VOROBIEV P, HOLOWNIA M, KRASNOVA L. Multi-criteria decision analysis (MCDA) and its alternatives in health technology assessment. **Journal of Health Policy & Outcomes Research**, v. 1, p. 34-43, 2015.

WATER SERVICES ASSOCIATION OF AUSTRALIA Inc. **Common failure modes in pressurised pipeline systems**. 2003. Disponível em:<
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/WSAA%202003%20Common%20Failure%20Modes%20in%20Pressurised%20Pipeline%20Systems.pdf>. Acesso em mai. 2021.

YOSHIMOTO, Paulo Massato; TARDELLI FILHO, Jairo; SARZEDAS, Guaraci Loreiro. **Documento de apoio técnico - Controle de pressão na rede**. Brasília, 1999.