

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA APÓS A
IMPLEMENTAÇÃO DE DISTRITOS DE MEDIÇÃO E
CONTROLE NA REGIÃO ADMINISTRATIVA SÃO
SEBASTIÃO - DF**

GABRIELA RIBEIRO FONSECA

ORIENTADOR: ARTHUR TAVARES SCHLEICHER

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL II**

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA APÓS A
IMPLEMENTAÇÃO DE DISTRITOS DE MEDIÇÃO E
CONTROLE NA REGIÃO ADMINISTRATIVA SÃO
SEBASTIÃO – DF

GABRIELA RIBEIRO FONSECA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, MESTRE (UnB/ENC)
(ORIENTADOR)

ALEXANDRE KEPLER SOARES, DOUTOR (UnB/ENC)
(EXAMINADOR INTERNO)

ELTON GONÇALVES, MESTRE (CAESB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 12 DE NOVEMBRO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

FONSECA, GABRIELA RIBEIRO

Avaliação das perdas de água após a implementação de Distritos de Medição e Controle na Região Administrativa de São Sebastião – DF.

xvi., 114 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Recursos Hídricos

2. Perdas de água

3. Setorização

4. Rede de distribuição

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Fonseca, G. R. (2021). *Avaliação das perdas de água após a implementação de Distritos de Medição e Controle na Região Administrativa São Sebastião – DF*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriela Ribeiro Fonseca

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação das perdas de água após a implementação de Distritos de Medição e Controle na Região Administrativa de São Sebastião – DF.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gabriela Ribeiro Fonseca
gabirfonseca27@gmail.com

AGRADECIMENTOS

A Universidade de Brasília foi uma etapa muito importante na minha vida. Finalizo o curso de Engenharia Ambiental com plena certeza de que esses últimos 6 anos me tornaram uma pessoa melhor.

Agradeço a Deus por guiar os meus passos para chegar até aqui.

Agradeço principalmente aos meus pais, Aimeê e José, por sempre me apoiarem, acreditarem em mim e me darem todo suporte. Vocês são os melhores do mundo.

Agradeço à toda a minha família, em especial às minhas tias Fiinha, Márcia e Eliane; e às minhas irmãs, Ana Caroline e Danielle.

Agradeço ao Lucas por todo companheirismo, apoio, paciência e cuidado dos últimos anos.

À minha prima Fernanda e minha amiga Gisele por serem minhas parceiras durante uma das fases mais importantes da minha vida, que me levou a essa conquista.

Aos meus Amigos: Bruna, Gabriela, Giovanna, Júlia Medina, Júlia Espíndula, José Eduardo, Klalbert, Lucas Taraleskof, Marina, Matheus Winsper, Paulo Aires e Rommel por todo apoio e companheirismo dos últimos anos. Vocês são muito importantes para mim.

Aos meus amigos Mosquerdos: Ana Flávia, Bianca, Bruno, Carine, Carol, Duda, Klitzke, Laura, Mariana, Neto, Ricardo, Teury e Vinícius. Ter vocês comigo há tantos anos é um presente em minha vida. Agradeço em especial à minha Dupla de Três: Laura e Vinícius, por toda a parceria, paciência, compreensão e apoio de todos os tempos.

Aos meus amigos do Churras Online: Isabela, Isadora, Luiz Felipe, Paulo Aires, Paulo Buta e Thatiane. Vocês foram a minha força durante esse último ano.

Agradeço aos amigos Flua Consultoria Ambiental por todos os momentos compartilhados. Em especial ao Lucas Nunes, por ter me apoiado e me ajudado tanto nessa etapa.

À equipe CAESB: Diogo, Eduardo, Elton e à equipe de apoio à Manutenção. Agradeço em especial à Tattiane e ao Ulisses por todo suporte nessa etapa.

Agradeço à Universidade de Brasília e seus professores pela oportunidade e por todo aprendizado, em especial a dois professores que se fizeram muito presentes durante a minha graduação, professora Yovanka e o meu orientador, Arthur Schleicher, por todo apoio e paciência.

À minha psicóloga Amona por me dar suporte durante esse período.

Agradeço e dedico essa conquista à minha vó Ana, que sempre sonhou com esse momento.

Por fim, agradeço a duas pessoas muito especiais na minha vida e fundamentais para eu me tornar quem eu sou hoje, meu avô Ângelo e minha amiga Nadine.

RESUMO

Em um contexto de escassez, o volume de água perdido nas redes de distribuição se torna cada dia mais relevante às companhias de saneamento. O presente trabalho aborda a situação das perdas de água em áreas selecionadas de São Sebastião – DF após a setorização da Região Administrativa.

No estudo, foram analisadas as perdas totais (reais e aparentes) na área de abastecimento do reservatório número um (RAP.SSB.001) da RA através do Balanço Hídrico. Também foram avaliadas as perdas reais pelo método da Vazão Mínima Noturna e através do cálculo do Fator de pesquisa. A estimativa de perdas reais foi realizada para a área do RAP.SSB.001 e para os Distritos de Medição e Controle pré-selecionados: 02, 06, 08 e 13. Além da análise do volume de água perdido na distribuição, o trabalho avaliou o impacto da setorização na quantidade de manutenções corretivas em redes, ramais e cavaletes da região.

As estimativas realizadas apontam para um cenário de perdas preocupante na área em estudo. O resultado do Balanço Hídrico mostra um volume de perdas totais que representa 45,19% do volume de entrada do RAP.SSB.001, valor significativamente superior à média do Distrito Federal de 2020, 32,52%. Os métodos de avaliações de perdas reais apontam para uma quantidade superior a 50% de volume de água perdido em forma de vazamentos nas áreas em estudo, com exceção do DMC 13 que foi melhor avaliado.

A quantidade de manutenção corretiva diminuiu significativamente com a setorização da área (cerca de 13%), no entanto, é possível observar um aumento expressivo da quantidade de consertos em ramais (em torno de 14%). Mesmo com a redução brusca na quantidade de consertos, a RA segue como uma das mais problemáticas do DF quanto ao número de manutenções corretivas. Essa redução dos consertos pode levar à inferência de que a situação das perdas reais já foi ainda pior na região.

Todos as metodologias utilizadas no estudo apontam para uma situação de perdas de água alarmante nas regiões estudadas, destacando-se as perdas reais. Diante dos resultados encontrados nesse trabalho, fica evidente a necessidade de um estudo mais aprofundado que indique qual direção a companhia deverá tomar para que o volume de água perdido na distribuição na Região Administrativa de São Sebastião seja amenizado.

Palavras-chave: Setorização; Distribuição de água; Perdas de água; Método da Vazão Mínima Noturna; Fator de Pesquisa; Balanço Hídrico; Manutenção Corretiva.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	4
3.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	5
3.3 MEDIDORES DE VAZÃO	7
3.3.1 Macromedição	8
3.3.2 Micromedição	8
3.4 PERDAS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	9
3.4.1 Perdas Reais.....	12
3.4.1.1 Vazamentos	13
3.4.1.2 Relação entre Pressão e Perdas Reais	15
3.4.2 Perdas Aparentes.....	16
3.5 CONTROLE E GESTÃO DE PERDAS	17
3.5.1 Indicadores de Perdas	19
3.5.1.1 Indicador de Perda por Faturamento	20
3.5.1.2 Indicadores de Perdas de Água	20
3.5.1.3 Indicadores de Perdas Reais	21
3.5.1.4 Indicadores de Perdas Aparentes.....	24
3.5.2 Controle de Pressão.....	24
3.5.2.1 Válvulas Redutoras de Pressão e <i>Boosters</i>	24
3.5.3 Setorização em Redes de Abastecimento e Distritos de Medição e Controle	25
3.5.4 Balanço Hídrico	30
3.5.5 Vazão Mínima Noturna	33
3.5.6. Fator de pesquisa.....	36
3.6 MANUTENÇÃO CORRETIVA	37
4. METODOLOGIA	39
4.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
4.2 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO E INDICADORES	45

4.3 ESTIMATIVA DA VAZÃO MÍNIMA NOTURNA	47
4.3.1 Áreas Avaliadas	48
4.3.2 Levantamento de Dados.....	49
4.3.2.1 Vazões de Entrada.....	49
4.3.2.2 Pressão.....	51
4.3.2.3 Estimativa Populacional	53
4.3.2.4 Demais Dados	54
4.3.3 Aquisição e Escolha dos Dados	56
4.3.4 Aplicação dos Dados.....	57
4.3.4.1 Vazão de Entrada	57
4.3.4.2 Pressão.....	58
4.4 FATOR DE PESQUISA.....	59
4.5 ANÁLISE DO IMPACTO DA SETORIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO	
CORRETIVA.....	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1. BALANÇO HÍDRICO E INDICADORES	63
5.2. VAZÃO MÍNIMA NOTURNA	68
5.2.6. Vazão	68
5.2.7. Pressão.....	71
5.2.8. Estimativa das Perdas Reais.....	73
5.3. FATOR DE PESQUISA.....	86
5.4. IMPACTO DA SETORIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO CORRETIVA.....	87
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÊNDICE A – DADOS PARA O BALANÇO HÍDRICO	101
APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS	
MACROMEDIDORES.....	104
APÊNDICE C – RESULTADOS DE VAZÃO.....	105
APÊNDICE D – PONTOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO	107
APÊNDICE E – RESULTADOS DAS PRESSÕES	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (Tsutiya, 2006).....	4
Figura 3.2 - Custo de um Sistema de Abastecimento de Água (Tsutiya, 2006).....	5
Figura 3.3 - Exemplo de uma Rede Ramificada (Tsutiya, 2006).....	6
Figura 3.4 - Exemplo de uma Rede Malhada (Tsutiya, 2006).....	6
Figura 3.5 - Exemplo de uma Rede Mista (Tsutiya, 2006).....	7
Figura 3.6 - Macromedidor de Vazão Eletromagnético (Ômega, 2017).....	8
Figura 3.7 - Hidrômetro (Hidroluna, 2017).....	8
Figura 3.8 - Gráfico da Série Histórica do Índice de Perda na Rede de Distribuição do DF (CAESB, 2020).....	9
Figura 3.9 - Índice de Perdas na Distribuição no Brasil (ADASA, 2021).....	10
Figura 3.10 - Panorama Internacional do IPD em 2018 (TRATA BRASIL, 2020).....	10
Figura 3.11 - Classificação de Vazamentos Segundo a IWA (AESBE, 2015).....	14
Figura 3.12 - Características dos vazamentos (AESBE, 2015).....	14
Figura 3.13 - Características dos vazamentos (Tardelli Filho, 2004).....	14
Figura 3.14 - Classificação dos DMCs (adaptado de Fallis <i>et al.</i> , 2011).....	27
Figura 3.15 - Matriz do Balanço Hídrico (AESBE, 2015).....	31
Figura 3.16 - Resumo do Método do Balanço Hídrico da IWA (AESBE, 2015).....	31
Figura 3.17 - Método das Vazões Mínimas Noturnas (AESBE, 2015).....	33
Figura 3.18 - Fator de Pesquisa Área Centro-Norte.....	37
Figura 4.1 - Fluxograma da Metodologia.....	39
Figura 4.2 - Localização de São Sebastião no DF (CAESB, 2017).....	39
Figura 4.3 - Volume Médio Micromedido (CAESB, 2017).....	40
Figura 4.4 - Gráfico do Volume Consumido Anual por Categoria (ADASA, 2021).....	40
Figura 4.5 - Gráfico do Volume Consumido Anual (ADASA, 2021).....	41
Figura 4.6 - Divisão dos DMCs de São Sebastião (CAESB, 2021).....	41
Figura 4.7 - Área de Abastecimento dos Reservatórios (CAESB, 2021).....	42
Figura 4.8 - DMCs estudados (CAESB, 2021).....	43
Figura 4.9 - Ligações Clandestinas RAP.SSB.001 (CAESB, 2021).....	44
Figura 4.10 - Pontos de Interesse para Pesquisa de Vazamentos (CAESB, 2021).....	45
Figura 4.11 – Matriz do Balanço Hídrico no software <i>WB-EasyCalc</i>	46
Figura 4.12 - Planilha de Cálculo da Vazão Mínima Noturna.....	47
Figura 4.13 - Área do DMC 08 (08A+08B).....	49

Figura 4.14 - Localização do RAP.SSB.001 e dos Macromedidores dos DMCs 08A e 08B no Atlas Caesb	50
Figura 4.15 - Localização Aproximada dos Macromedidores	51
Figura 4.16 - Rede de Abastecimento de Água de São Sebastião no EPANET 2.0 Brasil .	52
Figura 4.17 - Entrada dos Dados de Vazão	58
Figura 4.18 - Divisão das Áreas do Distrito Federal	60
Figura 4.19 - Gráfico da Evolução de Consertos em São Sebastião	60
Figura 5.1 - Vazões de Saída do RAP.SSB.001 (CAESB, 2021)	63
Figura 5.2 - Matriz do Balanço Hídrico Anual do RAP.SSB.001	64
Figura 5.3 - Porcentagens Parcela do Balanço Hídrico Anual	64
Figura 5.4 - Perdas com Relação do Volume de Entrada no RAP.SSB.001	65
Figura 5.5 - Comparativo Perdas Reais e Aparentes (adaptado de ABES, 2018).....	66
Figura 5.6 - Indicadores de Perdas Reais	66
Figura 5.7 - Indicadores de Perdas Aparentes	67
Figura 5.8 - Vazões nos Macromedidores de Entrada em l/s	69
Figura 5.9 - Vazão de Entrada no EBO.SSB.001 (DMC 08A) em l/s.....	70
Figura 5.10 - Vazão de Entrada no EBO.SSB.004 (DMC 08B) em l/s.....	70
Figura 5.11 - Pontos de Monitoramento de Pressão.....	72
Figura 5.12 - Indicadores do DMC 02.....	74
Figura 5.13 – Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 02	74
Figura 5.14 - Indicadores do DMC 06 para N1 igual a 1,15	76
Figura 5.15 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 06 para N1 igual a 1,15	76
Figura 5.16 - Indicadores do DMC 06 para N1 igual a 1,05	77
Figura 5.17 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 06 para N1 igual a 1,05	77
Figura 5.18 - Indicadores do DMC 08 para N1 igual a 1,15	78
Figura 5.19 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 08 para N1 igual a 1,15	79
Figura 5.20 - Indicadores do DMC 13.....	80
Figura 5.21 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 13	80

Figura 5.22 - Indicadores do RAP.SSB.001	81
Figura 5.23 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do RAP.SSB.001	82
Figura 5.24 - Distribuição das Perdas Reais na área do RAP.SSB.001	85
Figura 5.25 - Gráfico da Evolução dos Consertos em São Sebastião.....	87
Figura 5.26 - Gráfico da Evolução dos Consertos de Rede, Ramal e Cavalete em São Sebastião	89
Figura 5.27 - Evolução dos Consertos em São Sebastião no Período de Junho a Agosto ..	90
Figura 5.28 - Gráfico da Evolução dos Consertos de Junho a Agosto	90
Figura 5.29 - Distribuição dos Consertos em 2021	91
Figura 5.30 - Consertos nos Setores do RAP.SSB.001	92
Figura 5.31 - Evolução dos Consertos nos Setores do RAP.SSB.001	92
Figura A.1 - Dados para o Balanço Hídrico (CAESB, 2021).....	101
Figura A.2 - Dados para o Balanço Hídrico (CAESB, 2021).....	102
Figura A.3 - Dados para o Balanço Hídrico	103
Figura A.4 - Macromedidor DMC 02.....	104
Figura A.5 - Macromedidor DMC 06.....	104
Figura A.6 - Macromedidor DMC 13 (REL-VDR.001).....	104
Figura A.7 – Vazões de Entrada no DMC 02.....	105
Figura A.8 - Vazões de Entrada no DMC 06	105
Figura A.9 - Vazões de Entrada no DMC 13	106
Figura A.10 - Pontos de Pressão no DMC 02.....	107
Figura A.11 - Pontos de Pressão no DMC 06.....	107
Figura A.12 - Pontos de Pressão no DMC 08A.....	108
Figura A.13 - Pontos de Pressão no DMC 08B	108
Figura A.14 - Pontos de Pressão no DMC 13.....	109
Figura A.15 – Ponto Crítico no DMC 02	110
Figura A.16 - Ponto Médio no DMC 02.....	110
Figura A.17 - Ponto Crítico DMC 06	111
Figura A.18 - Ponto Médio DMC 06.....	111
Figura A.19 - Ponto Crítico DMC 08A	112
Figura A.20 - Ponto Médio DMC 08A.....	112
Figura A.21 - Ponto Crítico DMC 08B	113

Figura A.22 - Ponto Médio DMC 08B	113
Figura A.23 - Ponto Crítico DMC 13	114
Figura A.24 - Ponto Médio DMC 13.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Caracterização Geral das Perdas (adaptado de Tsutiya, 2006)	11
Tabela 3.2 - Principais Ocorrências de Perdas Reais (adaptado de Melato, 2010)	13
Tabela 3.3 - Principais Ocorrências de Perdas Aparentes (adaptado de Melato, 2010).....	17
Tabela 3.4 - Valores Referência do Fator de Pesquisa	37
Tabela 4.1 - Características dos DMCs Estudados (CAESB, 2021)	43
Tabela 4.2 - Dados de Entrada do <i>WB-EasyCalc</i>	46
Tabela 4.3 - Estimativa do Número de Pessoas por Ligação	54
Tabela 4.4 - População Atendida Estimada.....	54
Tabela 4.5 - Extensão de Rede e Quantidade de Ramais Pressurizados	55
Tabela 4.6 - Composição da Rede dos DMCs e valor de N1 adotado (CAESB, 2021).....	55
Tabela 4.7 - Período de Medições	56
Tabela 4.8 - Consertos de Rede, Ramal e Cavalete da Área Centro-Norte do DF entre 2016 e 18/09/2021 (CAESB, 2021).....	61
Tabela 5.1 - Dados de Vazão Tratados (l/s)	71
Tabela 5.2 - Pressão Média nos DMCs	71
Tabela 5.3 - Pressão Média nos DMCs	73
Tabela 5.4 - Dados de Entrada DMC 02	74
Tabela 5.5 - Dados de Entrada DMC 06	75
Tabela 5.6 - Dados de Entrada DMC 08	78
Tabela 5.7 - Dados de Entrada DMC 13	80
Tabela 5.8 – Dados de Entrada RAP.SSB.001	81
Tabela 5.9 - Comparativo Balanço Hídrico e Vazão Mínima Noturna.....	82
Tabela 5.10 - Indicadores e Resultados da VMN	83
Tabela 5.11 – Resultado do Fator de Pesquisa	86

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 Cálculo da vazão que escoar em um orifício	15
Equação 3.2 Modelo genérico da vazão de vazamentos	15
Equação 3.3 Formulação FAVAD	16
Equação 3.4 Índice de perdas por faturamento.....	20
Equação 3.5 Indicador geral de perdas na distribuição	20
Equação 3.6 Índice de perdas por ramal.....	21
Equação 3.7 Índice de perdas por extensão de rede	21
Equação 3.8 Perdas reais anuais inevitáveis.....	21
Equação 3.9 Perdas reais anuais correntes	22
Equação 3.10 Índice de vazamentos de infraestrutura	22
Equação 3.11 Perda real em m ³ /km de rede/hora	22
Equação 3.12 Perda real em litro/ramal/dia.....	23
Equação 3.13 Perda real em litro/ramal/dia/mca.....	23
Equação 3.14 Vazamentos inerentes	23
Equação 3.15 Fator de condição da infraestrutura	23
Equação 3.16 Perdas aparentes em relação ao consumo autorizado	24
Equação 3.17 Perdas aparentes em litro/ramal/dia.....	24
Equação 3.18 Cálculo das perdas reais.....	32
Equação 3.19 Fator noite e dia	34
Equação 3.20 Cálculo da vazão mínima noturna	34
Equação 3.21 Cálculo do fator de pesquisa.....	36
Equação 4.1 Estimativa de pessoas por ligação	54

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

AAPF	Volume Anual Atual de Perdas
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
APDA	Associação Portuguesa de Estudo de Distribuição e Drenagem de Águas
BI	<i>Business Intelligency</i>
BH	Balço Hídrico
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
DF	Distrito Federal
DMC	Distrito de Medição e Controle
EBO	Elevatória de Água Tratada tipo <i>Booster</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAVAD	<i>Fixed and Variable Area Discharge</i>
FCI	Fator de Condição da Infraestrutura
FND	Fator Noite e Dia
FUNDACE	Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contabilidade e Economia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FP	Fator de Pesquisa
GM	Gabinete do Ministério
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IIE	Índice Infraestrutural de Perdas
IPD	Índice de Perdas na Distribuição
IPER	Índice de Perdas por Extensão de Rede
IPF	Índice de Perdas por Faturamento
IPR	Índice de Perdas por Ramal
IVI	Índice de Vazamentos da Infraestrutura
IWA	<i>International Water Association</i>
MAPF	Volume Mínimo Atingível de Perdas Reais
MCA	Metro de Coluna D'água
NBR	Norma Brasileira

OS	Ordem de Serviço
PACA	Perdas Aparentes em relação ao Consumo Autorizado
PMS	Pressão Média do Setor
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRAC	Índice de Perdas Anuais Recorrentes
PRAI	Índice de Perdas Reais Inevitáveis
QSP	Quando o Sistema está Pressurizado
RA	Região Administrativa
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
TMA	Tempo Médio de Abastecimento
UDA	Unidade de Distribuição de Água
VI	Vazamentos Inerentes
VMN	Vazão Mínima Noturna
VRP	Válvula Redutora de Pressão

1. INTRODUÇÃO

A evolução das sociedades sempre se deu em consonância à demanda de captar, transportar, tratar e distribuir água, um recurso esgotável e indispensável à vida. A saúde, o bem-estar, o desenvolvimento e o crescimento econômico de uma população estão diretamente relacionados à disponibilidade hídrica para suprir suas necessidades.

A Lei 11.445 (Lei Nacional de Saneamento Básico) (Brasil, 2007), define, dentre outros aspectos, a universalização do acesso aos serviços de saneamento como um princípio fundamental, garantindo direito à água potável de qualidade à toda a população.

Diante de um cenário de desenvolvimento econômico e crescimento populacional, a demanda por água potável para suprir as necessidades do abastecimento público e sustentar os processos de produção cresceu significativamente nos últimos anos. Uma cultura que não prioriza a conservação dos recursos hídricos aliada a sistemas de distribuição ineficientes resulta em uma escassez de água que afeta mais de 40% da população mundial (PNUD, 2021).

De acordo com os dados de 2019 apresentados pelo SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento), em torno de 83,7% dos brasileiros têm acesso a água potável. Considerando a população brasileira em 2019 (IBGE), isso significa que cerca de 34 milhões de pessoas não possuem atendimento de água.

O consumo irracional tem impacto direto nas companhias de saneamento e o manejo ineficiente e inadequado da água resulta em seu desperdício ao longo de toda sua distribuição. Nos últimos anos, o Distrito Federal sofreu com esta realidade. Em 2017 ocorreu o racionamento de água, que teve fim em junho de 2018. A necessidade dessa ação se deu em decorrência de sucessivos períodos de baixa precipitação e do baixo nível de água dos reservatórios Santa Maria, Torto e Descoberto.

O aumento nos padrões de consumo e a escassez de água reforçam a necessidade da conservação dos recursos hídricos e tornam o desperdício de água preocupante, tornando o papel do controle das perdas de água na distribuição fundamental.

A quantidade de água perdida nos sistemas de distribuição em todo mundo é estimada em 48 bilhões de metros cúbicos por ano (Kingdom *et al.*, 2006). De acordo com o Painel de Informação sobre Saneamento do SNIS, no Brasil, o número médio de perdas na distribuição nos últimos anos (2015-2019) foi aproximadamente 38%. Em um cenário geral, nota-se uma piora no índice de perdas em cunho nacional, já que, em 2015, 36,5% da água potável

distribuída não foi contabilizada ou foi perdida na distribuição, enquanto em 2019 esse número foi igual a 39,2%.

No âmbito do Distrito Federal, no ano de 2020, 34,37% da água potável fornecida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) à população foi perdida na distribuição. Em 2019, esse valor foi igual a 32,10% e os resultados do Balanço Hídrico apontaram que cerca de 75% da água perdida no sistema distribuidor ocorreu por meio de vazamentos (perdas reais) em redes, ramais e/ou cavaletes, enquanto os outros 25% foram perdidos através de ligações clandestinas, fraudes e submedições (perdas aparentes) (CAESB, 2021).

O combate às perdas que ocorrem em todo o sistema distribuidor de água é um desafio às companhias de saneamento. Uma das alternativas para facilitar o controle e a gestão das perdas na distribuição é a setorização de uma área, que consiste basicamente em sua subdivisão em Distritos de Medição e Controle (DMCs) que são constantemente monitorados, facilitando o acompanhamento de parâmetros e as intervenções na área.

Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar a situação das perdas de água na Região Administrativa (RA XVI) São Sebastião - DF após a setorização e a implementação de DMCs na área, que ocorreu entre abril de 2019 e dezembro de 2020. Nele, a análise das perdas de água na distribuição é feita para a área do reservatório apoiado número um da RA, o RAP.SSB.001 e para parte dos DMCs que o compõem (02, 06, 08 e 13), bem como para o DMC 13, que é abastecido pelo reservatório elevado, REL-VDR.001.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar as perdas de água na rede de distribuição da Região Administrativa de São Sebastião após a implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar e avaliar as perdas de água no RAP.SSB.001 pelo método do Balanço Hídrico;
- Estimar e avaliar as perdas reais no RAP.SSB.001 e nos DMCs 02, 06, 08 e 13 pelos métodos da Vazão Mínima Noturna e Fator de Pesquisa;
- Avaliar os impactos da setorização da área na frequência da manutenção corretiva.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo 3 deste trabalho é feita uma contextualização geral do tema com uma fundamentação teórica que aborda: sistema de abastecimento de água, rede de distribuição de água, medidores de vazão, perdas em rede de abastecimento de água, controle e gestão de perdas e manutenção corretiva.

3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O Manual de Saneamento (FUNASA, 2004) define saneamento ambiental como o conjunto de ações socioeconômicas com objetivo de alcançar níveis de salubridade ambiental. Entre essas ações está o abastecimento de água potável.

De acordo com a portaria GM n° 888/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021), um sistema de abastecimento de água para consumo humano é uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de redes de distribuição.

Os sistemas de abastecimento de água têm a função de colocar na rede distribuidora água potável aos consumidores com um nível de qualidade unificado, garantindo um fornecimento contínuo, de qualidade, quantidade e pressões adequadas (Tsutiya, 2006; Heller e Pádua, 2010). Eles podem possuir os componentes da Figura 3.1.

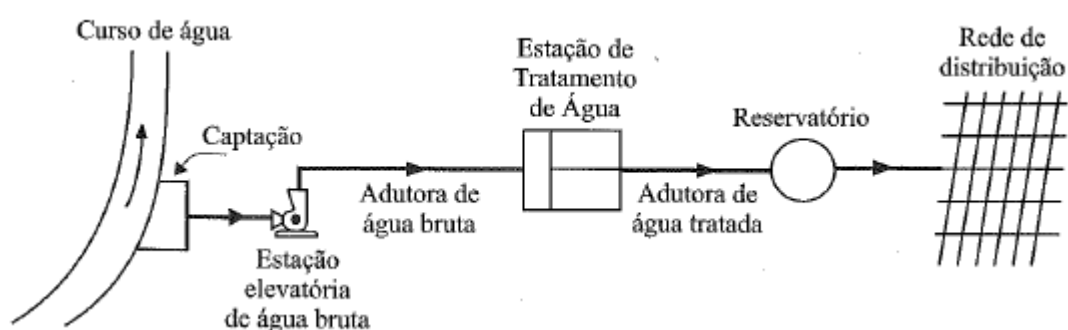


Figura 3.1 - Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (Tsutiya, 2006)

As considerações feitas neste trabalho possuem influência de todas as etapas de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), porém, têm como foco as duas últimas: o reservatório e a rede de distribuição.

Os reservatórios têm como função a compensação entre a vazão de produção (captação-adução-tratamento), que em geral tem um valor fixo, e as vazões de consumo, que são variáveis de acordo com a hora e o dia. Eles podem variar conforme suas posições no terreno (apoiado, elevado, semienterrado ou enterrado) e de acordo com sua posição com relação à rede de distribuição (montante ou jusante) (Heller e Pádua, 2010). Os reservatórios são responsáveis também por condicionar as pressões na rede de distribuição (Tsutiya, 2006).

3.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água composta por tubulações e órgãos acessórios - como cavaletes e ramais prediais - que têm por finalidade fornecer em regime contínuo água potável em quantidade, qualidade e pressões adequadas aos consumidores. Essa denominação vem da maneira de instalação das tubulações, que formam rede de condutos interligados entre si (Heller e Pádua, 2010).

A rede de distribuição é a etapa mais onerosa de um SAA, e, em geral, é responsável por mais de 50% dos custos de implementação (Figura 3.2). É nela que na maior parte das vezes ocorrem as maiores perdas de água - em termos de volume - e, por se tratar de um elemento enterrado, sua manutenção pode causar transtornos e/ou ser negligenciada. Uma rede mal dimensionada ou com problemas pode prejudicar a qualidade da água distribuída.

Partes constituintes do sistema	Custo (%)			
	P ≤ 10.000	10.000 < P ≤ 40.000	40.000 < P ≤ 100.000	P > 100.000
Captação	30	20	8	3
Adução	8	9	11	11
Bombeamento	6	5	5	1
Tratamento	12	9	9	5
Reservação	6	6	6	4
Distribuição	38	51	61	76

P = população em habitantes. Fonte: Tsutiya (1998).

Figura 3.2 - Custo de um Sistema de Abastecimento de Água (Tsutiya, 2006)

As redes são classificadas de acordo com seu tipo e orientação espacial de suas tubulações. Elas podem ser constituídas por dois tipos de canalização: principal ou secundária. As principais possuem um maior diâmetro e têm como função abastecer as secundárias, que levam água até a população. Com relação à orientação das canalizações, as redes podem ser classificadas em ramificadas, malhadas ou mistas.

As redes ramificadas têm como característica um abastecimento que se dá a partir de uma tubulação principal (alimentada por um reservatório ou por uma estação elevatória) que

abastece os condutos secundários onde a distribuição da água é feita aos consumidores (Figura 3.3). Por conta da sua disposição, o sentido da vazão é conhecido em todos os trechos (tubulação principal - ponta seca - consumidor). Esse tipo de rede é característica de localidades com desenvolvimento linear onde não há conexão entre as ruas. Elas têm como desvantagem a redução da qualidade da água em função de um maior tempo de detenção hidráulica e em caso de necessidade de intervenção, ao interromper um abastecimento em um trecho específico, todos os pontos a jusante ficaram sem abastecimento.

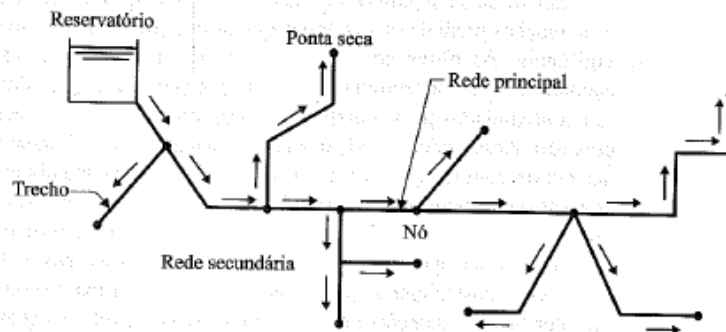


Figura 3.3 - Exemplo de uma Rede Ramificada (Tsutiya, 2006)

As redes malhadas são constituídas por tubulações principais que formam blocos ou anéis e, por isso, podem abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho (Figura 3.4). Nesse caso, diferentemente das malhas ramificadas, nas redes malhadas não é trivial conhecer a vazão nos trechos. No entanto, elas têm como vantagem a possibilidade de isolar um trecho específico da rede sem intervenção no abastecimento de outras áreas. Esse tipo de rede é característico de áreas com ruas que formam malhas viárias.

As redes malhadas em blocos são ideais para a implementação de controle de perdas, pois as redes internas (secundárias) aos blocos são abastecidas somente por dois pontos, o que favorece as medições de vazão e, conseqüentemente, o controle de perdas.

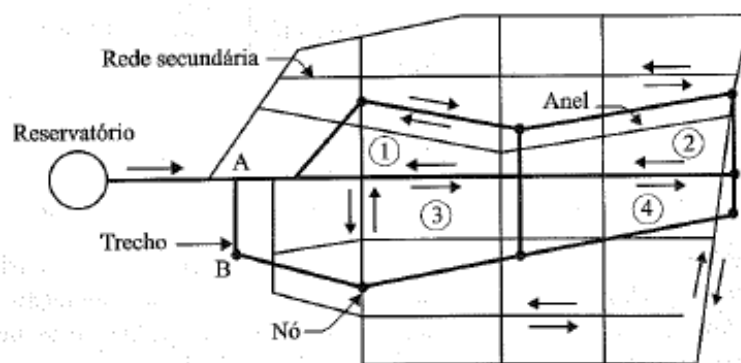


Figura 3.4 - Exemplo de uma Rede Malhada (Tsutiya, 2006)

As redes mistas são uma combinação da rede ramificada com a rede malhada (Figura 3.5).

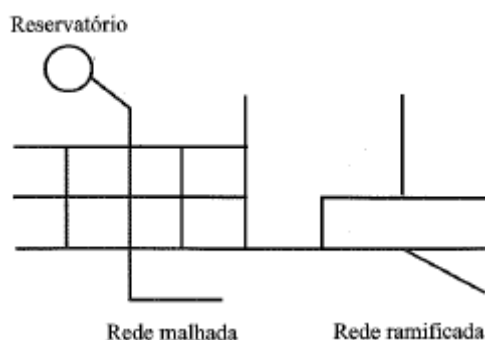


Figura 3.5 - Exemplo de uma Rede Mista (Tsutiya, 2006)

A delimitação da área a ser abastecida por uma rede é feita conforme a topografia do local e deve incluir todos os arruamentos existentes e áreas de expansão previstas (Heller e Pádua, 2010). As elaborações dos projetos de rede são definidas pela NBR 12.218/2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que orienta sobre projetos de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Para que a rede funcione de forma adequada é necessário que ela tenha as pressões mínima e máxima adequadas. A mínima para garantir que a água chegue ao ponto desejado por conta da influência dos desníveis topográficos e das perdas de carga; e a máxima para certificar a integridade de tubos, conexões e válvulas, bem como reduzir as perdas de água na tubulação. É muito comum que o controle dessas pressões nas redes seja feito por meio de válvulas redutoras de pressão (VRPs), *boosters* e sistemas de reservação.

3.3 MEDIDORES DE VAZÃO

A medição é um instrumento indispensável à operação eficaz dos sistemas de abastecimento de água, pois admite o conhecimento de diversas variáveis que permitem explorar melhores formas de operação. Os sistemas de medição englobam a macro e a micromedição e permitem um aumento da eficiência da operação dos sistemas de abastecimento, pois auxiliam no conhecimento de seu funcionamento.

Em sistemas com setorização, macro e micromedição, é possível compatibilizar o volume de água que está entrando no setor com o que está sendo consumido. Com isso, as perdas nos setores são conhecidas e pode-se estabelecer uma metodologia para otimizar o processo de combatê-las.

3.3.1 Macromedição

De acordo com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), a macromedição é o processo de medição e estimativa dos parâmetros operacionais hidráulicos dos sistemas de abastecimento, com ênfase na distribuição de água. Ela é o conjunto de medições realizadas no sistema público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição. Em geral, macromedidores (Figura 3.6) são usados na captação de água bruta, no tratamento de água, nos centros de reservação e distribuição e/ou em estações elevatórias. Eles são responsáveis por aferir vazões de grande porte. Um exemplo de macromedição são as medições de vazão feitas na entrada dos setores de distribuição.



Figura 3.6 - Macromedidor de Vazão Eletromagnético (Ômega, 2017)

3.3.2 Micromedição

No caso da distribuição de água, a micromedição tem como objetivo o manejo do abastecimento e auxílio no controle de perdas. A perda de água em um certo setor é calculada pela diferença entre o volume disponibilizado, medido pela macromedição, e o volume consumido, medido pela micromedição (PNCDA, 2003).

A micromedição é referente ao consumo realizado no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independentemente da sua categoria ou faixa de consumo. Ela compreende a medição periódica do volume consumido utilizando hidrômetros (Figura 3.7) (PNCDA, 2003).



Figura 3.7 - Hidrômetro (Hidroluna, 2017)

3.4 PERDAS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As perdas nos sistemas de abastecimento de água são um grande problema e acontecem nos seus diversos componentes. Elas podem ocorrer na produção (entre a captação e a estação de tratamento de água) ou na distribuição (da estação até a entrega ao consumidor). No caso deste trabalho, as perdas foram analisadas somente na rede de distribuição.

As elevadas perdas de água nos sistemas de abastecimento brasileiros são causadas, sobretudo, por uma gestão ineficiente dos sistemas atrelada à pouca disponibilidade de recursos e investimentos, além de um crescente aumento do consumo sem preocupações com um uso racional, bem como pela ampliação da carga hidráulica e extensão das redes para atendimento de novos consumidores sem os estudos de engenharia necessários.

Elevados índices de perdas são prejudiciais dos pontos de vista ambiental e financeiro, já que o volume de água passa por todo o processo de captação, tratamento e distribuição, mas, por algum motivo, não é faturado e, em geral, não é medido, causando um desperdício de água e um prejuízo financeiro. De acordo com Tsutiya (2006), quanto menor forem as perdas de volume de água no sistema, menor será a necessidade de exploração ou ampliação da captação de água, tendo assim, menores impactos ambientais.

A quantidade de água que é perdida na rede de distribuição no mundo varia entre 15 e 50%. Redes com vazamentos podem causar insuficiência de pressão e aumentar o risco em relação à qualidade de água, permitindo a intrusão de poluentes e aumentando o bombeamento e, conseqüentemente, o custo da energia necessária (Marzola *et al.*, 2020).

No ano de 2020, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) obteve como resultado 34,37% de perdas em sua rede de distribuição. É possível observar que, nos últimos anos, esse índice estava em torno do valor de 35% (Figura 3.8).

Série Histórica do Índice de Perdas na Rede de Distribuição do DF (%)

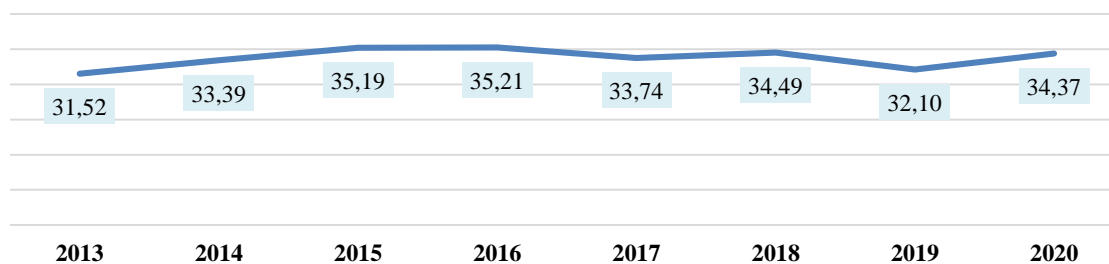


Figura 3.8 - Gráfico da Série Histórica do Índice de Perda na Rede de Distribuição do DF (CAESB, 2020)

O gráfico da Figura 3.9, do Relatório Técnico de Perdas da ADASA mostra dados agregados do Índice de Perdas na Distribuição (IPD) em companhias de saneamento do Brasil. Das 28 companhias apresentadas, a CAESB possui o terceiro melhor índice para o ano de 2019. De acordo com os dados, observa-se que oito prestadores de serviço possuem um valor de IPD acima de 50%, podendo chegar em cerca de 80%.

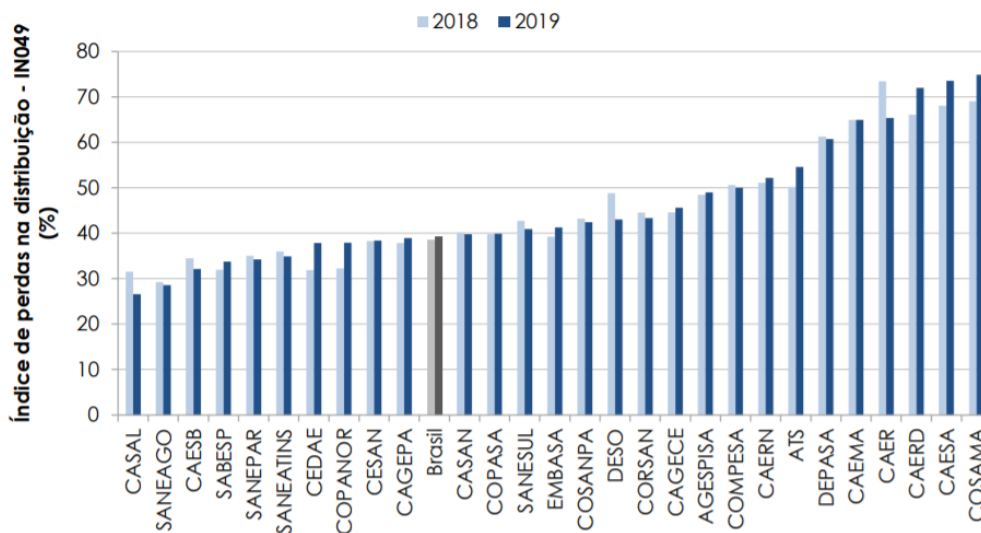


Figura 3.9 - Índice de Perdas na Distribuição no Brasil (ADASA, 2021)

O Relatório do Estudo de Perdas do Trata Brasil traz um panorama internacional de valores de IPD (Figura 3.10).

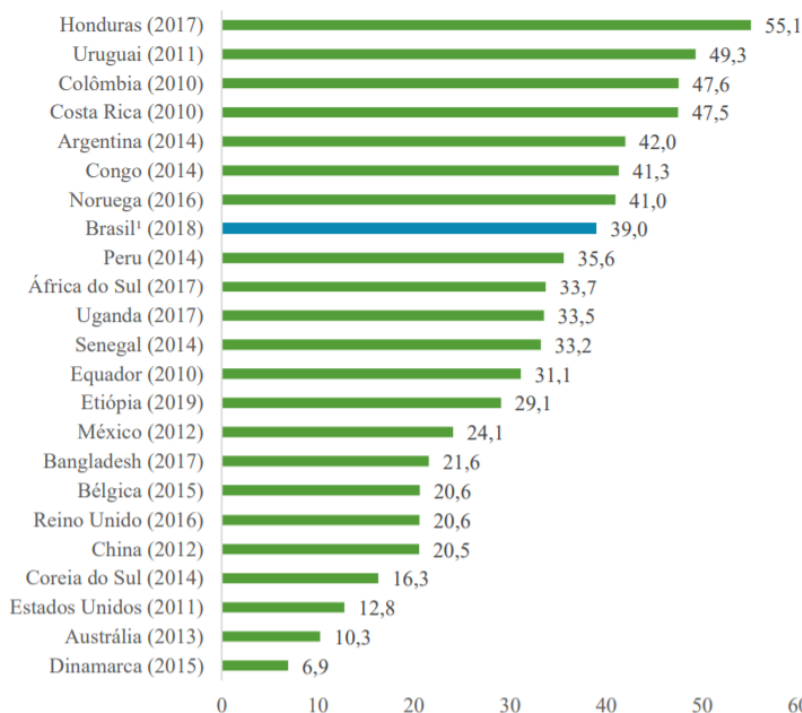


Figura 3.10 - Panorama Internacional do IPD em 2018 (TRATA BRASIL, 2020)

De modo geral, as perdas em um sistema podem ser avaliadas conforme a diferença entre a vazão disponibilizada e a consumida. Identificar e quantificar corretamente as perdas é uma ferramenta fundamental para a implementação de ações de combate a elas. As perdas de água em um sistema de abastecimento correspondem aos volumes não contabilizados, incluindo os volumes não utilizados e os não faturados (Heller e Pádua, 2010). De acordo com o conceito, elas podem ser divididas em dois tipos: reais ou aparentes.

As perdas reais e aparentes ocorrem em todas as fases do sistema de abastecimento e cada uma delas possui características e efeitos específicos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Caracterização Geral das Perdas (adaptado de Tsutiya, 2006)

ITEM	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	- Vazamento	- Erro de medição
Custo associado ao volume de água perdido	- Custo de produção da água tratada	- Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito no meio ambiente	- Desperdício dos recursos naturais; - Maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais	- Não é relevante
Efeito na saúde pública	- Riscos de contaminação	- Não é relevante
Ponto de vista empresarial	- Perda de produto "industrializado"	- Perda elevada de receita
Ponto de vista do consumidor	- Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência	- Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	- Repasse de custos à tarifa; - Desincentivo ao uso racional de água	- Repasse de custos à tarifa; - Incitamento ao roubo e fraudes

Os parâmetros que determinam o nível básico de perdas na rede são:

- Condição da infraestrutura;
- Pressão de operação;
- Extensão de rede;
- Número de ligações.

3.4.1 Perdas Reais

As perdas reais (também chamadas de físicas) são consideradas toda água que, mesmo produzida e transportada pelas companhias, não chega aos consumidores. Elas representam os volumes de vazamentos e extravasamentos nas unidades do sistema, da captação até a distribuição. Além disso, contabilizam também os volumes utilizados de forma inadequada nas operações, causando um consumo superior ao necessário, como as descargas nas redes de distribuição e a lavagem de filtros nas estações de tratamento de água (Heller e Pádua, 2010). Uma boa forma de quantificar as perdas reais em um sistema é através do método da Vazão Mínima Noturna (PNCDA, 2007). Neste trabalho, as perdas reais foram avaliadas somente na etapa de distribuição.

As perdas reais podem ser classificadas em operacionais ou por vazamentos. Quando se trata das operacionais, elas podem ser vistas nos procedimentos do processo produtivo (como a lavagem de filtros), nos procedimentos operacionais (descargas para a melhoria da qualidade da água) ou em falhas, como no extravasamento de reservatórios. As perdas por vazamentos decorrem do rompimento de adutoras, sub adutoras, redes, ramais prediais (a montante do hidrômetro), falhas em conexões, peças especiais, trincas nas estruturas e falhas na impermeabilização dos reservatórios e das Estações de Tratamento de Água (ETAs) (PNCDA, 2003).

No caso da distribuição, as perdas reais são resultantes de vazamentos na rede distribuidora, nos ramais prediais (a montante do hidrômetro) e nos cavaletes, sendo suas ações corretivas e mitigadoras complexas e com resposta ineficiente quando não realizadas de acordo com os critérios e controles técnicos necessários. A ruptura das tubulações e seus órgãos acessórios, em sua grande maioria, está relacionada a uma falha de projeto e planejamento e/ou uma sub ou sobrepressão.

As perdas reais que ocorrem na distribuição são muitas vezes elevadas e dispersas, acarretando em uma ação corretiva complexa e de retorno duvidoso se não for realizada de maneira criteriosa. A magnitude da vazão de vazamento será mais significativa quanto pior for o estado das tubulações e maiores as pressões.

De acordo com o Documento Técnico de Apoio n° A2 da PNCDA (2003), as experiências dos técnicos indicam que a maior quantidade de vazamentos ocorre nos ramais prediais e, em termos de volume, a maior perda real ocorre nas tubulações de redes distribuidoras. O uso de materiais adequados, uma obra executada com o devido treinamento e com as ferramentas necessárias são pré-requisitos para a existência de um baixo nível de perdas.

As causas mais comuns de perdas reais são apresentadas a seguir (Tabela 3.2):

Tabela 3.2 - Principais Ocorrências de Perdas Reais (adaptado de Melato, 2010)

PERDAS REAIS	
LOCAL	PRINCIPAIS CAUSAS
Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios	Falhas estruturais; Controle operacional insuficiente; Equipamento de controle de nível inadequado; Falha ou má definição de níveis operacionais.
Vazamentos em Adutoras, Redes e Ramais	Pressões elevadas; Variação da pressão; Transientes hidráulicos; Má qualidade de materiais e mão-de-obra; Falhas de operação; Intervenção de terceiros; Corrosividade da água e do solo; Intensidade do tráfego; Falhas de manutenção.

A redução das perdas físicas permite a diminuição dos custos de produção por meio da redução do consumo de energia e de produtos químicos (PNCDA, 2003). As ações de combate às perdas reais abrangem o gerenciamento da pressão, pesquisa de vazamentos, agilidade e qualidade dos reparos, além do gerenciamento dos materiais das redes.

3.4.1.1 Vazamentos

Os vazamentos aparecem em diversas partes de um sistema de abastecimento de água, como nas estruturas de uma ETA, nas tubulações das linhas de adução e da rede de distribuição, nos ramais prediais, nos cavaletes e nos equipamentos das estações elevatórias.

Na rede de distribuição - por conta da sua extensão - e nos ramais prediais ocorrem os maiores números de vazamentos. Quando se trata da vazão, estima-se que os vazamentos surgidos nas redes primárias e secundárias tenham vazões significativamente superiores aos que ocorrem nos ramais e nos cavaletes (Tsutiya, 2006).

A IWA divide os vazamentos em visíveis, não visíveis e inerentes (Figura 3.11). Suas características são expostas na Figura 3.12 e as ações para redução são representadas na Figura 3.13.



Figura 3.11 - Classificação de Vazamentos Segundo a IWA (AESBE, 2015)

TIPO DE VAZAMENTO	CARACTERÍSTICAS
Inerente	Vazamento não-visível, não detectável, baixas vazões, longa duração
Não-visível	Detectável, vazões moderadas, duração depende da frequência da pesquisa de vazamentos
Visível	Aflorante, altas vazões, curta duração

Figura 3.12 - Características dos vazamentos (AESBE, 2015)

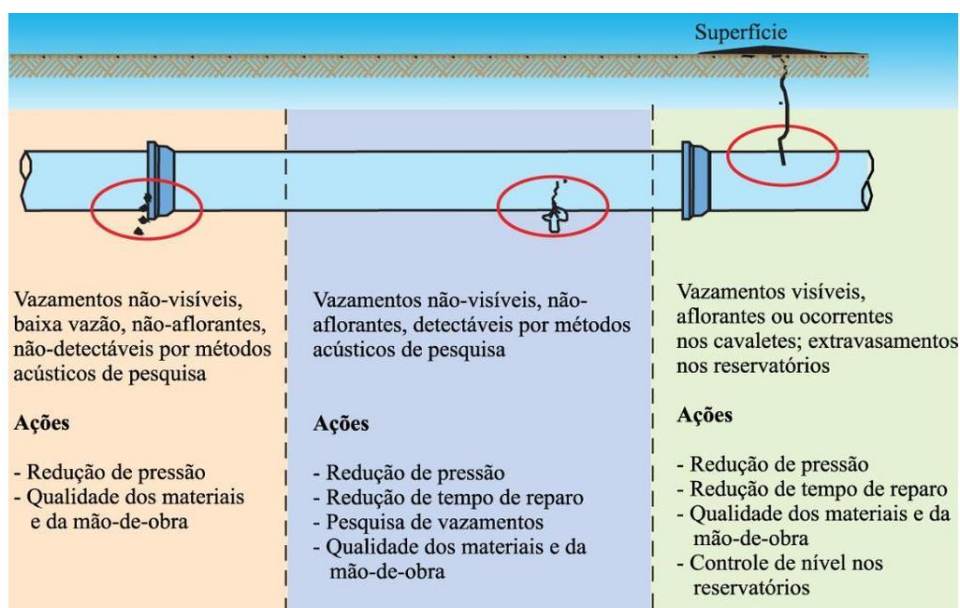


Figura 3.13 - Características dos vazamentos (Tardelli Filho, 2004)

Os vazamentos visíveis, por aparecerem, são em sua grande maioria combatidos. No caso dos não visíveis, a situação é mais delicada por conta da complexidade de identificação que acarreta em uma dificuldade de combatê-los. As ações de controle de vazamentos visíveis são chamadas ações passivas, enquanto as de vazamentos não visíveis, ativas. Essa denominação é dada porque, em geral, a descoberta dos vazamentos visíveis é feita pelo cliente que recorre à

companhia ou de forma incidental, enquanto a dos vazamentos não visíveis requerem pesquisas de vazamentos e funcionários da companhia em campo para verificação com equipamentos. Os vazamentos inerentes são considerados parte das chamadas “perdas inevitáveis” que têm ainda componentes associados a perdas por rupturas visíveis e não visíveis (volumes perdidos entre o surgimento do vazamento até o efetivo conserto) (AESBE, 2015). Eles não são visíveis e nem identificáveis por equipamentos de detecção acústica.

3.4.1.2 Relação entre Pressão e Perdas Reais

No controle de perdas, devem ser levados em conta a quantidade de ligações, a pressão de operação das redes, a extensão da tubulação, o tipo de material e idade, a qualidade do projeto e da construção e as condições de infraestrutura. Dentre os principais fatores que influenciam as perdas, está a pressão de operação.

De acordo com a hidráulica básica, uma vazão Q escoar por um orifício de área A com pressão h elevada à potência $N = 0,5$ e com um coeficiente de descarga Cd (Equação 3.1).

$$Q = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Cd = Coeficiente de descarga (adimensional);

A = Área do orifício (m^2);

g = gravidade (m/s^2);

h = pressão (mca).

Porém, já se tem conhecimento que os vazamentos podem variar com a pressão em uma relação superior à raiz quadrada e que a relação $N = 0,5$ não se aplica à maior parte das redes distribuidoras, com exceção das tubulações metálicas. Isso acontece porque a área efetiva do orifício também pode variar de acordo com a pressão em função do tipo de material. Sendo assim, ao aumentar a área do orifício, a vazão é aumentada numa relação superior a $h^{0,5}$, podendo N variar de 0,5 a 2,5. Por isso, assume-se um modelo genérico para representar a vazão de vazamentos (Equação 3.2):

$$Q = Ch^N \quad (\text{Equação 3.2})$$

Sendo:

Q = Vazão do vazamento (m^3/s);

C = Coeficiente de vazamento (adimensional);

h = Pressão (mca);

N = Expoente do vazamento (adimensional).

Com o conhecimento da maior sensibilidade dos vazamentos em função da pressão, foi proposta uma nova formulação FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharge*) (Equação 3.3):

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{N1} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Sendo:

Q_1 = Vazão final de vazamentos (m³/s);

Q_0 = Vazão inicial de vazamentos (m³/s);

P_1 = Pressão média da rede final (mca);

P_0 = Pressão média da rede inicial (mca);

$N1$ = Expoente que varia de 0,5 a 2,5 em função do material da tubulação.

Um estudo realizado em Mutare, cidade no Zimbabwe (Muranga *et al.*, 2006), investigou o potencial do controle de vazamentos por meio do gerenciamento da pressão. Durante o período de estudo, a quantidade de água não contabilizada foi igual a 57%, sendo 25% dela perdida em forma de vazamentos. A alteração de pressão de 77 mca para 50 mca na rede de distribuição resultou em uma redução de 25% no valor da vazão mínima noturna, com uma economia de 72 m³ de água por dia, equivalente economicamente a 670 dólares por mês. Portanto, pode-se deduzir que a quantidade de vazamentos no sistema e o controle da sua pressão é de extrema importância.

3.4.2 Perdas Aparentes

As perdas aparentes (não físicas) referem-se a toda água que não é medida ou que não tem seu uso definido. Elas são relacionadas a ligações clandestinas/irregulares, fraudes nos hidrômetros, erros de medição, erro cadastral, erros de leitura, etc. (PNCDA, 2003). Nesse tipo de perda, os custos são referentes ao preço da água e correspondem ao valor pago pelo consumidor na política tarifária da companhia, já que geralmente as perdas são incorporadas nos preços (Tsutiya, 2006). Elas contabilizam imprecisões associadas às medições de água produzida e consumida, bem como o consumo não autorizado por uso indevido ou ilícito.

“As perdas aparentes são tão “reais” quanto as perdas físicas. Em muitos casos este é o mais relevante componente da perda. É necessário avaliar as perdas não físicas com o mesmo rigor que se aplica às perdas físicas” (Carteado e Vermersch, 2006).

As perdas aparentes são expressivas e podem representar mais de 50% da água não faturada. A redução delas permite o aumento da receita tarifária, melhorando a eficiência da prestação de

serviços e o desempenho financeiro do prestador, além de contribuir de forma indireta para a ampliação da oferta efetiva (PNCDA, 2003).

As origens mais comuns de perdas aparentes são apresentadas a seguir na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Principais Ocorrências de Perdas Aparentes (adaptado de Melato, 2010)

PERDAS APARENTES	
ORIGEM	PRINCIPAIS CAUSAS
Imprecisão da medição	Imprecisão dos macromedidores; Má qualidade dos medidores; Submedição; Dimensionamento inadequado do medidor; Detritos nas redes de distribuição; Envelhecimento do parque de hidrômetros; Inclinação do hidrômetro.
Gestão Comercial	Ligações clandestinas; Fraudes; Roubo de água; Inexistência de hidrometração das ligações; Falha no cadastro; Deficiência nos sistemas e na rotina de apuração do consumo; Política tarifária; Falta de acompanhamento dos consumos medidos faturados.

As ações de combate às perdas aparentes abrangem a redução dos erros de medição, ações de combate às ligações clandestinas e fraudes e a implementação de um sistema comercial e de cadastro comercial adequado.

3.5 CONTROLE E GESTÃO DE PERDAS

O controle das perdas de água tem como objetivo a minimização do volume de água não faturado por meio de investimentos que visem a aplicação de métodos que reduzam as perdas reais e aparentes. A aplicação das práticas de controle deve levar em conta também o caráter social, técnico e econômico, de modo a tornar as ações viáveis. Do ponto de vista operacional, faz-se necessário o desenvolvimento de programas dirigidos ao controle e redução de perdas para a definição de objetivos, metas, ações e análises de resultado.

Moura (2004) define que a adoção de um sistema de controle de perdas se baseia primeiramente em medidas preventivas de controle de perdas nas fases de projeto e construção do sistema, envolvendo a necessidade de passos iniciais de organizações anteriores à operação. Essas medidas devem contemplar, dentre outras:

- A boa concepção do sistema de abastecimento de água, considerando dispositivos de controle operacional do processo;
- A qualidade adequada de instalações das tubulações, equipamentos e demais dispositivos utilizados;
- A implementação dos mecanismos de controle operacional (medidores e outros);
- A elaboração de cadastros;
- A execução de testes pré-operacionais de ajuste do sistema.

O controle das perdas de água passou a ter uma grande importância nos últimos anos, já que elas são responsáveis por um grande prejuízo financeiro às companhias de saneamento e prejudicam substancialmente a qualidade do sistema.

As estratégias para redução de perdas envolvem uma série de fatores, uma vez que não existe uma ação padronizada que funcione para qualquer tipo de rede e devem ser levados em consideração fatores como a pressão, o zoneamento, o consumo e a topografia do local.

Segundo Farley e Trow (2003), para o controle e gestão das perdas faz-se necessário um diagnóstico prévio onde se responda às seguintes perguntas: quanto é perdido? Onde é perdido? Por que ocorrem as perdas? Como manter? As estratégias de gerenciamento proposta pelos autores são divididas em etapas: preparação, definição de metas, implementação das ações, gerenciamento e monitoramento. A etapa de preparação se refere ao planejamento do plano e inclui o diagnóstico dos níveis atuais de perdas e o entendimento de suas causas e efeitos. A definição de metas corresponde à determinação do nível econômico de perdas, bem como a definição de metas de curto e longo prazo considerando o plano de investimento da empresa. Depois, vêm as etapas onde as ações são implementadas, gerenciadas e monitoradas para garantir com que os níveis de perdas não aumentem (Melato, 2010).

As estratégias de controle de perdas dependem do nível de controle e, quanto menor a área, melhor o diagnóstico e o controle, sendo recomendados os Distritos de Medição e Controle (DMCs) (Morrison, 2007).

Grande parte das práticas efetivas de controle de perdas reais são resultado de um conjunto de ações de forma simultânea que geram um resultado positivo. No caso deste trabalho, trata-se, por exemplo, da setorização da rede junto ao monitoramento e controle de vazão e pressão.

As ações de combate às perdas reais envolvem a agilidade e qualidade dos reparos realizados pela companhia, um bom gerenciamento infraestrutural da rede e a realização de pesquisa de vazamentos não visíveis (PVNV).

A realização de PVNV é uma das principais ações de controle ativo de perdas reais. Ela é realizada em campo com equipamentos que permitem a detecção acústica dos vazamentos não visíveis. Esse tipo de atividade é importante pois, mesmo que muitas vezes não resultem em uma grande vazão em um curto intervalo de tempo, os vazamentos não visíveis são de difícil detecção e podem perdurar por um longo período, podendo resultar em um grande volume de água perdido. Esse tipo de iniciativa, se realizada com frequência pela companhia, diminui significativamente a quantidade de vazamentos e de perda real de água na rede.

3.5.1 Indicadores de Perdas

Os indicadores de perdas medem a eficiência e a eficácia do sistema de abastecimento de água e podem ser usados como um instrumento gerencial para dar suporte na tomada de decisões da companhia (FUNDACE, 2013). Segundo Tardelli Filho (2004), os indicadores de perdas permitem retratar a situação das perdas, gerenciar a evolução dos volumes perdidos, redirecionar ações de controle e comparar sistemas de água distintos.

Existe uma grande variedade de indicadores, o que acaba por gerar um problema: a falta de linguagem uniforme que dificulta a comparação dos desempenhos entre diferentes sistemas. No entanto, a princípio, os indicadores não têm como função exclusiva a comparação de desempenho, mas também o foco na função gerencial para planejamento de ações de combate às perdas. Em alguns casos, as equações dos indicadores são adequadas às especificidades da companhia, não fazendo sentido serem usadas por outra (Heller e Pádua, 2010).

Um indicador de desempenho quando analisado de forma individual tem pouco interesse prático, podendo levar a conclusões erradas. É importante que a avaliação do ponto de vista seja feita com um sistema de indicadores de desempenho, que deve conter informação relevante (Guia Técnico de Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água, 2004). Portanto, para o cálculo de indicadores é necessária a confiabilidade dos dados e a padronização deles, permitindo também a comparações com outros sistemas.

O uso dos indicadores permite avaliar os pontos fortes e fracos da rede distribuidora, além de auxiliar na tomada de decisões e na priorização dos investimentos, facilitar a análise de desempenho e permitir uma linguagem padrão entre companhias para que se possa comparar diferentes sistemas.

Para o cálculo dos indicadores sugeridos pela IWA, faz-se necessário a distinção dos volumes das perdas reais dos volumes das perdas aparentes (FUNDACE, 2013). No entanto, destaca-se a dificuldade de obtenção dos volumes de perdas separadamente (Miranda, 2002).

3.5.1.1 Indicador de Perda por Faturamento

A água não faturada (em termos de volume) em relação à porcentagem de água que entrou no sistema é calculada a partir do Índice de Perdas por Faturamento (IPF) (Equação 3.4).

$$IPF = \frac{V_D - V_F}{V_D} \cdot 100 \quad (\text{Equação 3.4})$$

Onde:

V_D = Volume de água que entrou no sistema (m³)

V_F = Volume de água faturado (m³)

Esse indicador não é recomendado para períodos inferiores a um ano, pois pode induzir a erros de interpretação.

3.5.1.2 Indicadores de Perdas de Água

- Indicador Geral de Perdas na Distribuição (IPD)

O IPD (Equação 3.5), também é chamado de indicador percentual, é o mais fácil de ser compreendido (Tsutiya, 2006) e, por isso, é o mais utilizado pelas prestadoras de serviços de saneamento. No entanto, não é o mais indicado para comparações técnico-operacionais e avaliações, já que sofre influência do consumo *per capita* e da presença de grandes consumidores de água (Melato, 2010).

$$IPD = \frac{V_D - V_U}{V_D} \cdot 100 \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:

V_D = Volume disponibilizado (m³);

V_U = Volume utilizado (m³).

A principal desvantagem desse tipo de indicador é que a comparação entre sistemas diferentes pode não ser efetiva, podendo sistemas como o mesmo volume perdido terem índices de perdas numericamente diferentes e sistemas idênticos com padrões de consumo desiguais terem índice de perdas distintos. Por exemplo, ao considerar duas redes idênticas com padrões de consumo diferentes, a que possui maior consumo resultará num cálculo de índice de perdas com valor menor que a de menor consumo, já que o valor consumido é maior. Nesse caso, como a estrutura da rede é a mesma, as perdas também deveriam ser iguais.

De acordo com o PNCDA (2007), pode-se considerar que:

- $IPD < 40\%$: sistema com mau gerenciamento;
- $40\% > IPD < 25\%$: sistema com gerenciamento de nível intermediário;
- $IPD < 25\%$ sistema com bom gerenciamento.

Atualmente, esse tipo de indicador não é mais recomendado para uso técnico na gestão de perdas na rede de distribuição de água, porém, pode ser aplicado para avaliação financeira das perdas.

- Índice de Perdas por Ramal (IPR)

O uso do Índice de Perdas por Ramal (Equação 3.6) é recomendado em casos com densidade de ramais superior a 20 ramais por quilômetro, pois ele tende a resultar em valores muito elevados no caso de áreas com baixa ocupação urbana. É comum que este indicador seja dividido em perdas reais e perdas aparentes (Tsutiya, 2006).

$$IPR = \frac{\text{Volume perdido anual}}{N^{\circ} \text{ de ramais} \cdot 365} \quad (\text{Equação 3.6})$$

- Índice de Perdas por Extensão de Rede (IPER)

Em sistemas com uma densidade de ramais inferior a 20 ramais/km pode ser utilizado o Índice de Perdas por Extensão de Rede (Equação 3.7). Ele relaciona o volume perdido com a rede de distribuição e é expresso em m³/km.dia (Tsutiya, 2006).

$$IPER = \frac{\text{Volume perdido anual}}{\text{Extensão de rede} \cdot 365} \quad (\text{Equação 3.7})$$

3.5.1.3 Indicadores de Perdas Reais

- Perdas Reais Anuais Inevitáveis (PRAI)

A IWA recomenda o uso de fatores de escala, ou seja, indicadores que façam a relação entre o volume perdido e as características do sistema (pressão, extensão de rede, número de ligações, etc.). O PRAI (Perdas Anuais Inevitáveis) é uma fórmula empírica desenvolvida pela IWA que permite avaliar o limite inferior das perdas reais, ou seja, as perdas mínimas desejáveis para um sistema, onde não é mais viável à companhia tentar reduzi-las. O PRAI é expresso em m³/dia (Equação 3.8):

$$PRAI = \frac{(0,8Q_R + 18E_R) \cdot PMS \cdot \frac{TMA}{24}}{1000} \quad (\text{Equação 3.8})$$

Sendo:

Q_R = Quantidade de ramais pressurizados;

E_R = Extensão de redes em km;

PMS = Pressão média do sistema em mca;

TMA = Tempo médio de abastecimento em horas/dia.

É importante frisar que o limite das Perdas Anuais Inevitáveis não considera a condição financeira da companhia e sim a condição de infraestrutura da rede. Ou seja, financeiramente,

o limite de redução de perdas reais viável à companhia pode ser um valor superior ao encontrado no cálculo da PRAI.

- Perdas Reais Anuais Correntes (PRAC)

O PRAC (Equação 3.9) indica o grau de ineficiência do sistema, que é o objetivo principal do balanço hídrico. Na falta de dados sobre vazamentos para a mensuração do PRAC, pode ser usada a vazão mínima noturna.

$$PRAC = V_V + V_{OE} \quad (\text{Equação 3.9})$$

Onde:

V_V = Volume de vazamentos (m^3/dia)

V_{OE} = Volumes operacionais extraordinários (m^3/dia)

- Índice de Vazamentos na Infraestrutura (IVI)

O PRAI e o PRAC permitem o cálculo do Índice de Vazamento da Infraestrutura, indicador ideal para comparar sistemas diversos com condições de estrutura heterogêneas de consumo, infraestrutura, tipo de ocupação, etc. (Equação 3.10):

$$IVI = \frac{PRAC}{PRAI} \quad (\text{Equação 3.10})$$

O IVI é um indicador adimensional quem tem como função a análise da gestão da infraestrutura para controle de perdas reais. Ele não é indicado para pequenos sistemas, que, em geral, têm como característica a homogeneidade. O IVI calcula a relação entre as perdas que ocorrem no sistema e as perdas mínimas inevitáveis, ou seja, o quanto um sistema está próximo à condição ideal de infraestrutura e é utilizado para comparar a eficiência do gerenciamento de perdas reais entre operadoras e sistemas de água. Idealmente, quanto mais próximo de uma unidade o valor de IVI, melhor é o gerenciamento de infraestrutura do sistema.

- Perdas por Extensão de Rede

Para a IWA, esse indicador de perdas reais é expresso em m^3/km rede por hora (Equação 3.11):

$$m^3 / km \text{ rede} / hora = \frac{PRAC}{ER \cdot 24.365} \cdot \frac{24}{TMA} \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde:

$PRAC$ = Perdas anuais correntes;

ER = Extensão de rede (km);

TMA = Tempo médio de abastecimento (h/dia).

- Perdas por Ramal

Para a IWA, esse índice de perdas por ramal para perdas reais (Equação 3.12) é expresso em litro por ramal por dia (q.s.p – quando o sistema está pressurizado).

$$L/ramal/dia = \frac{PRAC. 1000}{Q_R. 365. \left(\frac{24}{TMA}\right)} \quad (\text{Equação 3.12})$$

Esse indicador é usado em sistemas urbanos para avaliar a eficiência do próprio sistema, não sendo eficaz ao comparado com outros, já que não considera a pressão média.

Quando se deseja tornar o indicador litros por ramal por dia sensível à pressão média, tornando-o útil à comparação de sistemas distintos, divide-se o indicador da (Equação 3.12 pela pressão média do sistema (Equação 3.13).

$$L/ramal/dia/mca = \frac{PRAC. 1000}{Q_R. PMS. 365. \left(\frac{24}{TMA}\right)} \quad (\text{Equação 3.13})$$

- Vazamentos Inerentes e Fator de Condição de Infraestrutura

A parcela dos vazamentos inerentes (VI) é quantificada para sistemas com pressurização contínua (Equação 3.14):

$$VI = 9,6 . E_R + 0,6 . Q_R . PMS \quad (\text{Equação 3.14})$$

Onde:

VI = Vazamentos inerentes (l/dia);

E_R = Extensão de rede (km);

Q_R = Quantidade de ramais pressurizados;

PMS = Pressão média no sistema (mca).

Como a infraestrutura é variável de acordo com o sistema, é definido o Fator de Condição da Infraestrutura (FCI) (Equação 3.15).

$$FCI = \frac{VI_{teste}}{VI_{IWA}} \quad (\text{Equação 3.15})$$

Onde:

VI_{teste} = Vazamentos inerentes obtidos em uma área de teste;

VI_{IWA} = Volume de vazamentos obtidos pela fórmula da IWA (Equação 3.14).

Para o cálculo do VI_{teste} seleciona-se um trecho de rede com 200 a 1.000 ligações e fecha-se os registros de todas as ligações para garantir que não haja consumo. São realizadas ações de detecção de vazamentos e seus reparos, restando somente os vazamentos inerentes que são correspondentes à vazão que estiver registrada no medidor.

3.5.1.4 Indicadores de Perdas Aparentes

- Perdas Aparentes em relação ao Consumo Autorizado (PACA)

Segundo a IWA, a relação entre o volume de perdas aparentes e o volume consumido autorizado é expresso por meio de uma relação percentual (Equação 3.16). Essa porcentagem expressa o quanto se pode aumentar o consumo autorizado conforme a redução das perdas aparentes (AESBE, 2015).

$$PACA = \frac{\text{Volume de perdas aparentes}}{\text{Volume consumido}} \cdot 100 \quad (\text{Equação 3.16})$$

- L/ramal/dia

O indicador de perdas aparentes de litro por ramal por dia (Equação 3.17) relaciona o volume diário de perdas aparentes com a quantidade de ramais pressurizados.

$$L/\text{ramal}/\text{dia} = \frac{\text{Volume diário de perdas aparentes}}{\text{Qtd. de ramais pressurizados}} \quad (\text{Equação 3.17})$$

3.5.2 Controle de Pressão

A NBR 12.218/2017 preconiza que a pressão estática máxima admissível nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (enquanto o máximo recomendado é 400 kPa) e a pressão dinâmica mínima de 100 kPa. Estatísticas de distritos de distribuição do Reino Unido sugerem que a frequência de rompimentos de uma rede aumenta rapidamente quando a pressão excede o valor de 40 m.c.a (400 kPa) sob condições de abastecimento contínuo (Itonaga, 2005).

O controle de pressão é uma das ações mais eficientes para redução do volume de água perdido na rede de distribuição e o gerenciamento delas é um elemento importante no controle de perdas, principalmente tratando-se das perdas reais. Uma pressão adequada possibilita a redução de perdas de água em forma de vazamentos (a pressão e a vazão de vazamentos são diretamente proporcionais), bem como o aumento da vida útil da infraestrutura da rede de distribuição e seus órgãos acessórios, como ramais e cavaletes. Além disso, dependendo do tipo de material, o controle de pressão evita os efeitos de fadiga provocados por variações no valor de pressão ao longo do tempo.

3.5.2.1 Válvulas Redutoras de Pressão e *Boosters*

De acordo com a PNCD, o controle da pressão nas redes distribuidoras por meio das Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) é uma das principais ferramentas na redução de perdas. O controle da válvula deve assegurar que as pressões mínimas e estáticas estejam dentro do prefixado pela norma.

As VRPs são dispositivos mecânicos que têm como intuito de limitar a pressão de saída de um ponto específico na rede. Ela é regulada conforme a particularidade do local onde é instalada, podendo variar sua regulação de acordo com a topografia, extensão e estrutura da rede. A configuração da pressão a jusante da válvula definirá a diferença entre as pressões de entrada e saída.

A correta instalação é fundamental para o bom funcionamento de uma válvula redutora de pressão, visto que seus problemas de funcionalidade podem acarretar em falta d'água ou excesso de pressão na rede, além de diminuir sua vida útil. Conhecer as vazões do setor controlado é fundamental para o correto dimensionamento e programação de uma VRP.

Bem como as válvulas redutoras de pressão, os *boosters* são utilizados para controlar a pressão na rede. Eles são usados em situações pontuais de abastecimento onde existe necessidade de aumento da vazão no sistema. A pressão baixa em uma rede de abastecimento pode ser causada pelo crescimento da ocupação, verticalização ou outros fatores que resultem no aumento da demanda de água em uma determinada área, geralmente nos pontos mais elevados dos setores de abastecimento.

Os *boosters* têm sido utilizados para um controle efetivo, permitindo que as pressões necessárias nos pontos mais altos da distribuição sejam mantidas. O uso deles resulta também em uma redução no gasto com energia elétrica, já que em sistemas de abastecimento de água a redução da vazão bombeada implica em um menor consumo de energia.

3.5.3 Setorização em Redes de Abastecimento e Distritos de Medição e Controle

O controle e a redução de perdas nas redes de abastecimento têm início na sua setorização que ocorre através da delimitação do setor em zonas de pressão, onde são determinados setores de manobras (regiões que podem ser isoladas ou fechadas com registros). Esse controle deve ser pensado desde a etapa de concepção do projeto, assegurando uma setorização adequada dos sistemas de distribuição e buscando um equilíbrio piezométrico entre as zonas de pressão que atenda à norma.

De acordo com a PNCDA (2007), no interior de cada setor de abastecimento a operação é feita em um ou mais setores denominados:

- Zonas de pressão: área na qual as pressões estáticas e dinâmicas obedecem um limite pré-fixado;
- Setor de macromedição: a vazão é medida continuamente na entrada e na saída de cada setor;

- Distrito de medição temporária: a vazão em pontos específicos é medida por meio de equipamentos portáteis ou de instalação provisória;
- Setor de manobra: o abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede.

A setorização da rede de água é uma estratégia eficiente quando se trata de gestão da distribuição, redução de perdas e monitoramento da qualidade da água. Ela consiste na divisão física de rede de abastecimento de água em Distritos de Medição e Controle por meio da inserção de medidores de vazão e válvulas que isolam os setores.

A NBR 12.218/2017 define um Distrito de Medição e Controle (DMC) como uma área delimitada e isolável, que possibilita a gestão do sistema por meio do monitoramento, medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas.

A introdução do conceito de DMC foi realizada primordialmente no Reino Unido, no início dos anos 80, no relatório *Report 26 Leakage Control Policy & Practice*, onde ficou definido que um Distrito de Medição e Controle é uma área discreta de um sistema de distribuição que, em geral, é criada pelo fechamento de válvulas ou desconexão entre as tubulações em que a vazão de entrada e saída são medidas e o fluxo é analisado para quantificar o nível de vazamento (Morisson *et al.*, 2007).

Historicamente, o controle de vazamentos é feito de forma passiva, em que os vazamentos são reparados somente quando se tornam visíveis, no entanto, essa estratégia não é a mais benéfica às companhias. O desenvolvimento da técnica de detecção acústica com pesquisas de vazamentos não visíveis resultou em uma melhora nos índices, permitindo que vazamentos não visíveis fossem localizados (controle ativo).

O controle ativo de vazamentos por meio da setorização tem sido implementado em todo o mundo ao longo do último século. A prática de controle das perdas reais por meio da criação de DMCs requer um investimento de curto e longo prazo, pois faz-se necessário o entendimento da configuração da rede de abastecimento existente para planejar e implementar as medidas necessárias para o gerenciamento do distrito e é preciso que o sistema tenha seu funcionamento contínuo e eficiente.

Os DMCs resultam em uma melhor gestão nos sistemas de abastecimento. Isso acontece por conta do monitoramento contínuo do sistema hidráulico, com o controle da pressão feito por meio das VRPs e a quantificação da vazão realizada através dos macromedidores, que servem de auxílio na manutenção e em obras de expansão. Além disso, a metodologia permite um

balanço hídrico mais simples do distrito e a regulação das pressões em cada um deles. No entanto, a divisão da rede em setores resulta em uma redução inevitável do desempenho hidráulico do sistema (Fallis *et al.*, 2011).

Santonastaso *et al.* (2020) frisam que, tradicionalmente, a definição dos DMCs foi feita conforme alguns critérios empíricos como o número de usuários, extensão da rede e tamanho mínimo ou máximo do distrito. Nos últimos anos, foram propostos procedimentos para o particionamento das redes, sendo eles feitos em duas fases: a de agrupamento e a de divisão. A primeira, consiste na definição da forma e do tamanho dos distritos, enquanto a segunda prevê o posicionamento ideal das válvulas e dos medidores. Geralmente as VRPs são instaladas no ponto de entrada do DMC, permitindo a regulação da pressão e reduzindo as perdas.

Fallis *et al.* (2011) classificam os DMCs em três categorias, sendo elas: entrada única, entrada múltipla ou em cascata, conforme a Figura 3.14.

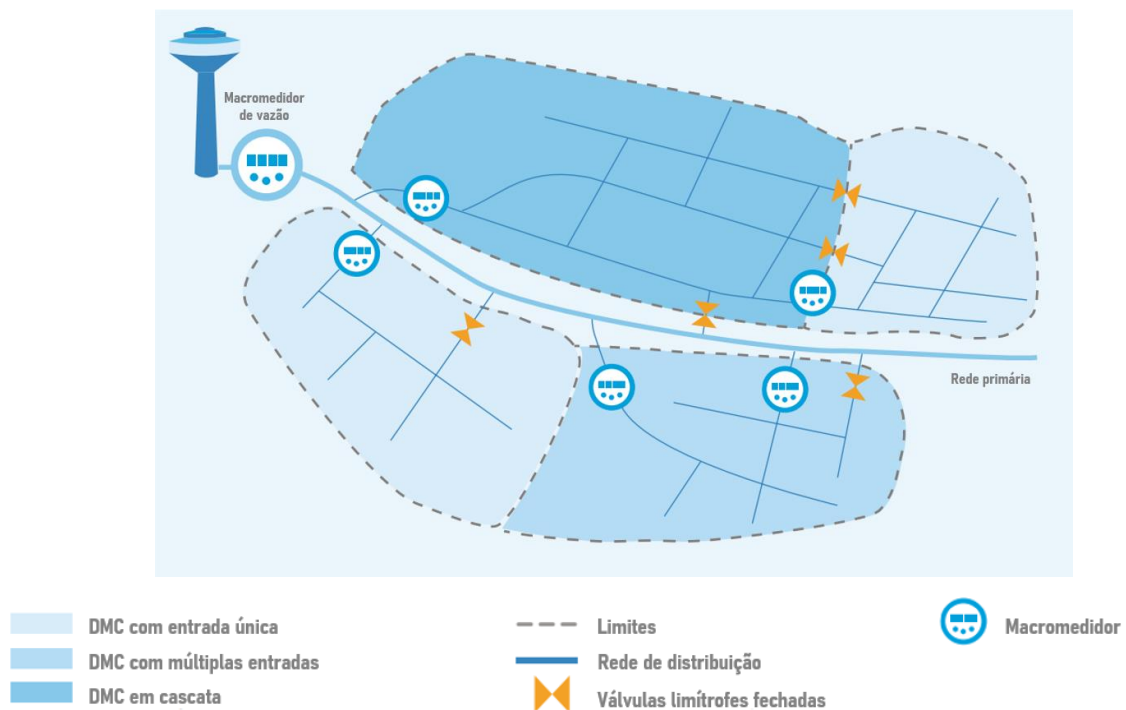


Figura 3.14 - Classificação dos DMCs (adaptado de Fallis *et al.*, 2011)

A setorização de redes de grande extensão em Distritos de Medição e Controle tem como vantagem a maior facilidade de detecção de vazamentos e, como os valores de vazão de entrada e saída são constantemente medidos, as companhias de saneamento conseguem detectar irregularidades no fluxo. Sendo assim, é possível identificar com maior facilidade áreas onde os problemas são mais recorrentes para que soluções possam ser propostas, direcionando atividades de manutenção e reparos para as localidades problemáticas. Além disso, o

gerenciamento das pressões resulta em uma redução do número de vazamentos e previne novos rompimentos.

O princípio fundamental por trás do gerenciamento de um DMC é o uso do fluxo para determinar o nível de vazamento dentro de uma área definida de rede de água. O estabelecimento dos DMCs permite que se determine os níveis de vazamento e, conseqüentemente, que sejam priorizadas as atividades de localização de vazamentos (Morisson *et al.*, 2007).

O processo de divisão das redes de abastecimento em setores pode ser delicado e, se não dada a devida atenção, pode acarretar em problemas de qualidade e abastecimento. Porém, se feito de maneira correta, o processo pode ser eficiente até para redes de grande extensão. De maneira ideal, a divisão das redes é feita a partir da tubulação principal com o maior número de distritos possíveis, no entanto, é importante que haja uma análise financeira, visto que quanto maior o número de distritos, mais intervenções são necessárias nos sistemas (Morisson *et al.*, 2007).

A dificuldade encontrada na setorização de uma rede está diretamente relacionada à sua complexidade e extensão. Segundo a concepção ideal, o abastecimento de um setor deve ocorrer somente por uma entrada, não havendo efeito cascata nos demais Distritos de Medição e Controle, ou seja, os DMCs devem ser completamente estanques e sem interferência no abastecimento nos setores adjacentes.

A fiscalização ineficiente em obras de setorização e sua contratação equivocada resultam em problemas que serão percebidos quando o DMC for implementado efetivamente. Para garantir um bom funcionamento do DMC podem ser realizados três tipos de teste: pressão zero, pressão nas fronteiras do setor ou *step test*.

A estanqueidade de um DMC é fundamental para que se possa ter medidas confiáveis de vazão e pressão. Para garanti-la, geralmente são feitos testes pressão zero. Ele é feito com o fechamento das válvulas do setor para garantir que as áreas delimitadas não estão conectadas. Com o setor fechado, espera-se que a pressão nos pontos monitorados chegue a zero e, caso isso não ocorra, é sinal que o DMC está conectado a outro setor. Além da verificação da estanqueidade, para a eficiência de funcionamento da setorização, devem ser realizadas verificações dos problemas operacionais, bem como do desempenho das medições e das válvulas.

Os planejamentos dos DMCs devem considerar fatores como a topografia, grandes consumidores e consumidores especiais. De acordo com Morrison *et al.* (2007), um bom planejamento de DMCs inclui:

- Variação mínima de níveis de terreno dentro de um mesmo distrito;
- Limites facilmente identificáveis;
- Tamanho de cada setor compatível com o número de vazamentos que se deseja identificar;
- Medidores corretamente dimensionados e posicionados;
- Alinhamento com todos os funcionários responsáveis pela operação que serão afetados pela mudança na rede;
- Limitar o número de válvulas limítrofes;
- Limitar o número de medidores de vazão;
- Otimizar as pressões.

O tamanho de um DMC influencia no seu nível de vazamento. Quanto maior o DMC, mais vazamentos e clientes noturnos de uso ele terá, resultando em uma porcentagem mais significativa da vazão mínima noturna (Morisson *et al.*, 2007). De acordo com a NBR 12.218/2017, o recomendado para garantir o controle e a eficiência nos DMCs é que se tenha um número máximo de 5.000 ligações de ramais e/ou uma extensão máxima de 25 km de rede. Cada DMC deve ser dividido em setores de manobra que levem em consideração as condições topográficas e operacionais da rede. Eles devem operar garantindo o abastecimento do restante da rede com as vazões dentro do preconizado. No caso dos setores de manobra, a NBR 12.218/2017 recomenda uma abrangência de um setor com no máximo 500 ligações e uma extensão máxima de rede igual a 3 km, além da existência de válvulas de manobra e de descarga. Para que se tenha garantia de um bom funcionamento de um DMC, basicamente são necessários: um planejamento eficiente, realização de testes para verificar o seu funcionamento e, por fim, seu gerenciamento. É fundamental que se tenha claro quais serão as metodologias usadas para controlar as perdas, além de uma base de dados sólida para que os resultados possam ser analisados ao longo do tempo.

É importante frisar que muitos sistemas distribuidores que não têm suas redes divididas em setores também apresentam um baixo nível de vazamentos, porém, isso é resultado de uma infraestrutura de qualidade, operação e manutenção eficientes, além de uma baixa e estática pressão.

3.5.4 Balanço Hídrico

Para a contabilização das perdas de água, a IWA propõe abordagens com duas estratégias distintas, mas convergentes: *bottom up* e *top down*. A denominação da estratégia se dá de acordo com o sentido do levantamento de suas informações.

O Balanço Hídrico (BH) é um “balanço de massa” feito com dados anuais, comerciais e operacionais de uma mesma base física e temporal que possibilita a obtenção indireta dos volumes perdidos em vazamentos. Ele pode ser entendido como uma técnica de modelagem, ou seja, um modelo de aproximação da realidade. O Balanço Hídrico é modelado com um grau de confiança de 95% e suas incertezas de medição/estimativas devem ser informadas nos modelos (AESBE, 2015).

A metodologia do Balanço Hídrico é denominada *top down* (de cima para baixo) e estima o fluxo de água desde a entrada do sistema até sua chegada aos consumidores. A abordagem do método mostra o sistema pela perspectiva da infraestrutura, o que permite o uso de indicadores adequados para avaliação das perdas de água.

A dimensão anual dos dados tem como vantagem a dispersão dos efeitos sazonais de consumo, as diferenças entre as leituras dos micros e macromedidores e a minimização dos erros na tomada de consumos (AESBE, 2015). No entanto, as séries de dados anuais, que é o caso do Balanço Hídrico, têm como desvantagem respostas que não são rápidas suficientes para resolver problemas como vazamentos “urgentes” de média e grande escala. Nesse caso, o ideal é o uso de metodologias de escalas temporais mais curtas, como a da Vazão Mínima Noturna (VMN). O método do Balanço Hídrico destaca-se pela sua facilidade de uso e possibilidade de aplicação em diversos tamanhos de setores, além do seu diagnóstico não demandar nenhum esforço financeiro da companhia. De acordo com Motta (2010), essa metodologia é mais recomendada para análise macroscópicas das perdas e é aplicável principalmente para setores de abastecimento de grande porte, ou para um conjunto de setores.

Com o objetivo de padronizar uma terminologia que fosse conhecida pelas companhias de saneamento em todo o mundo, a IWA criou uma matriz (Figura 3.15) com as mais importantes variáveis do método:

VOLUME DE ENTRADA	CONSUMO AUTORIZADO	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO	VOLUME FATURADO MEDIDO	VOLUME FATURADO
			VOLUME FATURADO NÃO MEDIDO	
		CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO	VOLUME NÃO FATURADO MEDIDO	VOLUME DE ÁGUA NÃO FATURADA
			VOLUME NÃO FATURADO NÃO MEDIDO	
	PERDAS DE ÁGUA	PERDAS APARENTES	SUBMEDIÇÃO	
			CLANDESTINOS / FALHAS DE CADASTRO	
			FRAUDES	
	PERDAS REAIS			

Figura 3.15 - Matriz do Balanço Hídrico (AESBE, 2015)

A estimativa de perdas reais pelo BH é feita a partir de etapas (Figura 3.16):

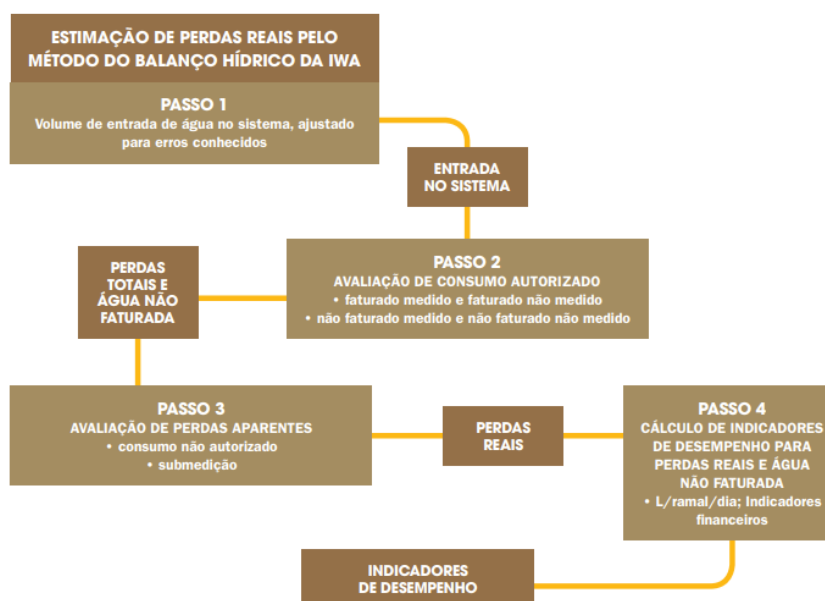


Figura 3.16 - Resumo do Método do Balanço Hídrico da IWA (AESBE, 2015)

Os termos usados no balanço hídrico são (AESBE, 2015):

- **Volume de entrada:** volume anual de água que ingressou efetivamente no sistema distribuidor. O volume de entrada compreende a água captada pela companhia de saneamento, incluindo também o volume de água bruta importada e descontando os volumes exportados em caso de necessidade.
- **Volume faturado:** soma do volume faturado medido com o não medido;
- **Volume faturado medido:** volume anual medido pelos hidrômetros;

- **Volume faturado não medido:** volume de água entregue nas ligações sem hidrômetros que foram faturadas;
- **Consumo autorizado faturado:** volume faturado, ou seja, todo volume que acarreta em receita para a companhia de saneamento por meio da conta de água dos consumidores;
- **Consumo autorizado:** soma do consumo autorizado faturado com o consumo autorizado não faturado;
- **Consumo autorizado não faturado:** volume anual medido de consumo autorizado pelo prestador de serviços, mas que não gera receita à companhia, como o uso de água para combate a incêndios, por exemplo;
- **Volume não faturado não medido:** volume anual não medido (estimado) com uso autorizado pelo prestador de serviços mesmo que não seja faturado;
- **Perdas aparentes:** soma do volume de consumo não autorizado com os volumes de inexactidão dos hidrômetros e erros no manuseio de dados;
- **Consumo não autorizado:** volume anual de água entregue ao usuário de forma não autorizada pelo prestador de serviços (fraudes, *by pass*, ligação clandestina);
- **Submedição dos hidrômetros e erros de manuseio de dados:** volume anual de água entregue ao usuário que deixaram de ser registrados pelo hidrômetro por falha e volumes não registrados devido a erros de leitura ou violação à integridade dos dados medidos pelos hidrômetros;
- **Perdas reais:** volume de água perdido em função de falhas estruturais da rede.

Cabe ressaltar que o conceito de volume de água não faturado é diferente do de perda de água, pois existe uma parcela de consumo que é autorizado que não representa faturamento para a companhia, como é o caso da disponibilização de água para incêndios, como citado anteriormente, ou água autorizada para uso social, caminhões pipas, lavagens de vias, etc.

O Balanço Hídrico, por meio da estimação do volume de perdas, permite a quantificação indireta do volume de perdas reais em um sistema (Equação 3.18).

$$\text{Perda Reais} = VE - \text{Consumo Autorizado} - \text{Perdas Aparentes} \quad (\text{Equação 3.18})$$

Onde:

VE = Volume de entrada (m^3).

3.5.5 Vazão Mínima Noturna

O método da Vazão Mínima Noturna (VMN) é um dos principais indicadores do nível de perdas reais que está ocorrendo em um sistema (PNCDA, 2007). A VMN é um método *bottom up* (de baixo para cima) e é aplicável a localidades de vazão regular, não sendo recomendado a áreas de fornecimento irregular e/ou demanda reprimida. Isso porque a metodologia da VMN parte do pressuposto que o consumo noturno é menor que o diurno e as alterações nas vazões mínimas de um determinado setor podem indicar ocorrência de vazamentos. No caso de vazões irregulares de um setor, as alterações podem ser resultado de uma pontualidade no fornecimento de água ao sistema e não necessariamente significar ocorrência de vazamentos.

As vazões de consumo variam ao longo do ano de acordo com a sazonalidade e ao longo do dia conforme o padrão de consumo da localidade. De modo geral, em áreas residenciais, o consumo mínimo noturno é por volta de 2 às 4h da manhã, sendo esse o horário recomendado para realização da estimativa das perdas reais pelo método da Vazão Mínima Noturna. Sabendo o valor de consumo mínimo noturno, a vazão “extra” que ingressa no setor representa o volume de vazamentos (inerentes, visíveis e não visíveis), como representado na Figura 3.17. Para a aplicação do método de maneira eficiente, o DMC precisa ser bem monitorado e os medidores fornecerem dados confiáveis.

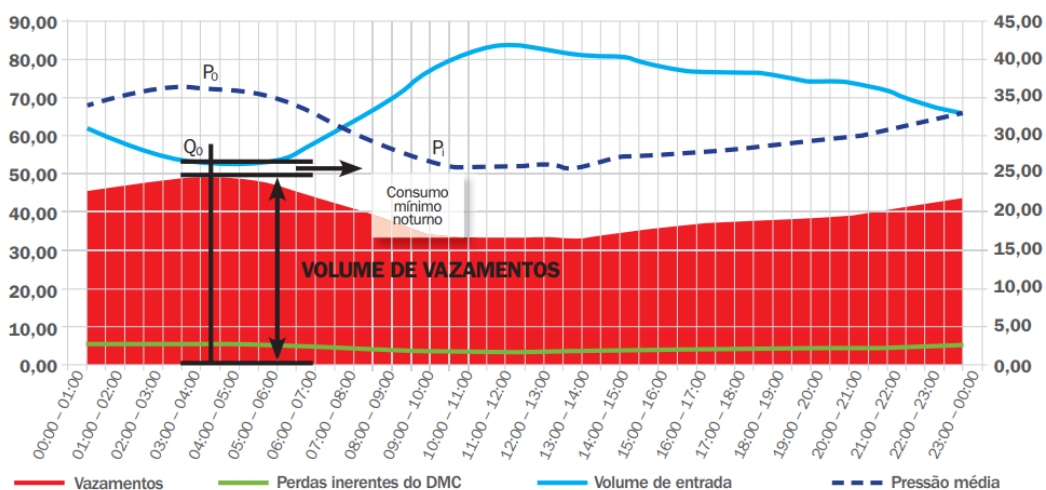


Figura 3.17 - Método das Vazões Mínimas Noturnas (AESBE, 2015)

Na Figura 3.17 é possível observar comportamentos inversos entre o volume de entrada e a pressão média, o que indica que o setor está estanque e o ponto médio para medição de pressão foi bem selecionado.

Conhecendo o volume de vazamentos da hora da VMN e com o monitoramento das pressões médias ao longo do dia, torna-se possível relacionar a pressão com os vazamentos e descobrir

os volumes de água perdidos em cada hora. No entanto, não se pode utilizar o volume de vazamentos do horário de menor consumo multiplicado por 24 para representar o volume de vazamentos diário, pois o consumo varia ao longo do dia e o resultado não representaria a realidade, acarretando em uma superestimação do volume diário de vazamentos. Para isso, foi criado o Fator Noite e Dia (FND), que deve ser multiplicado pelo volume de vazamentos para encontrar o volume perdido diário (Equação 3.19).

$$FND = \sum \frac{P_i^{NI}}{P_0} \quad (\text{Equação 3.19})$$

Onde:

P_i = Pressão média em um horário qualquer do dia (mca);

P_0 = Pressão média na hora em que ocorre a vazão mínima noturna (mca);

NI = Fator de escala na relação pressão-vazamento (adimensional).

O FND de um setor varia de acordo com as intervenções no setor, por exemplo, ele mudará consideravelmente quando instalada uma VRP.

Ao observar um gráfico da vazão no DMC é possível identificar se ele tem muito ou pouco vazamento. Em geral, gráficos com picos mais largos representam uma vazão mínima noturna alta, ou seja, DMCs com uma quantidade expressiva de vazamentos, enquanto os com picos mais finos demonstram aqueles DMCs com menos vazamentos.

A Vazão Mínima Noturna é calculada conforme a equação abaixo (Equação 3.20):

$$VMN = Perda_{NOTURNA} + VMNI \quad (\text{Equação 3.20})$$

Onde:

$VMNI$ = Vazão mínima inerente (Perdas Inerentes + Consumo Noturno).

Para estimar o consumo mínimo noturno de um DMC são necessários alguns passos (AESBE, 2015):

- Levantar a quantidade de consumidores;
- Entre 02 e 04h da manhã ler duas vezes uma amostra aleatória de ao menos 30 consumidores e fazer a média (m³/h) de consumo entre a primeira e a segunda leitura;
- Fazer a média de consumo de toda a amostra e extrapolar para o universo de consumidores residenciais;
- Ler individualmente grandes consumidores e obter uma média em m³/h;
- Somar a média de pequenos medidores com a de grandes consumidores e considerar como consumo noturno legítimo.

A importância do consumo no método da Vazão Mínima Noturna varia de acordo com a quantidade de perdas reais do Distrito de Medição e Controle. Em DMCs com um maior volume de perdas reais, o consumo é menos relevante. A PNCDA recomenda que em casos onde não haja informações suficientes para estimar o consumo noturno sejam utilizados os valores propostos por Lambert e Bessey (1994).

Um sistema com um alto índice de perdas e um baixo valor de VMN é resultado de uma recorrente submedição nos hidrômetros e macromedidores do DMC e/ou um alto índice de volumes não contabilizados por fraudes, *by pass*, ligações clandestinas, etc. ou seja, tem um alto índice de perdas aparentes. Quando a situação oposta ocorre e um sistema tem um alto valor de VMN e um baixo índice de perdas, significa uma recorrência de perdas reais e podem estar ocorrendo vazamentos no sistema.

Existem algumas condicionantes para que o método da Vazão Mínima Noturna seja válido:

- Os DMCs em estudo devem estar estanques e não serem submetidos a intermitências no abastecimento;
- Em casos de sistemas onde haja intermitência, deve-se assegurar o abastecimento contínuo do DMC;

AL-Washali *et al.* (2018) observaram uma limitação na rede de abastecimento da Jordânia quando se trata do uso da VMN para sistemas de abastecimento intermitentes. Nesse caso, a solução encontrada foi abastecer o sistema de modo que ele ficasse saturado para que a vazão noturna fosse de fato os vazamentos.

- O monitoramento de vazão de entrada e pressão média do setor deve ser feito por um período mínimo de 24h, com no mínimo 4 leituras por hora;
- Deve-se determinar corretamente a pressão média no setor;

Dados de pressão instantânea podem facilmente trazer uma visão distorcida do setor e, por isso, para o cálculo das perdas reais pela metodologia da Vazão Mínima Noturna faz-se necessário a escolha de um ponto da Pressão Média do Setor (PMS) que seja significativo para que se tenha uma correta noção do seu comportamento. Um gráfico com comportamentos opostos entre pressão média e vazão de entrada indica uma escolha correta do PMS.

- A determinação do expoente N1 que pode ser feita conforme valores de literatura ou estudo em campo;
- Determinação do consumo mínimo noturno.

Um estudo realizado por Marzola *et al.* (2020) concluiu que o a aplicação do método de VMN pode acarretar em um erro na estimativa de vazamentos que pode ser causado caso o distrito tenha usuários com consumo noturno muito “irregulares”, podendo gerar uma superestimação do nível de vazamentos. Além disso, a utilização de apenas dois pontos para monitorar a pressão média, como é feito na maior parte dos casos, pode levar a resultados não confiáveis.

3.5.6. Fator de pesquisa

O Fator de Pesquisa (FP), parâmetro utilizado por Fraga e Silva (1995), é determinado a partir da relação entre a vazão mínima que acontece no período noturno e a vazão média diária (Equação 3.21), (PNCDA, 2007).

$$FP = \frac{Q_{mín}}{Q_{méd}} \quad (\text{Equação 3.21})$$

Onde:

$Q_{mín}$ = vazão mínima noturna (m³/s);

$Q_{méd}$ = vazão média (m³/s).

O valor da relação entre essas duas vazões varia de zero a um e, quanto mais próximo de um, maior a possibilidade de ocorrência de vazamentos na localidade do abastecimento. Segundo Fávero e Dib (1981), quando o FP for maior que 0,3, a área em estudo contém vazamentos que são considerados economicamente detectáveis. Portanto, um valor menor que 0,3 não garante que o setor esteja isento de vazamentos, mas, muitas vezes, a detecção desses vazamentos não é economicamente viável. Altos valores do Fator de Pesquisa muitas vezes indicam a necessidade de uma pesquisa acústica para detecção de vazamentos (pesquisa de vazamentos não visíveis).

É importante ressaltar que a vazão mínima noturna utilizada no cálculo do Fator de Pesquisa não possui nenhuma relação direta com a metodologia nomeada como Vazão Mínima Noturna, sendo, no caso do Fator de Pesquisa, essa vazão representada pela menor vazão que entra no sistema que ocorre no período noturno, e não a quantificação das perdas reais, como no caso do método.

De acordo com Brito (2012), a vantagem do método do Fator de Pesquisa com relação ao da Vazão Mínima Noturna é uma maior representatividade no valor numérico das perdas reais, sendo possível mostrar a realidade operacional do setor de abastecimento. No entanto, assim como a metodologia da VMN, o parâmetro FP não deve ser utilizado para localidades com

abastecimento intermitente, pois pode causar uma distorção no consumo, podendo ocasionar uma falsa impressão a respeito dos vazamentos.

A Associação Portuguesa de Estudo de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA) propõe valores referências para a classificação do estado de um setor de abastecimento através do parâmetro Fator de Pesquisa, conforme indicado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Valores Referência do Fator de Pesquisa

Valor do Fator de Pesquisa	Estado
$FP \leq 0,3$	Bom
$0,3 < FP \leq 0,5$	Razoável
$FP > 0,5$	Preocupante

O gráfico da Figura 3.18 mostra um panorama geral das áreas Centro-Norte do DF com telemetria (medições automáticas de vazão de entrada) com os maiores valores de FP. Nele, é possível observar que São Sebastião ocupa o quarto lugar, com um valor de Fator de Pesquisa igual a 65%, sendo classificado como um estado preocupante com relação às perdas reais.

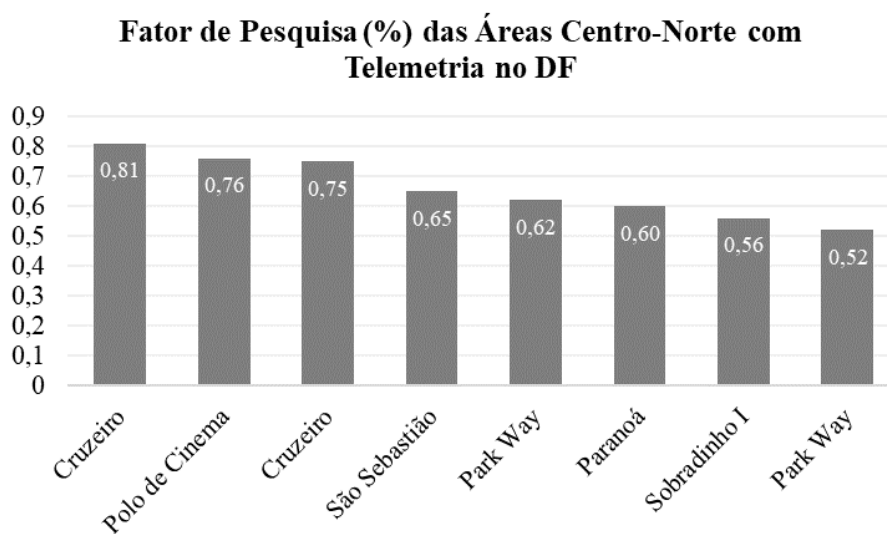


Figura 3.18 - Fator de Pesquisa Área Centro-Norte

3.6 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Uma companhia de saneamento em bom funcionamento faz diariamente várias atividades de manutenção que podem ser realizadas de forma corretiva, preventiva ou preditiva.

Segundo a NBR 5.462/1994, manutenção corretiva é aquela efetuada após a ocorrência de uma pane e tem como objetivo recolocar um item em condições de executar uma função requerida;

a preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, visando reduzir a probabilidade da falha ou a degradação do funcionamento de um item e a manutenção preditiva é aquela que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação da sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão para otimizar as atividades de manutenção preventiva e reduzir a manutenção corretiva.

Um dos objetivos da setorização é tornar mais fácil o controle e a gestão feitos em uma determinada região. É mais fácil controlar e gerenciar a vazão e a pressão em uma área com uma menor extensão de rede e um menor número de consumidores. A divisão de uma região em setores e o início do controle e gestão das variáveis pressão e vazão influencia diretamente na quantidade de manutenção corretiva que a área demanda, já que os vazamentos, em sua grande parte, são causados por excesso de pressão ou por problemas infraestruturais.

Ao se tratar do tema desse trabalho, a manutenção corretiva seria, por exemplo, quando há um rompimento em uma rede, ramal ou cavalete resultantes de um excesso de pressão ou alguma outra particularidade, acarretando em uma perda real de água para o sistema. Nesse caso, é necessário que a companhia responsável pela distribuição desloque uma equipe de manutenção para que o problema possa ser reparado.

Como a manutenção corretiva acontece após uma falha ou quebra, ela não possui um planejamento prévio e demanda uma intervenção imediata que muitas vezes pode causar danos à estrutura e, caso esse tipo de manutenção seja recorrente, pode ocorrer um desgaste contínuo na rede distribuidora, trazendo como consequência um aumento ainda maior da demanda de manutenção a longo prazo.

Espera-se que uma rede bem dimensionada, com pressões adequadas e com manutenção preventiva regular e capacitada, sofra um menor número de rompimentos e, conseqüentemente, demande menos manutenção corretiva. O controle da pressão em um setor, de modo geral, resulta em uma redução da demanda de manutenções corretivas no sistema distribuidor, já que, se garantido o seu bom funcionamento, as pressões da área se mantêm entre 10 e 40 m.c.a., como preconizado pela norma.

As ações de combate às perdas incluem a agilidade e a qualidade dos reparos em redes onde existem vazamentos. A quantidade de vazamentos em uma rede de distribuição é proporcional à pressão e o número de manutenções corretivas na rede é maior quanto maior o número de vazamentos. Além disso, em um projeto de setorização espera-se uma melhora na infraestrutura da rede, o que também acarreta em uma diminuição das manutenções.

4. METODOLOGIA

No capítulo 4 deste trabalho são apresentados os métodos utilizados para a estimativa das perdas de água através da metodologia do Balanço Hídrico, bem como a avaliação das perdas reais pelos métodos da Vazão Mínima Noturna e Fator de pesquisa, além da análise da evolução da manutenção corretiva.

Para a realização da análise das perdas na região de São Sebastião, a metodologia deste trabalho foi dividida em algumas etapas (Figura 4.1).

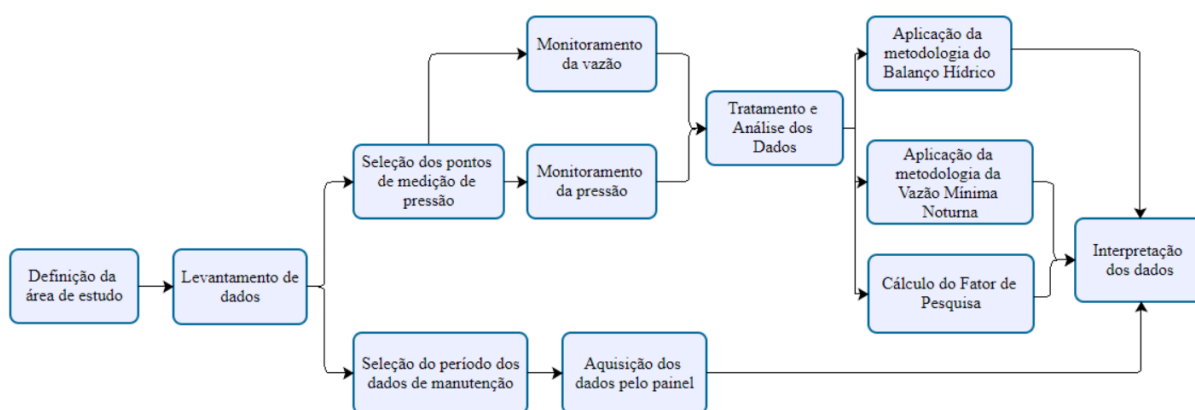


Figura 4.1 - Fluxograma da Metodologia

4.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para a realização do estudo nesse trabalho foi a Região Administrativa XIV do Distrito Federal, São Sebastião (Figura 4.2). A RA está localizada a cerca de 23 km do Plano Piloto.



Figura 4.2 - Localização de São Sebastião no DF (CAESB, 2017)

A Região Administrativa de São Sebastião possui um sistema abastecido por diversos poços que recalcam a água para três reservatórios que abastecem a RA: RAP.SSB.001, RAP.SSB.002 e REL-VDR.001. Esses por sua vez são responsáveis pelo abastecimento de água de cinco Unidades de Distribuição de Água (UDA) da região: UDA.SSB.001, UDA.SSB.002, UDA.SSB.003, UDA.SSB.004 e UDA.SSB.005.

Pode-se observar as tendências de consumo de cada uma das UDAs na Figura 4.3:

UDA	Volume médio consumido total (m³/mês)	Volume médio consumido por categoria de uso (m³/mês)			
		Comercial	Industrial	Público	Residencial
UDA.SSB.001	120.670	6.928	176	4.078	108.093
UDA.SSB.002	14.778	69	0	285	14.412
UDA.SSB.003	84.618	2.818	90	4.043	78.851
UDA.SSB.004	9.506	185	0	382	9.096
UDA.SSB.005	3.265	15	0	0	3.318
Total do Sistema	232.838	10.013	266	8.789	213.769

Figura 4.3 - Volume Médio Micromedido (CAESB, 2017)

De acordo com dados da CODEPLAN, em 2018, a população urbana de São Sebastião era de 115.256 habitantes e, segundo a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do DF (ADASA), o volume de água consumido nesse ano no sistema de São Sebastião foi igual a 4,7 milhões de m³, enquanto o consumo per capita da região foi igual a 137 L/hab.dia.

Como São Sebastião é uma RA predominantemente residencial, o volume de água que abastece a região é praticamente todo destinado a essa categoria (Figura 4.4).

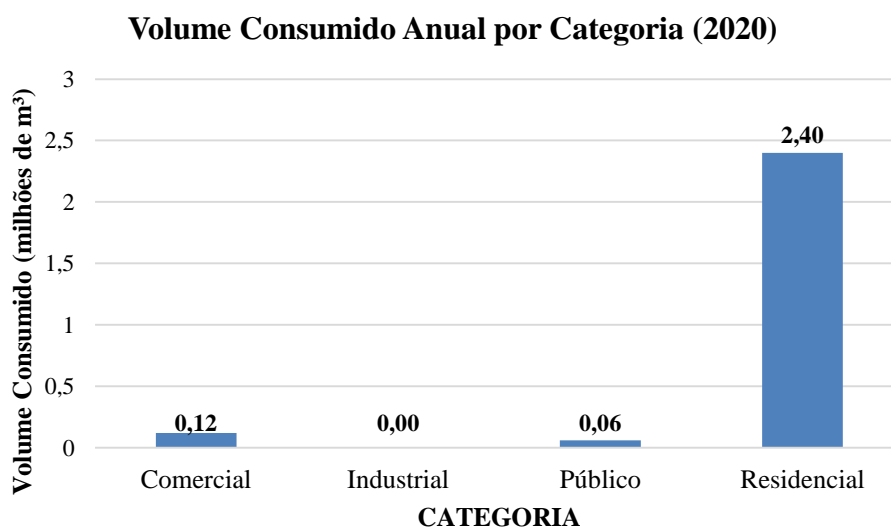


Figura 4.4 - Gráfico do Volume Consumido Anual por Categoria (ADASA, 2021)

Na Figura 4.5 é possível observar a evolução do volume consumido anualmente na RA.

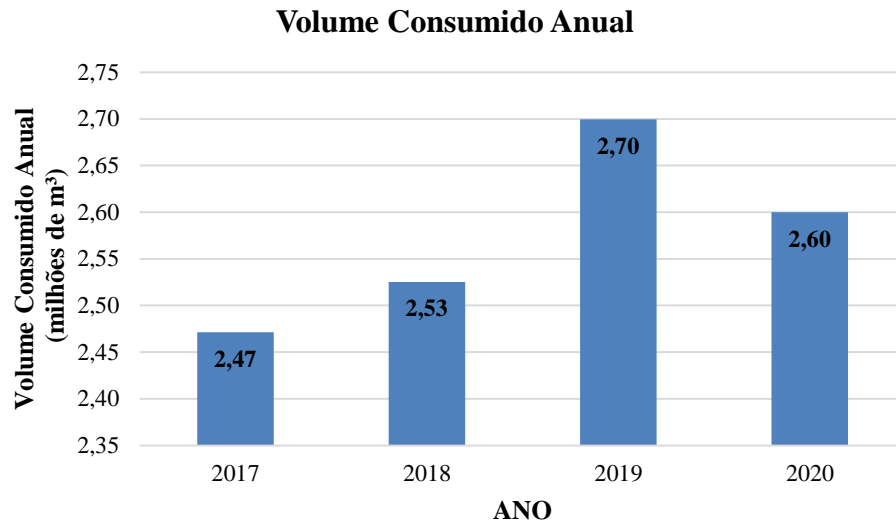


Figura 4.5 - Gráfico do Volume Consumido Anual (ADASA, 2021)

As obras de setorização em São Sebastião tiveram início em abril de 2019 e foram concluídas em dezembro de 2020. Após a finalização, a RA ficou dividida em 13 Distritos de Medição e Controle (Figura 4.6), dos quais 8 são abastecidos pelo RAP.SSB.001 (DMC 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, e 08), 4 pelo RAP. SSB.002 (DMC 09, 10, 11 e 12) e o 13 é abastecido pelo REL-VRD.001 (Figura 4.7).

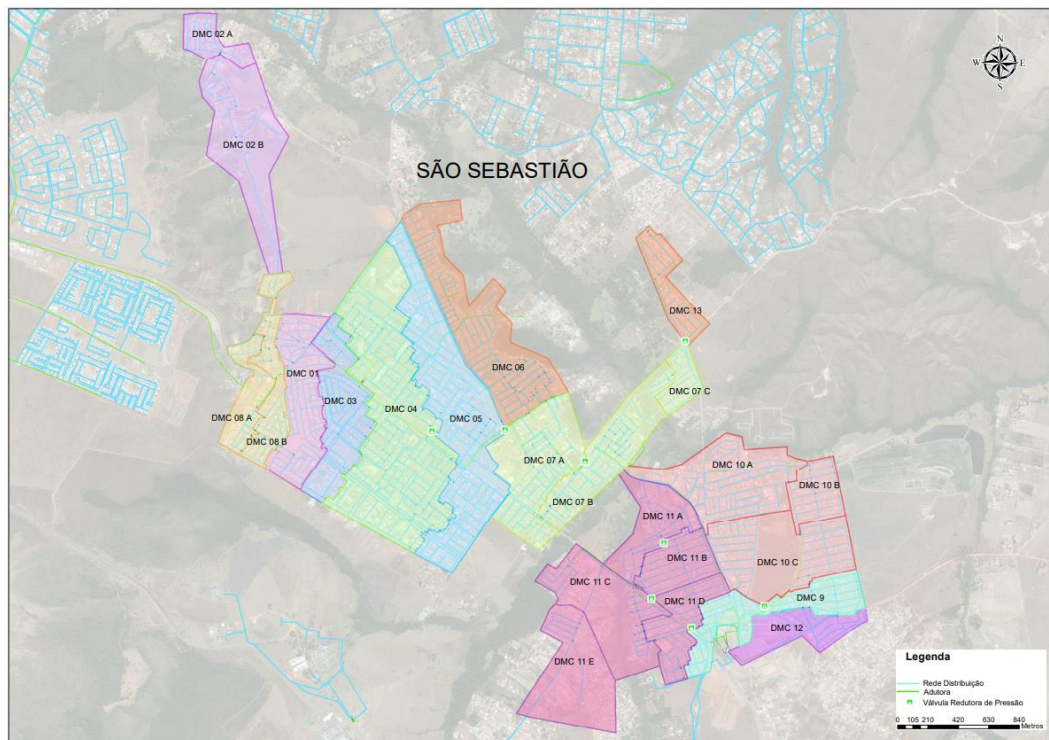


Figura 4.6 - Divisão dos DMCs de São Sebastião (CAESB, 2021)

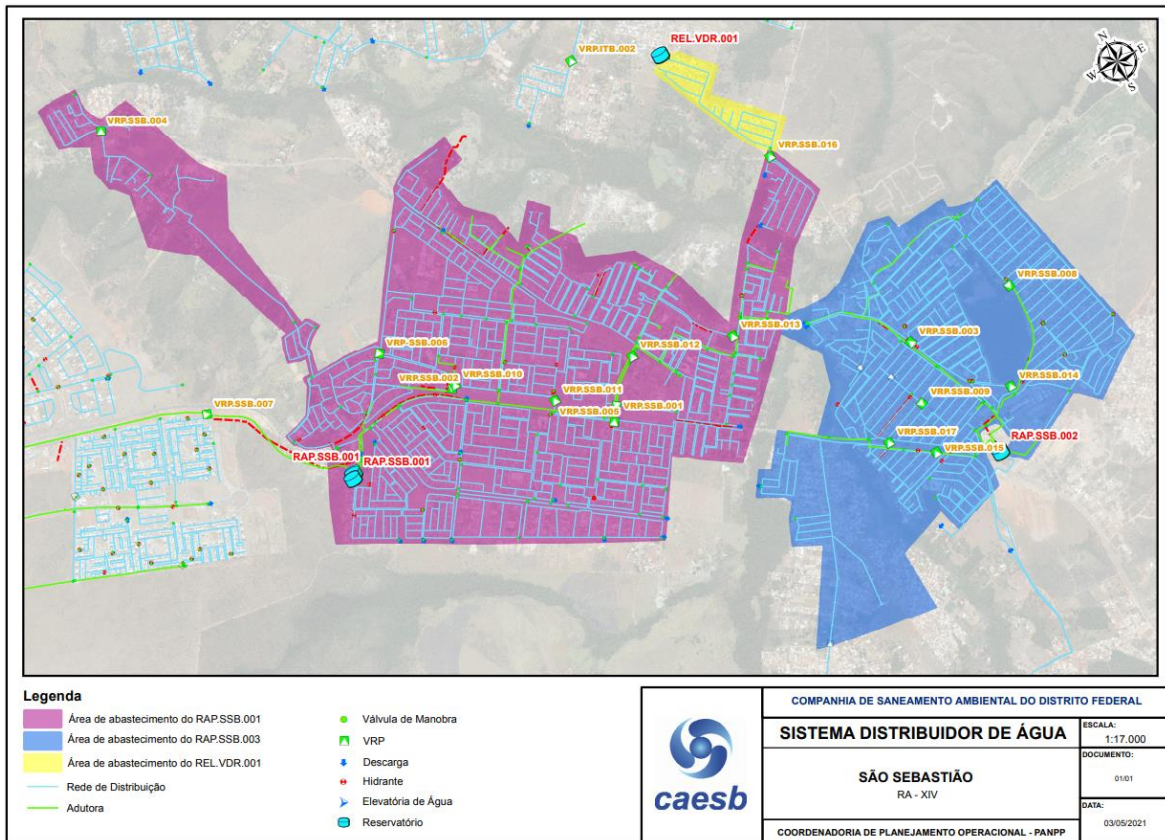


Figura 4.7 - Área de Abastecimento dos Reservatórios (CAESB, 2021)

O projeto de setorização da área foi finalizado com pendências na obra, por isso, não foi possível analisar as perdas de água em toda a RA São Sebastião e foram selecionadas subáreas de estudo. O primeiro critério para definição da localidade que seria abordada foi a análise da constância e a consistência dos dados de vazão de entrada nos reservatórios, e, por conta disso, foi escolhida somente a área do RAP.SSB.001, já que o reservatório 1 possui dados disponíveis por tempo suficiente para realização do Balanço Hídrico da região, enquanto o reservatório 2 não. Além da área abastecida pelo RAP.SSB.001, também foi estudada a área do REL-VDR.001 (DMC 13).

Como ainda existem pendências e nem toda a área do RAP.SSB.001 foi isolada e finalizada conforme o planejado, ainda existe conexão entre alguns DMCs. Devido a essa informação, foi criado um segundo critério para seleção da área a ser analisada pelo método da Vazão Mínima Noturna, selecionando somente os DMCs estanques e previamente testados pela companhia de saneamento (CAESB) da área do RAP.SSB.001. Portanto, na análise foram avaliados os DMCs: 02, 06, 08 e 13 (Figura 4.8).

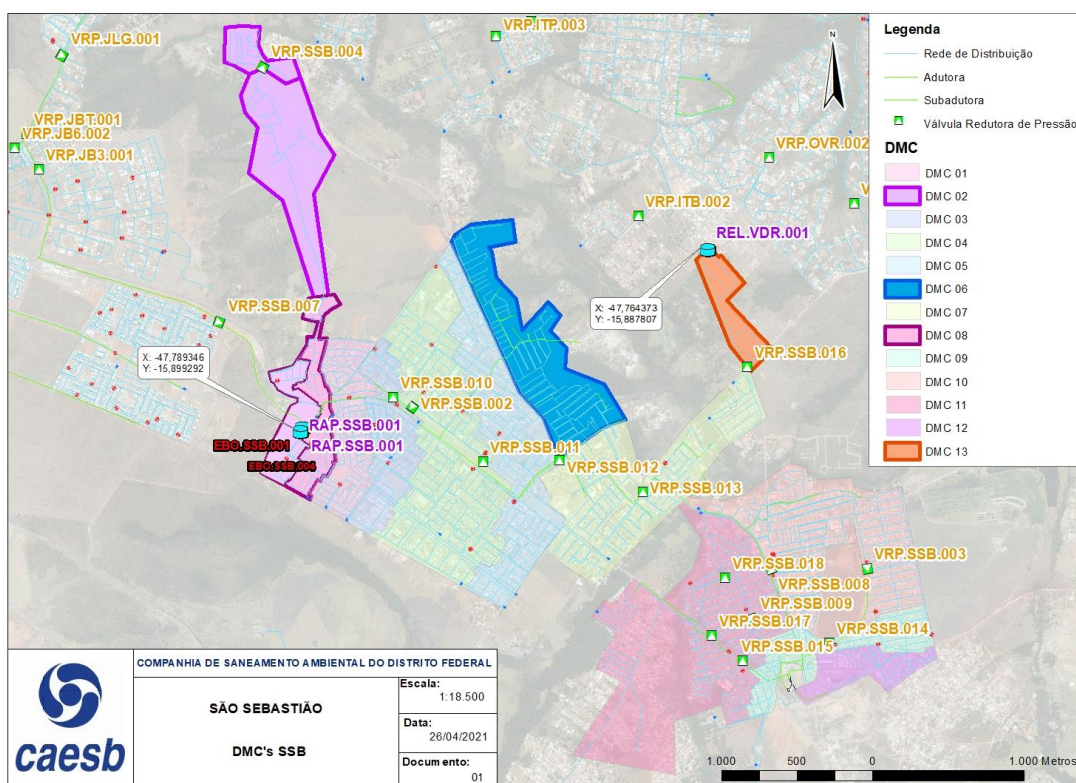


Figura 4.8 - DMCs estudados (CAESB, 2021)

Na Tabela 4.1 são demonstradas as características de cada DMC, bem como toda a área abastecida pelo RAP.SSB.001 e da RA São Sebastião completa.

Tabela 4.1 - Características dos DMCs Estudados (CAESB, 2021)

DMC	EXTENSÃO DE REDE (m)	POPULAÇÃO ATENDIDA (estimada)	LIGAÇÕES ATIVAS (un)	LIGAÇÕES INATIVAS (un)
02	4.705	2.513	409	48
06	17.343	7.821	1.273	292
08	10.830	5.535	901	50
13	3.365	2.064	336	30
Total	36.243	17.933	2.919	420
SÃO SEBASTIÃO	207.425	105.519	17.176	1.585
RAP.SSB.001	131.309	62.884	10.236	986

Como São Sebastião é uma área característica por possuir muitos assentamentos irregulares, foi feito o levantamento da localização das ligações clandestinas em áreas previamente identificadas pela companhia na área do RAP.SBB.001, como ilustrado na Figura 4.9.



Figura 4.9 - Ligações Clandestinas RAP.SSB.001 (CAESB, 2021)

Através da imagem, observa-se que, das áreas em estudo, a quantidade de ligações clandestinas na área adjacente ao DMC 02 é bastante extensa, assim como o DMC 06, que, mesmo que proporcionalmente menos alarmante, também é significativa e possui quantidade de ligações suficiente para impactar no funcionamento da rede. Do ponto de vista da companhia, essas áreas já são consideradas como factíveis de regularização.

Um estudo via satélite realizado pela CAESB no ano de 2021 mapeou pontos de interesse para pesquisa de vazamentos não visíveis durante todo o DF. Nele, foram encontrados 889 pontos de interesse (áreas onde estariam ocorrendo vazamentos), que, na prática, é provável que representem mais do que 889 vazamentos, já que cada ponto de interesse varre uma área com raio de 50 m. Da totalidade, 296 pontos de interesse estão localizados na área Centro-Norte do DF, sendo 186 na área Norte e 44 (4,9%) em São Sebastião (Figura 4.10).

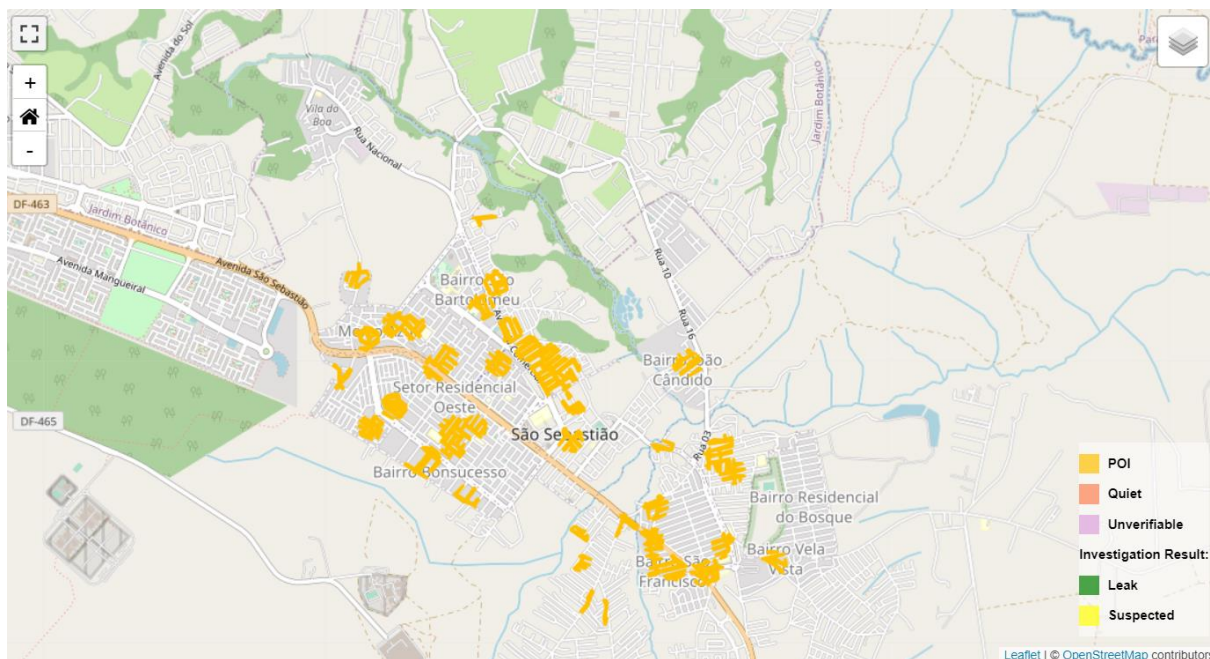


Figura 4.10 - Pontos de Interesse para Pesquisa de Vazamentos (CAESB, 2021)

4.2 ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO E INDICADORES

No cálculo do Balanço Hídrico e da análise de perdas foi utilizado o *software WB-EasyCalc* versão 6.12 desenvolvido por Roland Liemberger e Partners para o Banco Mundial. O programa funciona em uma planilha em Excel. A matriz do Balanço Hídrico foi elaborada de acordo com o método *top down* proposto pela IWA.

Como o Balanço Hídrico é uma metodologia a longo prazo que exige um período de um ano de dados, ele foi aplicado somente à área do RAP.SSB.001, já que não existiam dados anuais completos para a aplicação da metodologia aos DMCs desde a finalização das obras de setorização, que ocorreu em dezembro de 2020.

Para a realização do Balanço Hídrico, foi necessária a aquisição dos dados de entrada necessários para realização da estimativa pelo *WB-EasyCalc* (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Dados de Entrada do *WB-EasyCalc*

DADO DE ENTRADA	DESCRIÇÃO
Volume de entrada no sistema	Volume de água contabilizado pelo macromedidor instalado na região do RAP.SSB.001.
Consumo medido faturado	Volume de água medido pelos hidrômetros, contabilizado e faturado pela CAESB.
Consumo não medido faturado	Volume anual não medido, mas que é faturado utilizando consumos médios ou históricos onde não existe hidrômetros e/ou há falhas no sistema.
Consumo medido não faturado	Volume anual para uso próprio da companhia (descargas, lavagens, etc.)
Consumo não medido não faturado	Uso social: bombeiros, postos policiais, etc.
Consumo não autorizado	Fraudes, ligações clandestinas e <i>by pass</i> .
Imprecisão de medidores	Faixa de consumo de acordo com a idade do hidrômetro. As porcentagens de erro variam de acordo com a idade.
Dados da rede	Extensão de rede, número de ligações, etc.

O cálculo do Balanço Hídrico foi feito para um intervalo de doze meses corridos, de julho de 2020 a junho de 2021. Todos os dados necessários foram fornecidos pela CAESB, companhia de saneamento responsável pela Região Administrativa de São Sebastião e estão dispostos no APÊNDICE A – DADOS PARA O BALANÇO HÍDRICO. Com o preenchimento dos campos da planilha, o cálculo do Balanço Hídrico foi realizado e o resultado foi apresentado conforme os moldes da IWA, como é o exemplificado na Figura 4.11, uma ilustração da matriz - ainda não preenchida - onde os resultados foram gerados.

Volume de Entrada no 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado faturado 0 m3/dia	Consumo medido faturado 0 m3/dia	Água faturada 0 m3/dia	
			Consumo não medido faturado 0 m3/dia		
	Perdas de água 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado não faturado 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo medido não faturado 0 m3/dia	Consumo não medido não faturado 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Água não faturada 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%
		Perdas Aparentes 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo não autorizado 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%	
		Perdas Reais 0 m3/dia Margem de erro [+/-] 0,0%			

Figura 4.11 – Matriz do Balanço Hídrico no software *WB-EasyCalc*

4.3 ESTIMATIVA DA VAZÃO MÍNIMA NOTURNA

Para realização da estimativa das perdas reais utilizando o método da Vazão Mínima Noturna nos Distritos de Medição e Controle em estudo (02, 06, 08 e 13) foi usada como base uma planilha em Excel disponibilizada pela CAESB, que tem como base a planilha sugerida pela AESBE no Guia nº 5 da série Balanço Hídrico, como ilustrado na Figura 4.12.

MODELAGEM DE VAZAMENTOS EM DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC)							
DMC: EXEMPLO							
Entrar com valores somente nos campos em branco (apagar os dados de exemplo sem apagar a formatação)							
		Habitantes:	0	hab			
		Ext rede:	0	km			
		Qtd Ramais:	0	pressurizados			
		FCL:	0	adimensional			
		N1 ADOTADO:	0	PARÂMETROS CALCULADOS			
ORDEM	HORÁRIO	Pressões médias	Volume de entrada	Volumes horários de vazamentos	Consumo Autorizado + Perdas Aparentes	Perdas Inerentes IWA	Perdas Inerentes do DMC
		mca	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
1	00:00 - 01:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	01:00 - 02:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	02:00 - 03:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	03:00 - 04:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	04:00 - 05:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	05:00 - 06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	06:00 - 07:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	07:00 - 08:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	08:00 - 09:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	09:00 - 10:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	10:00 - 11:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	11:00 - 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	12:00 - 13:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	13:00 - 14:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	14:00 - 15:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	15:00 - 16:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	16:00 - 17:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	17:00 - 18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	18:00 - 19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	19:00 - 20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	20:00 - 21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	21:00 - 22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	22:00 - 23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	23:00 - 00:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALS:		0,0	0	0	0	0	0
Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:					0,00	PMS (mca): 0,0	
Vazão mínima noturna - m³/h:					0,00		
Consumo mínimo noturno - % de Q min:					0,00%		
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m³/h:					0,00		
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m³/h:					0,00		
INDICADORES DO DMC							
PERDAS REAIS DIÁRIAS:				0	m³/dia		
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS:				0	m³/dia		
IVI:				0	adimensional		
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:				0	L/ramal/dia		
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:				0,00	(m³/h)/km rede		
Menor VAZÃO Alcançável no DMC:				0,00	m³/hora		
PR % DO VE:				0,00%	%		
Dens ligações:				0,00	lig/km rede		

Figura 4.12 - Planilha de Cálculo da Vazão Mínima Noturna

A partir dos dados de entrada (número de habitantes, extensão de rede, quantidade de ramais, FCI, N1, pressão média por hora e volume de entrada a cada hora), a planilha calcula:

- O volume horário de vazamentos a partir da pressão e vazão no horário da mínima noturna (Equação 3.3);
- O consumo mínimo noturno, que é calculado multiplicando o número de habitantes pelo consumo legítimo somado à vazão de vazamentos vezes a quantidade de ramais;
- A vazão de vazamentos no horário da vazão mínima noturna, que é estimada a partir de uma subtração do consumo mínimo noturno da vazão mínima noturna;
- A soma do consumo autorizado com as perdas aparentes, que é estimada a partir da subtração dos volumes horários de vazamentos da vazão de entrada;
- As perdas inerentes IWA através da relação entre extensão de rede, ramais pressurizados e pressão média do setor (Equação 3.14);
- As perdas inerentes no DMC, que são calculadas por meio da multiplicação das perdas inerentes pelo Fator de Condição de Infraestrutura;
- O valor médio das perdas inevitáveis;
- Os indicadores do DMC:
 - Perdas Reais Diárias;
 - Perdas Reais Anuais Inevitáveis IWA;
 - IVI;
 - Perdas Reais em L/ramal/dia;
 - Menor Vazão Alcançável do DMC;
 - Perda Real % do Volume de Entrada;
 - Densidade de Ligações.

4.3.1 Áreas Avaliadas

A metodologia da Vazão Mínima Noturna foi utilizada para todos os Distritos de Medição e Controle em estudo (02, 06, 08 e 13) e para o reservatório que abastece a área em estudo (RAP.SSB.001). Os cenários dos DMCs 08A e 08B foram avaliados como um só, sendo os dois considerados como DMC 08.

Para poder entender o funcionamento dos *boosters* (EBO.SSB.001 e EBO.SSB.004), nos dias nos quais foram realizadas as medições de vazão e pressão, a equipe em campo da CAESB desligou o abastecimento de cada um dos *boosters* por uma hora, para entender a dependência entre eles e o comportamento da rede com relação a cada um. A subdivisão inicial (08A e 08B)

do DMC 08 se deu por conta dos dois *boosters* que supostamente abasteceriam duas áreas distintas, já que, em teoria, a EBO.SSB.001 seria responsável por bombear e abastecer o DMC 08A enquanto a EBO.SSB.004 abasteceria o DMC 08B. No entanto, com a aquisição dos dados, pôde-se observar que eles abastecem a mesma área. Essa conclusão será abordada posteriormente no trabalho. A Figura 4.13 demonstra a área delimitada por esse distrito.

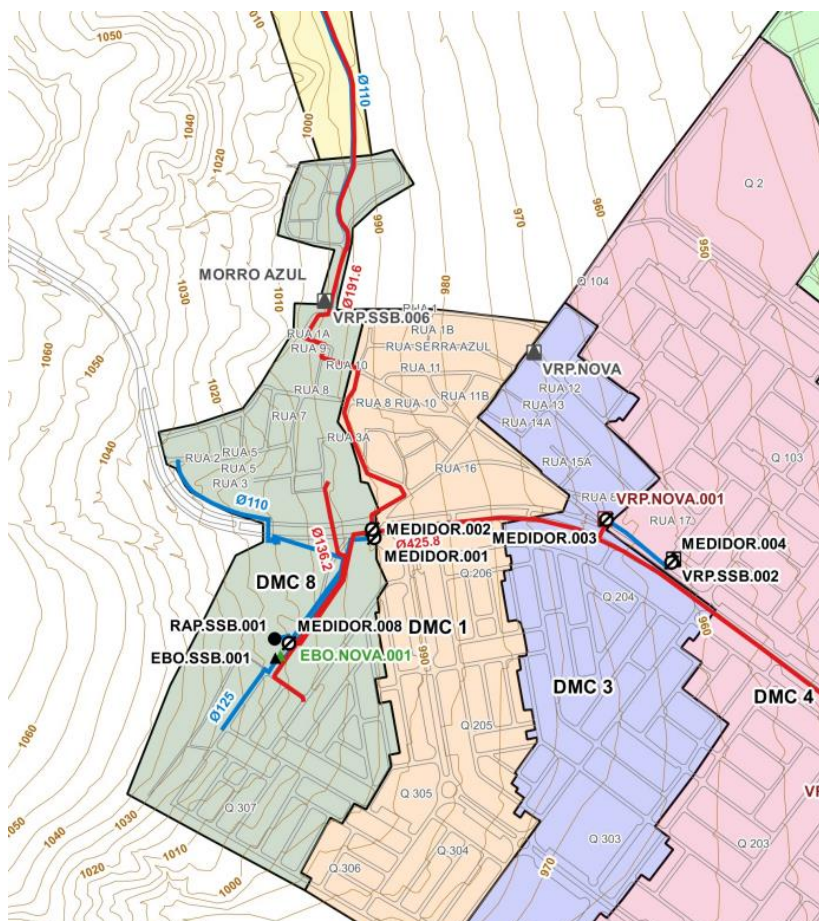


Figura 4.13 - Área do DMC 08 (08A+08B)

A ideia da aplicação da metodologia da Vazão Mínima Noturna para os DMCs era avaliar o comportamento das perdas reais nas áreas estanques após a setorização de São Sebastião. Além da análise realizada para os DMCs 02, 06, 08 e 13, o método foi aplicado para toda a área do RAP.SSB.001 com intuito de fazer uma calibração e uma comparação com os resultados encontrados através do Balanço Hídrico.

4.3.2 Levantamento de Dados

4.3.2.1 Vazões de Entrada

Para o cálculo da Vazão Mínima Noturna é necessário saber o volume de abastecimento que entra em cada Distrito de Medição e Controle. Para isso, com intuito de definir a vazão que

entra em cada um dos distritos, foram levantadas as localizações de cada um dos macromedidores dos DMCs em estudo (02, 06, 08A, 08B e 13). É importante frisar que nessa etapa de levantamento de dados das medições de vazão e pressão o DMC 08 ainda foi considerado como 08A e 08B pois seu padrão de abastecimento não era conhecido.

O estudo da localização de cada macromedidor foi feito primeiramente em campo para, posteriormente, ser situado na rede georreferenciada no Atlas Caesb e ter o seu endereço definido com o auxílio do *Google Maps*.

A Figura 4.14 mostra a localização dos medidores dos DMCs 08^a (EBO.SSB.001) e 08B (EBO.SSB.004). A localização dos macromedidores dos demais Distritos de Medição e Controle pode ser encontrada no APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS MACROMEDIDORES.



Figura 4.14 - Localização do RAP.SSB.001 e dos Macromedidores dos DMCs 08A e 08B no Atlas Caesb

Seguindo os mesmos procedimentos para todos os DMCs, foram levantadas a localização de cada um dos macromedidores (medidores de vazão de entrada) (Figura 4.15).

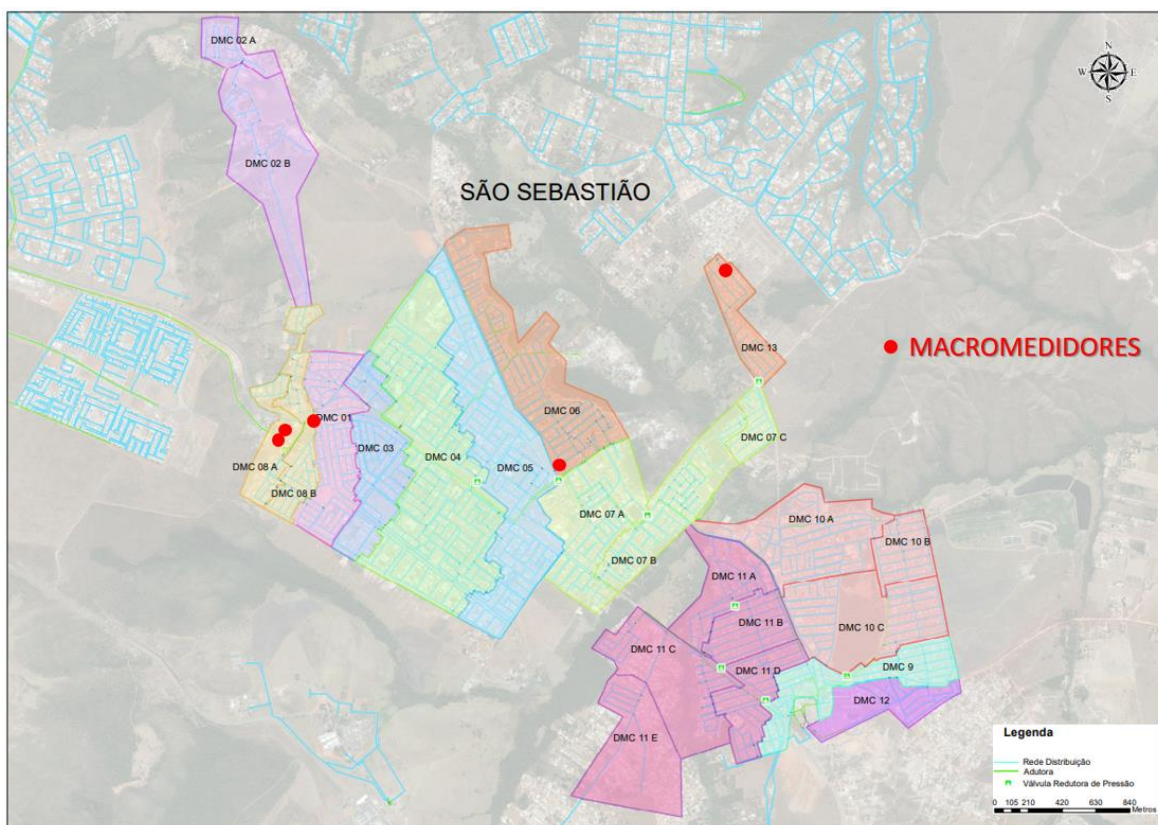


Figura 4.15 - Localização Aproximada dos Macromedidores

Após a definição da localização de cada macromedidor, foi solicitado o monitoramento em campo de cada um deles. A medição das vazões foi realizada por uma equipe da CAESB, entre 23/02 e 02/03/2021, por meio de equipamentos com registradores de dados (*Data Loggers*), registrando o valor das vazões em l/s a cada 5 minutos.

As vazões de entrada do reservatório (RAP.SSB.001) foram fornecidas pela CAESB do dia 01 ao dia 20 de fevereiro.

4.3.2.2 Pressão

Para o estudo do comportamento da rede distribuidora e definição dos pontos de pressão que foram medidos, foi utilizado o *software* EPANET versão 2.0 Brasil. A ferramenta é de simples utilização e, a partir do modelo hidráulico da rede previamente calibrado, simula a pressão nos nós de uma rede e as vazões nos trechos.

A rede de distribuição de água de São Sebastião em formato inp (um dos formatos utilizados no EPANET) foi disponibilizada pela CAESB previamente calibrada (Figura 4.16).

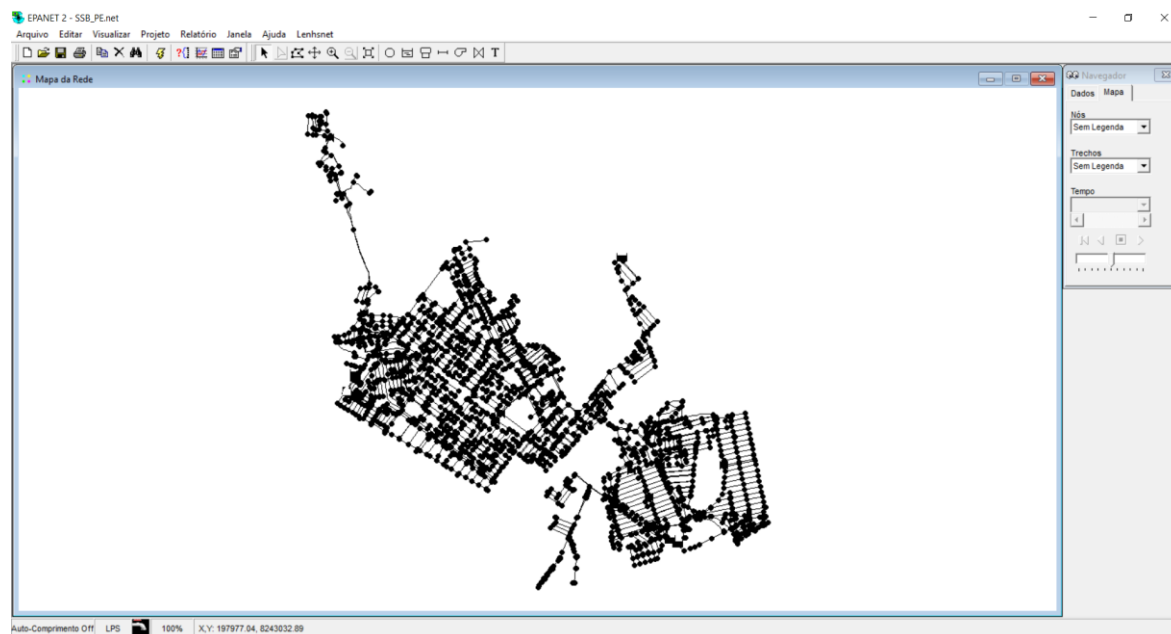


Figura 4.16 - Rede de Abastecimento de Água de São Sebastião no EPANET 2.0 Brasil

Como a rede possui uma quantidade muito grande de nós, é complexo o manuseio dos dados gerados no EPANET e, para amenizar a dificuldade da extração deles por meio do programa, foi utilizado o *software* EpaXcel, que faz a conversão dos dados exportados do EPANET para uma planilha em formato de Excel.

Para a realização da estimativa de pressão em cada um dos Distritos de Medição e Controle, foi feita a separação das redes de cada um DMCs no EPANET, possibilitando o conhecimento dos IDs de cada um dos nós que compõem os DMCs, bem como as pressões em cada um deles.

Para evitar problemas e desconfiguração da calibração da rede, a simulação foi realizada com a rede de São Sebastião completa, e os dados de pressão foram exportados através do EpaXcel para toda a área de São Sebastião, que depois foram filtrados conforme os dados para cada DMC.

A partir da aquisição dos dados das pressões para cada nó da rede de São Sebastião em Excel, foi feito um filtro avançado para que pudessem ser mostrados somente os valores dos nós que compunham cada um dos DMCs, tornando possível a aquisição e análise dos valores de pressões para cada um.

Após o conhecimento das pressões, para suas medições foram separados dois pontos para cada Distrito de Medição e Controle: um ponto crítico (menor pressão) e um ponto médio (pressão próxima à média). Com a separação dos dados de pressão em cada DMC, pôde-se estimar a pressão média em cada um deles a partir de uma média aritmética dos valores encontrados para

cada distrito. Para a obtenção de um ponto médio de pressão, foi realizada uma média aritmética dos valores de pressão encontrados para cada um dos nós durante 24h. O ponto crítico foi considerado o ponto menos favorável à pressão, ou seja, aquele onde se espera que a pressão seja a mais baixa, logo, geralmente o ponto mais alto do DMC.

Além dos valores de pressão média calculados para cada DMC, também foi levada em consideração a topografia local, pois, como a pressão em todos os distritos é controlada na entrada por meio de VRPs, existem vários pontos com pressão próxima à média. Portanto, a partir do conhecimento da pressão média local, com auxílio das curvas de nível do Atlas Caesb e dos valores de pressão simulados no EPANET, pôde-se definir os pontos médios e críticos de cada um dos DMCs.

Os pontos críticos de pressão não foram medidos com nenhum fim específico além de observar o comportamento e o padrão da pressão nos Distritos de Medição e Controle e para análises feitas pela própria companhia. Para a aquisição dos dados foram usados equipamentos *Data Loggers*.

É importante frisar que, mesmo que os dados dos DMCs 08A e 08B tenham sido medidos de forma independente (forma proposta inicialmente), os dados de pressão utilizados para a estimativa das perdas através da VMN foram utilizados como uma média entre as pressões dos dois DMCs com aquisição de dados (08A e 08B).

Como o ponto de pressão média no RAP.SSB.001 não foi monitorado, foram utilizados os dados de pressão simulados pelo EPANET com auxílio do EpaXcel, estimando a pressão média diária a cada hora durante 24h na área do reservatório.

4.3.2.3 Estimativa Populacional

Na metodologia da Vazão Mínima Noturna, um dos fatores que influencia nas perdas reais é a quantidade de habitantes do distrito em análise. Como só existem dados oficiais para a população de São Sebastião como uma Região Administrativa (RA) do DF, foi feita uma estimativa da população que compõe cada DMC.

Para realizar a estimativa, foi considerada a população de São Sebastião do PDAD (Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios). Apesar do PDAD de 2021 estar em andamento, foram considerados os dados de 2018, visto que esse foi o último com pesquisa concluída.

O PDAD da CODEPLAN de 2018 estima uma população de 115.256 habitantes para a Região Administrativa de São Sebastião. Para realizar a estimativa populacional de cada DMC, o número de habitantes total foi dividido pelo número de ligações ativas e inativas (Equação 4.1), permitindo o cálculo da quantidade de pessoas por ligação (Tabela 4.3).

$$Pessoas\ por\ ligação = \frac{N^{\circ}\ de\ habitantes}{Lig.\ ativos + Lig.\ inativas} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Tabela 4.3 - Estimativa do Número de Pessoas por Ligação

Habitantes (CODEPLAN, 2018)	115.256
Ligações Ativas (un)	17.176
Ligações Inativas (un)	1.585
Pessoas por ligação	6,14

A partir do conhecimento do número estimado de pessoas por ligação, esse número foi multiplicado pelo número de ligações ativas de cada distrito, gerando assim, um dado de quantidade de pessoas por cada DMC e para a área abastecida pelo reservatório (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - População Atendida Estimada

ÁREA	Extensão de Rede (m)	População Atendida (estimada)	Ligações Ativas (un)	Ligações Inativas (un)
DMC 02	4.705	2.513	409	48
DMC 06	17.343	7.821	1.273	292
DMC 08	10.830	5.535	901	50
DMC 13	3.365	2.064	336	30
RAP.SBB.001	131.309	62.884	10.236	986

Portanto, para o cálculo das perdas reais pelo método da VMN, foram utilizados os números de habitantes estimados para cada um dos DMCs e para a área abastecida pelo RAP.SSB.001.

4.3.2.4 Demais Dados

- **Extensão de Rede e Quantidade de Ramais Pressurizados**

Além dos dados de vazão, pressão e população, para a estimativa das perdas reais a partir do método da Vazão Mínima Noturna, são necessários os dados da extensão de rede e da quantidade de ramais pressurizados. Os dados de extensão de rede e a quantidade de ramais pressurizados para cada Distrito de Medição e Controle e para o reservatório foram fornecidos pela CAESB (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Extensão de Rede e Quantidade de Ramais Pressurizados

ÁREA	Extensão de Rede (km)	Quantidade de Ramais Pressurizados (un)
DMC 02	4,71	458
DMC 06	17,34	1.438
DMC 08	10,83	975
DMC 13	3,37	314
RAP.SSB.001	131,31	10.113

- **Fator de Condição de Infraestrutura (FCI)**

Como não foram realizados testes em campo para a determinação do Fator de Condição de Infraestrutura, ele foi considerado igual a 3, conforme recomendação do Guia nº 6 da série Balanço Hídrico da AESBE.

- **Expoente N1 – relação entre pressão e vazamentos**

Para a definição do valor N1 de cada Distrito de Medição e Controle foram levados em consideração os materiais que compõem a rede distribuidora, dados fornecidos pela CAESB (Tabela 4.6). De acordo com a bibliografia, em caso de sistemas com mescla de materiais, o valor de N1 varia entre 1 e 1,15 (AESBE, 2015). Segundo Nolli (2015), o valor de N1 é próximo a 1,5 em materiais plásticos em que a área de vazamento aumenta com o acréscimo da pressão.

Tabela 4.6 - Composição da Rede dos DMCs e valor de N1 adotado (CAESB, 2021)

DMC	Material da Rede	%	N1 adotado
02	Policloreto de Vinila (PVC)	61,23%	1,5
	Polietilento de Alta Densidade (PEAD)	38,77%	
06	Policloreto de Vinila (PVC)	20,76%	1,15
	Polietilento de Alta Densidade (PEAD)	53,90%	
	Ferro Fundido (FF)	25,34%	
08	Policloreto de Vinila (PVC)	27,54%	1,15
	Polietilento de Alta Densidade (PEAD)	59,89%	
	Ferro Fundido (FF)	12,57%	
13	Policloreto de Vinila (PVC)	72,29%	1,5
	Polietilento de Alta Densidade (PEAD)	27,40%	
	Ferro Fundido (FF)	0,32%	

O valor de N1 foi adotado igual a 1,5 para os DMCs 02 e 13, que são compostos majoritariamente de materiais plásticos; já os DMCs 06 e 08, possuem uma porcentagem

significativa de ferro fundido em suas composições, portanto, tiveram o valor de N1 adotado igual a 1,15. A definição desses valores levou em conta a recomendação da literatura e da própria companhia de saneamento, a CAESB.

Existem testes em campo para que seja feita a estimativa do valor N1, no entanto, são eles complicados, pois precisam ser realizados de madrugada. Por isso, os valores adotados foram os sugeridos pela bibliografia e prática adotada pela CAESB. Porém, entende-se que o valor de um expoente tem uma alta relevância nos resultados, o que gera um grau de incerteza e, sendo assim, foi feita uma análise de sensibilidade para qual outros valores de N1 foram sugeridos para DMCs nos quais a literatura indica um intervalo (entre 1 a 1,15), que é o caso dos DMCs 06 e 08, proporcionando uma comparação entre os resultados do método da Vazão Mínima Noturna com os dois expoentes considerados. Para isso, com o intuito de uma comparação, também foi considerado um valor de N1 igual a 1,05 para cada um dos DMCs 06 e 08.

Para o cálculo das perdas reais pelo método Vazão Mínima Noturna do RAP.SSB.001 foi considerado um valor de N1 igual a 1,15, já que a área tem uma grande diversidade de materiais que compõem a rede distribuidora. Para a área do reservatório também foi feita uma análise de sensibilidade com N1 igual a 1,05.

4.3.3 Aquisição e Escolha dos Dados

A aquisição dos dados de vazão e pressão foi realizada em campo durante os dias 23/02 e 11/03/2021. O planejamento inicial era que as informações fossem coletadas no período de uma semana (22/02 a 02/03/2021), no entanto, as medições foram feitas pela CAESB e não havia equipamentos com *Data Loggers* suficientes para todos os DMCs. Como o DMC 13 é independente dos demais por ser abastecido pelo REL-VDR.001, enquanto os DMCs 02, 06 e 08 são abastecidos pelo RAP.SSB.001, a equipe da companhia optou por separar a medida do DMC 13 e fazê-la na semana seguinte (04/03 a 11/03) (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Período de Medições

DATA DE MEDIÇÃO		
DMC	Pressão	Vazão
02	23/02 a 03/03	23/02 a 02/03
06	23/02 a 02/03	23/02 a 02/03
08	23/02 a 03/03	22/02 a 02/03
13	04/03 a 11/03	23/02 a 02/03

Para o método da Vazão Mínima Noturna são necessários somente os dados de vazão e pressão para um dia, por isso, foi verificado o melhor dia a ser analisado diante dos que foram medidos. Apesar dos dados terem sido gerados durante uma semana, ocorreram alguns problemas pontuais que foram levados em consideração na escolha do dia utilizado na VMN e, por isso, as áreas tiveram que ser analisadas em dias diferentes, conforme os melhores dados para cada uma delas.

A escolha dos dias levou em conta a análise do comportamento dos gráficos de vazão e pressão e particularidades que aconteceram em cada uma das áreas. Por exemplo, no dia 25/04 foram feitos testes pela companhia para entender o funcionamento dos *boosters* que abastecem o DMC 08 (EBO.SSB.001 e EBO.SSB.004), interrompendo o abastecimento por cerca de 1h nessa área. Além disso, no dia 01/03 houve o rompimento de uma adutora, resultando em falta d'água em algumas regiões. A interrupção do abastecimento pode acabar gerando um comportamento atípico no período após o seu retorno, característico por um aumento de vazão para encher as caixas d'água das localidades e compensação das atividades que não foram realizadas pela falta d'água.

Levando em conta as particularidades de cada caso, o DMC 13 foi analisado com dados de vazão do dia 24/02 (quarta-feira) e de pressão dia 10/03 (quarta-feira). No caso particular desse DMC, as análises de pressão e vazão foram feitas em dias diferentes porque as medições de pressão tiveram que ser realizadas na semana posterior.

O DMC 06 foi analisado com dados de pressão e vazão do dia 25/02 (quinta-feira), enquanto o cálculo das perdas para o DMC 02 levou em consideração os dados do dia 24/02 (quarta-feira), assim como o DMC 08. Os dados utilizados para o RAP.SSB.001 foram os do dia 16/02 (terça-feira).

4.3.4 Aplicação dos Dados

4.3.4.1 Vazão de Entrada

A partir do monitoramento dos macromedidores, foram adquiridos os dados de vazão de entrada (l/s) a cada 5 minutos em todos os DMCs. Para a aplicação do método da Vazão Mínima Noturna, são necessários dados de vazão em intervalos de 1h, durante 24h, como ilustrado na Figura 4.17.

		N1 ADOTADO:		PARÂMETROS CALCULADOS			
ORDEM	HORÁRIO	Pressões médias	VOLUME de entrada	Volumes horários de vazamentos	Consumo Autorizado + Perdas Aparentes	Perdas Inerentes IWA	Perdas Inerentes do DMC
		mca	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
1	00:00 - 01:00	25,63	78,15	54,77	23,37	1,55	4,66
2	01:00 - 02:00	26,33	72,19	57,03	15,16	1,62	4,85
3	02:00 - 03:00	27,00	68,80	59,22	9,57	1,68	5,04
4	03:00 - 04:00	27,50	66,87	60,87	6,00	1,73	5,18
5	04:00 - 05:00	27,80	66,00	61,87	4,13	1,75	5,26
6	05:00 - 06:00	27,00	67,94	59,22	8,72	1,68	5,04
7	06:00 - 07:00	25,60	75,79	54,68	21,11	1,55	4,65
8	07:00 - 08:00	23,60	82,48	48,40	34,08	1,37	4,11
9	08:00 - 09:00	21,00	90,22	40,62	49,59	1,15	3,45
10	09:00 - 10:00	20,00	96,98	37,76	59,22	1,07	3,21
11	10:00 - 11:00	19,50	102,12	36,35	65,77	1,03	3,09
12	11:00 - 12:00	19,00	104,81	34,96	69,85	0,99	2,97
13	12:00 - 13:00	19,10	103,90	35,24	68,66	1,00	3,00
14	13:00 - 14:00	19,30	102,83	35,79	67,03	1,01	3,04
15	14:00 - 15:00	19,90	101,43	37,47	63,96	1,06	3,19
16	15:00 - 16:00	20,40	99,00	38,89	60,11	1,10	3,31
17	16:00 - 17:00	20,80	98,10	40,04	58,06	1,13	3,40
18	17:00 - 18:00	21,20	97,20	41,20	56,00	1,17	3,50
19	18:00 - 19:00	21,60	96,30	42,38	53,92	1,20	3,60
20	19:00 - 20:00	21,80	93,84	42,97	50,88	1,22	3,65
21	20:00 - 21:00	22,00	92,85	43,56	49,29	1,23	3,70
22	21:00 - 22:00	23,00	89,77	46,56	43,20	1,32	3,96
23	22:00 - 23:00	24,00	85,87	49,63	36,24	1,41	4,22
24	23:00 - 00:00	25,00	82,39	52,77	29,62	1,50	4,49
TOTALS:		22,8	2.116	1.112	1.004	32	95

Figura 4.17 – Entrada dos Dados de Vazão

As medições das vazões em campo foram configuradas para uma aquisição dos dados em um intervalo de 5 minutos, por isso, para a obtenção dos dados em intervalo de 1h, foi feita uma média das vazões em intervalos de 1h. Por exemplo: para cada intervalo de 1h têm-se 12 valores de vazão, então, foi feita uma média aritmética desses valores, considerando esse resultado como a vazão do intervalo. Essa estimativa foi feita para todos os dias em análise, para todos os Distritos de Medição e Controle e para o RAP.SSB.001, no entanto, no caso do reservatório, os dados não foram monitorados em campo e sim fornecidos pela própria companhia que os obtêm por telemetria.

A princípio, os dados de vazão dos DMCs 08A e 08B seriam somados e considerados como uma vazão só, já que eles abastecem a mesma área. No entanto, no dia 24/02 (data utilizada para análise do DMC) não ocorreu o funcionamento do EBO.SSB.004, sendo toda a vazão de entrada do DMC 08 bombeada pela EBO.SSB.001.

4.3.4.2 Pressão

Assim como os dados de vazão, a pressão é utilizada em intervalos de 1h, durante 24h. No entanto, diferentemente dos dados de vazão, as pressões foram geradas de hora em hora. Portanto, para que pudesse ser adquirido um dado com um intervalo igual a uma hora, foi realizada uma média entre os dois valores de pressão. Por exemplo, a pressão no intervalo

00:00-01:00h foi considerada a média entre a pressão de 00:00 e a de 01:00h. Esse procedimento foi feito para todos os intervalos nos dias utilizados para cada DMC e para o RAP.SSB.001.

Para o DMC 08, além do mesmo procedimento realizado para os demais DMCs, foi feito também uma média entre os valores de pressão entre os DMCs 08A e 08B, considerando essa média como a pressão no DMC 08.

É importante frisar que para a aplicação do método foram utilizados os dados do ponto médio de pressão dos setores, não o ponto crítico.

4.4 FATOR DE PESQUISA

O método do Fator de Pesquisa (FP) foi utilizado neste trabalho devido à sua praticidade e à uma demanda da própria companhia de saneamento, a CAESB. Como a obtenção das perdas reais pelo método do FP é mais rápida e fácil que o método da VMN, a companhia o usou como parâmetro para um estudo das perdas em sua área de atuação, incluindo a área de São Sebastião. A aplicação dessa metodologia se dá de maneira simples. Para sua análise, foram necessários os dados de vazão adquiridos por meio dos macromedidores. Com isso, primeiro, foi feito em Excel o valor máximo, médio e mínimo das vazões em cada um dos dias de medição, para cada um dos DMCs. A partir do valor das vazões foi calculado o Fator de Pesquisa ($Q_{\text{mín}}/Q_{\text{méd}}$) para cada um dos dias.

Considerando os Fatores de Pesquisa calculados para cada um dos dias com registro de vazão, foram feitas médias entre esses valores para cada DMC, chegando a um valor de Fator de Pesquisa mais significativo para cada um deles.

É importante ressaltar que todas as irregularidades foram excluídas dos cálculos diários e totais de vazão, já que não representam o que realmente ocorre na localidade. Por exemplo: dias com vazões iguais a zero (quando ocorreu falta d'água) foram descartados dos cálculos finais e não considerados na média.

Ao se tratar da situação do DMC 08, foram somadas as vazões dos DMCs 08A e 08B (quando havia vazão no DMC 08B), já que eles foram considerados como uma área só e são abastecidos pelo mesmo *booster*.

Os cálculos do Fator de Pesquisa foram feitos para os DMCs em estudo (02, 06, 08 e 13) e para a área do RAP.SSB.001, com o intuito de reforçar o estudo das perdas reais nas áreas em estudo.

4.5 ANÁLISE DO IMPACTO DA SETORIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO CORRETIVA

São Sebastião é a Região Administrativa com o maior número de Ordens de Serviço (OS) para consertos de cavalete, ramal e rede da Área Centro-Norte do Distrito Federal (Figura 4.18).

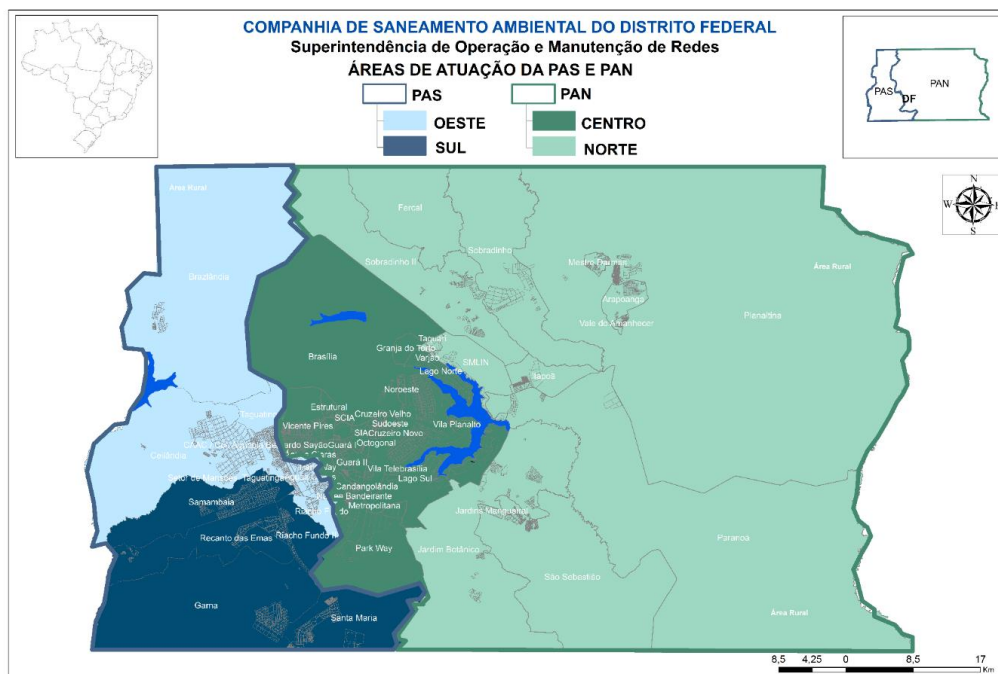


Figura 4.18 - Divisão das Áreas do Distrito Federal

É possível observar a evolução dos serviços de manutenção corretiva em São Sebastião na Figura 4.19.

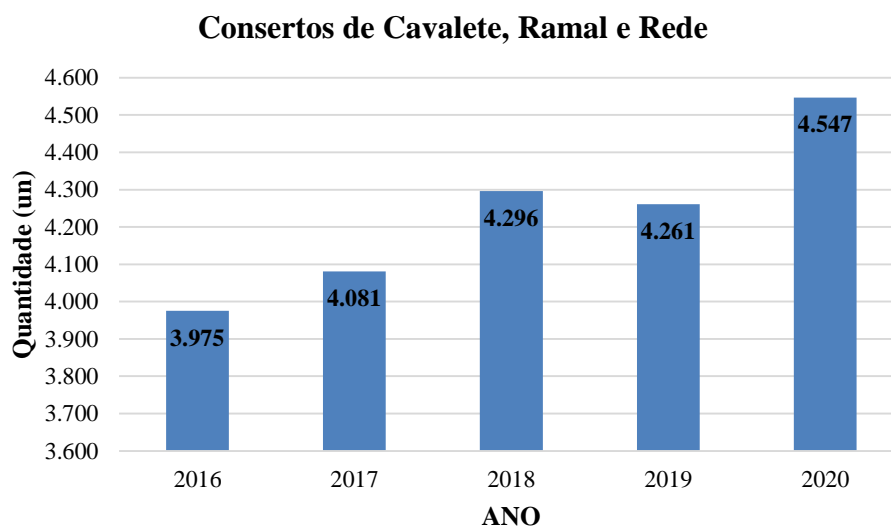


Figura 4.19 - Gráfico da Evolução de Consertos em São Sebastião

A CAESB disponibiliza os dados dos seus serviços de manutenção através painéis em BI (*Business Intelligency*). Para a análise da manutenção corretiva, foi usado o painel Ranking de Serviços de Consertos de Cavalete, Ramal e Redes por Logradouro. Na Tabela 4.8 são apresentadas as 10 RAs da região Centro-Norte do DF com o maior número de consertos no período de 2016 até 18 setembro de 2021.

Tabela 4.8 - Consertos de Rede, Ramal e Cavalete da Área Centro-Norte do DF entre 2016 e 18/09/2021 (CAESB, 2021)

	Região	Consertos
	Administrativa	
1	São Sebastião	23.949
2	Brasília	14.268
3	Planaltina	13.907
4	Sobradinho II	8.875
5	Vicente Pires	8.263
6	Guará	6.509
7	Sobradinho	6.310
8	Lago Sul	6.226
9	Jardim Botânico	5.909
10	Mestre Darnas	3.434

Pode-se observar que a diferença entre a Região Administrativa de São Sebastião e o segundo colocado é bastante expressiva, tendo cerca de 40% de consertos a mais que Brasília (que possui uma população substancialmente maior que a de São Sebastião).

Para fazer a avaliação da evolução dos consertos de rede, ramal e cavalete em São Sebastião, foi utilizado o painel “Ranking de Serviços de Consertos de Cavalete, Ramal e Redes por Logradouro”, no qual a CAESB disponibiliza através do painel em BI (*Business Inteligency*) os dados da quantidade de OS’s abertas para cada Região Administrativa, Setor e Logradouro. O estudo do impacto da setorização na manutenção corretiva e da evolução dos consertos ao longo do tempo foi feita conforme uma análise da diferença entre a quantidade de Ordens de Serviço entre os anos. Para isso, foram analisados os anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, levando em consideração acontecimentos pontuais ao longo dessa escala de tempo que impactaram diretamente no funcionamento da rede, como o racionamento de água que ocorreu em todo o DF (janeiro de 2017 a maio de 2018) e as obras de setorização, que tiveram início em abril de 2019 e finalização em dezembro de 2020.

Como o ano de 2021 ainda não acabou, os dados foram adquiridos apenas até o dia da coleta (18 de setembro de 2021), por isso, foi feita uma estimativa do valor total de consertos para o

ano de 2021. O cálculo levou em consideração a quantidade de ocorrências existentes até o dia 18/09, dia número 260 de 365 do ano de 2021. Para a realização estimativa da quantidade de consertos, foi utilizada uma regra de três. Por exemplo: se até o dia 260 tiveram 100 consertos, espera-se que no dia 365 (fim do ano) ocorram cerca de 140.

Além da coleta dos dados de consertos anuais, para comparação e estudo da predominância de algum elemento da rede distribuidora sobre o outro, foram coletados separadamente os dados de consertos de ramais, rede e cavaletes para os mesmos anos: 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, cujos dados do restante do ano foram estimados conforme o mesmo critério pontuado acima.

Como citado anteriormente, os anos estudados possuem algumas interferências em seus resultados por conta do racionamento e das obras de setorização, por isso, também foi analisado um período particular onde é possível minimizar a influência desses acontecimentos. Foram levantados os dados do período de junho a agosto de todos os anos entre 2016 a 2021 como uma tentativa de mitigar as interferências das singularidades, além de analisar o comportamento real do ano de 2021 até o momento da coleta, já que a estimativa é incerta por poder ocorrer alguma anomalia no restante do ano (setembro a dezembro), levando a um aumento muito brusco no número de consertos.

Além da análise do número de consertos de modo geral, foi estudado o comportamento dos setores que compõe a área do RAP.SSB.001 ao longo desses anos, sendo eles: Setor Residencial Oeste, Centro, Setor Tradicional, Morro Azul, João Cândido, Vila do Boa, São Bartolomeu, Bonsucesso, Del Rey e Vila Vitória. Foi feito um estudo da evolução (melhora ou piora) de cada um deles.

É importante frisar que toda a análise de dados levou em consideração as particularidades de cada um dos anos em análise e o comportamento esperado em cada um deles. Por exemplo: no ano de 2020 já era esperado uma piora na quantidade de ocorrências devido às obras de setorização, enquanto no ano de 2021, após o término das obras era esperada uma melhora nos números. O resultado e as críticas a ele serão devidamente apresentados no tópico 5, de resultados e discussões.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. BALANÇO HÍDRICO E INDICADORES

O gráfico da Figura 5.1, fornecido pela CAESB, mostra um comparativo do comportamento da vazão de entrada do reservatório ao longo do tempo e pode-se ter uma noção prévia de como a setorização começou a impactar nos dados de entrada do reservatório. Nota-se que, no ano de 2019, a vazão de pico do RAP.SSB.001 chegava a um valor significativamente maior que no ano de 2020, ainda que a obra de setorização não estivesse completamente concluída e, analisando-o grosseiramente, pode-se observar uma redução na vazão de entrada de cerca de 20 l/s. O impacto dessa variação no volume de entrada reflete diretamente no volume das perdas na localidade, que pôde ser avaliado através do Balanço Hídrico da região.

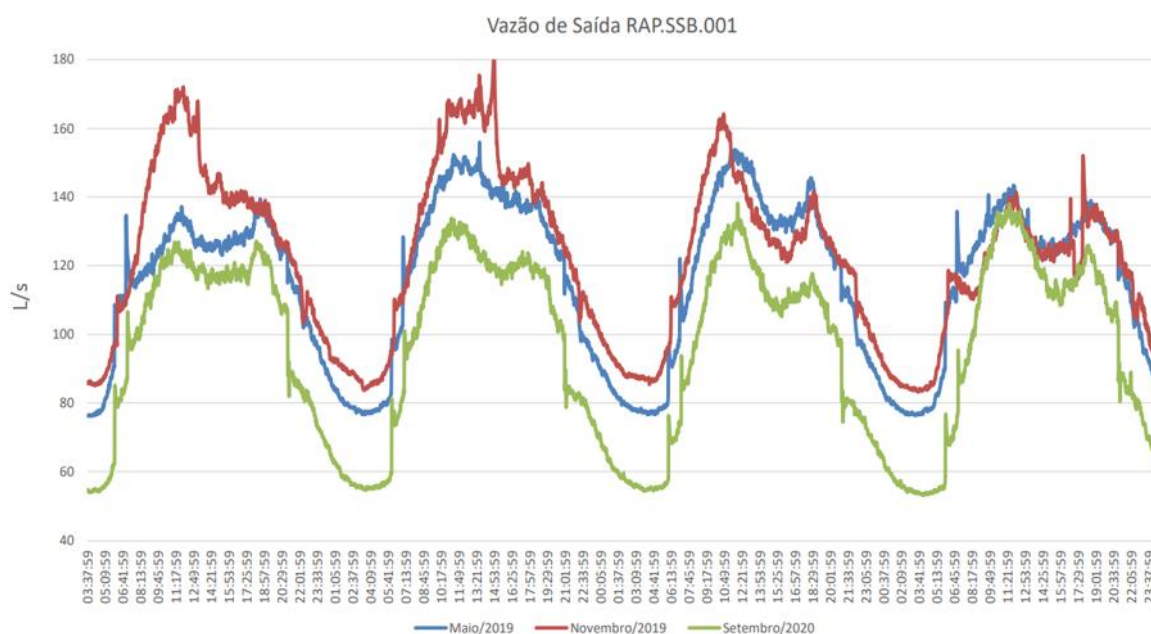


Figura 5.1 - Vazões de Saída do RAP.SSB.001 (CAESB, 2021)

A estimativa do Balanço Hídrico foi realizada conforme a inserção dos dados necessários na planilha do programa *WB-EasyCalc*.

A Figura 5.2 mostra a matriz do Balanço Hídrico proposta pelo método da IWA preenchida, dando a estimativa de cada um dos tipos de consumo e perdas, de acordo com o volume de entrada em metros cúbicos, do período de julho de 2020 a junho de 2021 na região do RAP.SSB.001 de São Sebastião. Todos os dados de entrada para realização do método foram disponibilizados pela CAESB e se encontram no APÊNDICE A – DADOS PARA O BALANÇO HÍDRICO.

Volume de Entrada no 3.220.619 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado 1.765.179 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado faturado 1.431.200 m³	Consumo medido faturado 1.430.950 m³	Água faturada 1.431.200 m³
			Consumo não medido faturado 250 m³	
	Perdas de água 1.455.439 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado não faturado 333.979 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo medido não faturado 3.877 m³	Água não faturada 1.789.419 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%
			Consumo não medido não faturado 330.102 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	
		Perdas Aparentes 202.919 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo não autorizado 63.210 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	
		Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 139.709 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%		
	Perdas Reais 1.252.521 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%			

Figura 5.2 - Matriz do Balanço Hídrico Anual do RAP.SSB.001

A Figura 5.3 mostra a relação percentual entre as parcelas do Balanço Hídrico.

Volume de Entrada (m³) 3.220.619 100%	Consumo Autorizado (m³) 1.765.179 54,81%	Consumo Autorizado Faturado (m³) 1.431.200 81,08%	Consumo Medido Faturado (m³) 1.430.950 99,98%	Água Faturada (m³) 1.431.200 44,44%
			Consumo Não Medido Faturado (m³) 250 0,02%	
	Perdas de Água (m³) 1.455.439 45,19%	Consumo Autorizado Não Faturado (m³) 333.979 18,92%	Consumo Medido Não Faturado (m³) 3.877 1,16%	Água Não Faturada (m³) 1.789.419 55,56%
			Perdas Aparentes (m³) 202.919 13,94%	
			Imprecisões (m³) 139709 68,85%	
	Perdas Reais (m³) 1.252.521 86,06%			

Figura 5.3 - Porcentagens Parcela do Balanço Hídrico Anual

Os dados do Balanço Hídrico mostram uma situação de perdas de água preocupantes à companhia, já que 45,19% do volume de água que entra no sistema é perdida, do qual somente 13,94% é perda aparente (água entregue sem que a companhia possa registrá-la – ligações clandestinas, fraudes, *by pass* e submedição no hidrômetro), enquanto as perdas reais - por vazamentos - totalizam 86,06% de todo o volume perdido (1.455.439 m³). Com relação ao volume de entrada anual (3.220.619 m³), as perdas reais representam um total de 39,89%, enquanto as aparentes, 6,30% (Figura 5.4).

Perdas em Relação ao Volume de Entrada

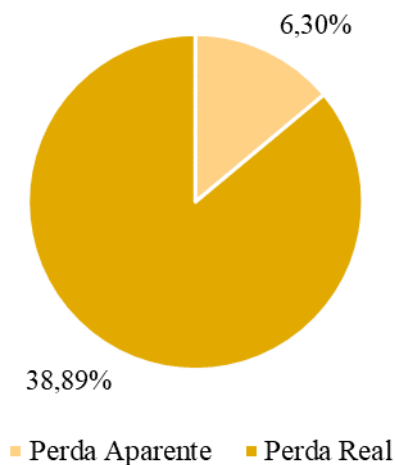


Figura 5.4 - Perdas com Relação do Volume de Entrada no RAP.SSB.001

O valor das perdas de água igual a 45,19% do volume de entrada na região do reservatório de São Sebastião chama atenção com relação ao Balanço Hídrico do Distrito Federal, pois de acordo com o Relatório Técnico da ADASA, o volume total perdido no DF em 2020 foi igual a 32,52% do volume de entrada com uma estimativa de perdas aparentes igual a 7,14% do volume de entrada e 25,38% de perdas reais, ou seja, a área do RAP.SSB.001 apresenta um volume de perdas de água bem acima da média do DF, o que sugere uma situação problemática e pior do que a maioria das demais localidades.

Outro dado alarmante dessa estimativa é a quantidade de água não faturada com relação ao volume de entrada do sistema, que totaliza 55,56%, representando um valor maior que o da água faturada (44,44%). Isso significa que mais da metade da água disponibilizada para o sistema que abastece a área do RAP.SSB.001 não geraria retorno econômico à companhia, sendo boa parte dela perdida nos vazamentos, em fraudes e ligações clandestinas.

É importante salientar que, como a companhia não possui um método definido para estimar o número de ligações clandestinas e fraudes, foi utilizado um valor de 1% para cada uma delas, o que pode levar a uma subestimação nos valores de perdas aparentes nesse método.

Os dados do gráfico apresentados na Figura 5.5 mostram a proporção entre a quantidade de perdas reais e aparentes de cidades ao longo do mundo com a área do RAP.SSB.001.



Figura 5.5 - Comparativo Perdas Reais e Aparentes (adaptado de ABES, 2018)

Os indicadores de perdas reais são apresentados na Figura 5.6.

AAPF - Volume Anual Atual de Perdas Reais [m³/dia]	3.432
MAPF - Volume Mínimo Atingível de Perdas Reais [m³/dia]	227
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	15
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	336
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	14

Figura 5.6 - Indicadores de Perdas Reais

Os indicadores Volume Anual Atual de Perdas Reais (AAPF) e Volume Mínimo Atingível de Perdas Reais (MAPF) são equivalentes aos PRAC e PRAI, respectivamente. Ou seja, as perdas que ocorrem no sistema em m³/dia (PRAC) e o limite inferior das perdas reais com relação à infraestrutura do sistema (PRAI). Portanto, o Balanço Hídrico mostra um indicador de perda de 3.432 m³/dia, idealizando um valor de 227 m³/dia para um sistema com o mínimo de

vazamentos possível. É importante ressaltar que não está considerada a viabilidade econômica de se atingir esse valor de 227 m³/dia.

O Índice Infraestrutural de Perdas (IIE) equivale ao IVI e mostra o quão distante o sistema está da situação ideal de funcionamento infraestrutural, mostrando a relação entre a quantidade de perdas que ocorre no sistema e a quantidade ideal. De acordo com a CAESB, um valor de IVI/IIE igual a 4 já indica um bom funcionamento do sistema. No entanto, o resultado do Balanço Hídrico mostra um valor igual a 15, significativamente maior que o esperado quando se trata de uma situação ideal de perdas (IVI = 1 de acordo com a literatura). Entretanto, ao analisar a relevância e a quantidade de água perdida no sistema, espera-se um valor alto de IVI. O indicador de litros por ligação por dia dá uma estimativa da quantidade de água perdida diariamente em cada ligação do RAP.SSB.001 durante um dia, o que mostra que cada ligação de água da área perde cerca de 336 litros diariamente.

Os indicadores de perdas aparentes são apresentados na Figura 5.7:

Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	11%
litros/ligação/dia	54
litros/cliente/dia	55

Figura 5.7 - Indicadores de Perdas Aparentes

Mesmo que as informações sejam fornecidas pela companhia, algumas delas apresentam um grau de incerteza muito alto, causando uma distorção de certos resultados, como é o caso da estimativa do consumo representado por ligações clandestinas e fraudes, já que estes ainda são estimativas e não têm um método definido formalmente estabelecido pela companhia para definição de suas quantidades, podendo resultar em uma subestimação das perdas aparentes na área.

A quantidade de ligações indevidas também afeta indiretamente as perdas reais, pois, mesmo que uma ligação clandestina seja considerada uma perda aparente, ela afeta o funcionamento hidráulico da rede, já que necessita de vazão e pressão para abastecer as instalações. Além disso, essas ligações, em sua grande maioria, não são feitas corretamente, sendo exercidas pela própria população e não pela companhia, tornando-as mais suscetíveis a problemas, podendo acarretar um grande número e/ou volume de vazamentos que não conseguem ser contabilizados de forma direta por conta de uma falta de controle e dimensão dessas ligações.

Outro problema atrelado ao consumo não autorizado é que, a população que consome a água clandestinamente não precisa pagar por ela, refletindo em um consumo que muitas vezes pode ser excessivo e inconsciente, podendo caracterizar um padrão de consumo acima do conhecido nas ligações “comuns”. No entanto, é importante ressaltar que esse tipo de consumo é uma problemática preocupante e há uma discussão profunda em torno dela, pois, para que todo ser humano tenha o mínimo de qualidade de vida é fundamental o acesso à água potável.

Para parâmetros comparativos, a dissertação de Melato (2010), que estudou perdas no sistema de abastecimento da região metropolitana de São Paulo, apresentou um BH do setor Mooca com perdas reais iguais a 18,58% do volume de entrada e as aparentes, 10,54%. Já o setor Paulista totalizou 1,76% de perdas reais, sendo as perdas aparentes 7,42%. Ambos os setores da cidade de São Paulo apresentam uma realidade distante da encontrada na área do RAP.SSB.001, reforçando a situação problemática da área.

5.2. VAZÃO MÍNIMA NOTURNA

Um dos intuitos desse estudo foi a avaliação das perdas reais em áreas selecionadas de São Sebastião. Para isso, o principal método utilizado nesse estudo para a análise desse tipo de perda nos Distritos de Medição e Controle número 02, 06, 08 e 13 foi o da Vazão Mínima Noturna.

5.2.6. Vazão

Os dados de vazão coletados em campo por monitoramento dos macromedidores foram gerados em intervalos de 5 minutos, registrando a vazão de entrada em cada um dos DMCs em litros por segundo. Um resumo dos resultados com as vazões diárias máximas, médias e mínimas dos macromedidores de entrada em cada dia de medição pode ser visto na Tabela da Figura 5.8. Os dados a seguir também foram utilizados para o cálculo do Fator de Pesquisa.

DATA	VAZÃO (l/s)	DMC 02	DMC 06	DMC 08 (08A + 08B)	DMC 13	RAP.SSB.001
23/02/2021 Terça-Feira	Mínima	5,03	9,34	8,67	1,07	58,06
	Máxima	8,17	19,21	15,67	3,10	118,46
	Média	6,74	15,11	13,49	2,24	93,65
24/02/2021 Quarta-Feira	Mínima	4,47	7,55	9,33	0,50	57,39
	Máxima	8,60	32,09	15,00	3,57	124,67
	Média	6,48	14,39	12,63	1,88	93,75
25/02/2021 Quinta-Feira	Mínima	4,43	7,23	10,00	0,53	-
	Máxima	16,07	19,77	16,00	3,73	109,94
	Média	6,34	13,97	13,00	1,83	43,93
26/02/2021 Sexta-Feira	Mínima	4,50	7,72	11,00	0,53	-
	Máxima	8,13	20,14	16,00	3,40	113,48
	Média	6,10	13,65	13,60	1,71	65,51
27/02/2021 Sábado	Mínima	4,57	7,31	6,23	0,57	-
	Máxima	9,13	20,89	17,33	4,57	127,70
	Média	6,34	13,79	12,48	1,93	68,33
28/02/2021 Domingo	Mínima	4,70	7,62	10,00	0,60	-
	Máxima	9,53	21,53	16,67	3,77	115,37
	Média	6,56	14,25	12,96	1,91	27,26
01/03/2021 Segunda-Feira	Mínima	4,40	6,08	8,33	0,57	0,00
	Máxima	14,37	22,68	17,00	3,87	96,74
	Média	6,40	15,10	13,63	2,01	55,77
02/03/2021 Terça-Feira	Mínima	4,27	7,38	5,10	0,53	51,04
	Máxima	8,83	20,46	19,00	3,00	129,69
	Média	5,96	13,53	13,23	1,54	104,22
03/03/2021 Quarta-Feira	Mínima	-	-	12,67	-	59,67
	Máxima	-	-	16,67	-	132,87
	Média	-	-	14,32	-	101,08

Figura 5.8 - Vazões nos Macromedidores de Entrada em l/s

Diante dos resultados das medições dos *boosters* EBO.SSB.001 (DMC 08A) e EBO.SSB.004 (DMC 08B) mostrados nos gráficos da Figura 5.9 e Figura 5.10, pode-se notar que a EBO.SSB.004 passa a maior parte do tempo sem operar, sendo basicamente toda água bombeada pelo *booster* EBO.SSB.001. O *booster* 004 opera somente em casos pontuais (quando o 001 não está funcionando, por exemplo), o que levou à conclusão que os dois funcionam em conjunto e não isoladamente, como a proposta inicial do estudo. Os demais gráficos com os comportamentos de vazões podem ser vistos no Apêndice C – resultados de vazão.

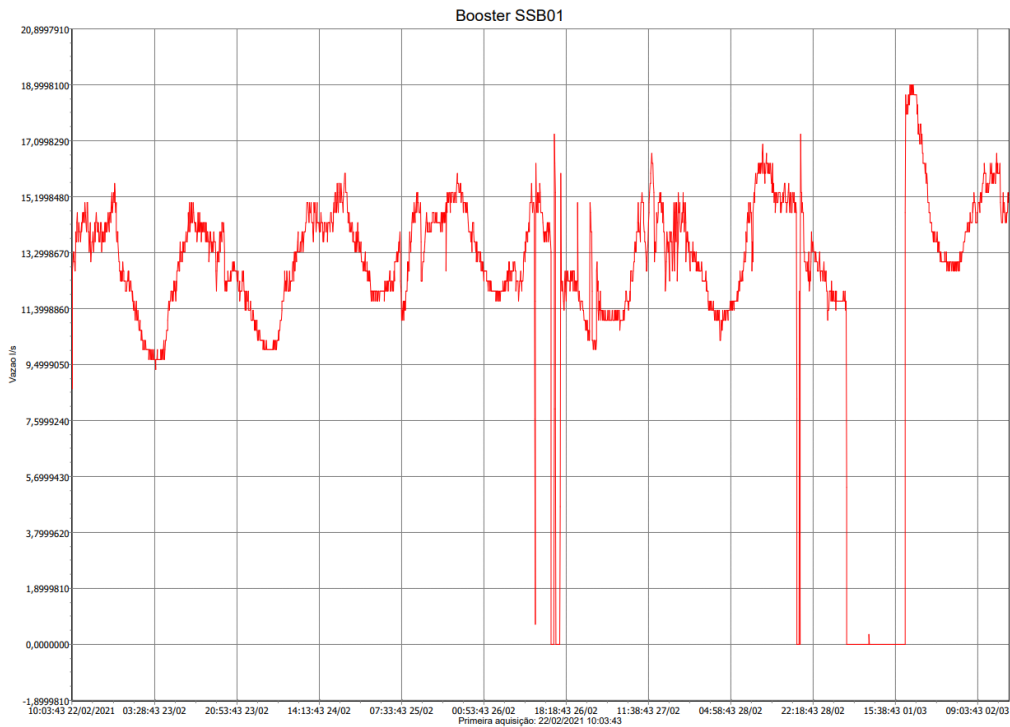


Figura 5.9 - Vazão de Entrada no EBO.SSB.001 (DMC 08A) em l/s

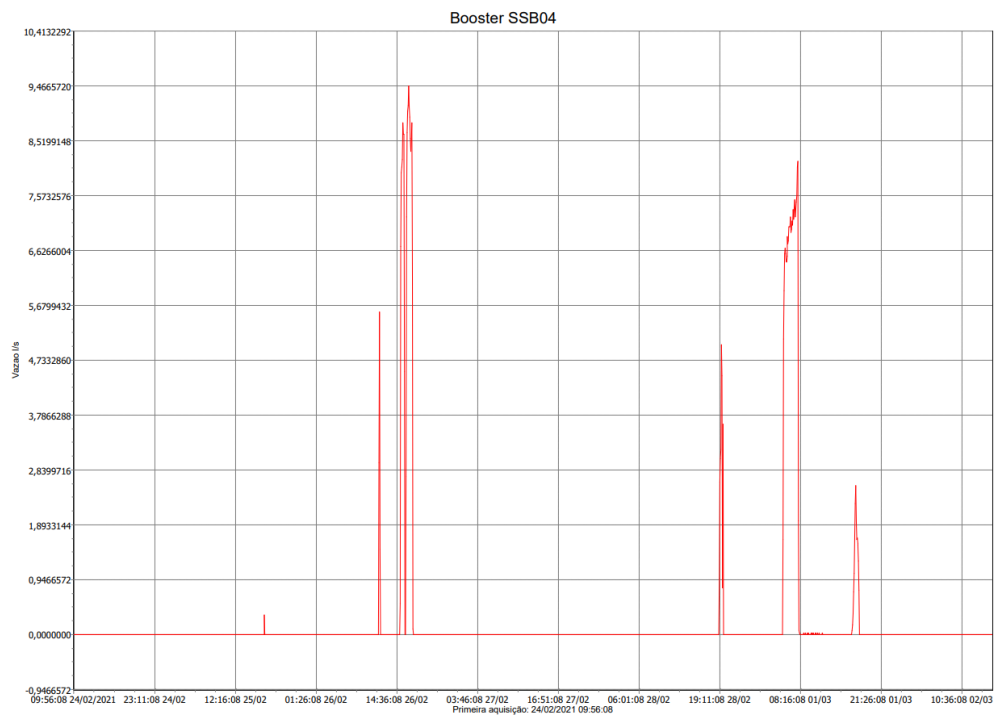


Figura 5.10 - Vazão de Entrada no EBO.SSB.004 (DMC 08B) em l/s

Na Tabela 5.1 encontram-se os dados de vazão adquiridos e tratados para cada um dos DMCs e para o reservatório utilizados para o cálculo da Vazão Mínima Noturna.

Tabela 5.1 - Dados de Vazão Tratados (l/s)

Vazão Média (l/s)					
HORA	DMC 02	DMC 06	DMC 08	DMC 13	RAP.SSB.001
00:00 - 01:00	5,23	9,35	10,97	0,86	69,43
01:00 - 02:00	4,88	8,18	10,53	0,68	62,99
02:00 - 03:00	4,65	7,56	10,17	0,59	59,94
03:00 - 04:00	4,56	7,39	10,03	0,53	58,27
04:00 - 05:00	4,07	7,38	10,08	0,56	57,95
05:00 - 06:00	4,86	8,32	10,42	0,66	59,63
06:00 - 07:00	5,62	14,02	11,64	1,25	79,69
07:00 - 08:00	6,14	14,25	12,19	1,76	88,97
08:00 - 09:00	6,13	15,11	12,58	1,81	101,76
09:00 - 10:00	6,86	17,23	13,31	2,16	115,67
10:00 - 11:00	7,44	18,40	13,61	2,39	128,68
11:00 - 12:00	7,25	18,41	14,50	2,56	134,94
12:00 - 13:00	7,82	16,64	14,50	2,58	130,17
13:00 - 14:00	7,48	15,94	14,56	2,47	120,96
14:00 - 15:00	7,39	15,90	14,22	2,15	113,28
15:00 - 16:00	7,23	15,75	14,06	2,55	107,13
16:00 - 17:00	7,26	16,49	14,36	2,54	103,87
17:00 - 18:00	7,35	18,59	14,86	2,78	107,35
18:00 - 19:00	8,32	18,80	15,19	2,63	110,18
19:00 - 20:00	8,09	18,60	15,39	3,07	110,44
20:00 - 21:00	7,42	18,50	14,39	2,65	103,59
21:00 - 22:00	6,75	12,20	13,83	2,52	82,71
22:00 - 23:00	6,36	11,54	13,61	1,89	76,65
23:00 - 00:00	5,78	10,43	12,97	1,45	70,78

5.2.7. Pressão

A estimativa das pressões médias nos Distrito de Medição e Controle foi feita para as áreas nas quais foram aplicadas o método da Vazão Mínima Noturna (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Pressão Média nos DMCs

Pressão em cada DMC (mca)				
02	06	08A	08B	13
23,01	26	21,65	21,16	21,55

A partir dos valores de pressão média, a localização dos pontos médios e críticos monitorados pela equipe CAESB em cada DMC foi definida e suas localizações próximas estão demonstradas na Figura 5.11. O posicionamento mais detalhado da instalação dos

equipamentos de medição pode ser visto no APÊNDICE D – PONTOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO.

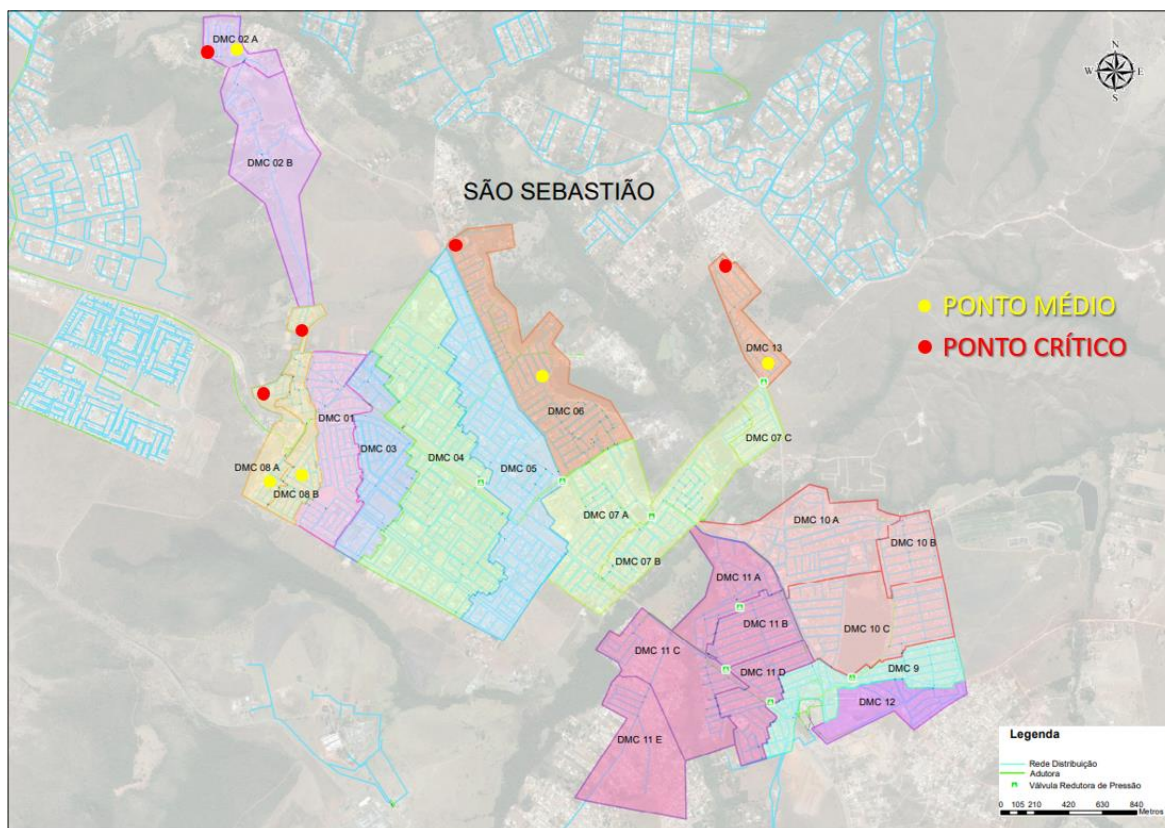


Figura 5.11 - Pontos de Monitoramento de Pressão

A partir do monitoramento das pressões, foram adquiridos os resultados e os gráficos gerados conforme o monitoramento dos pontos, que podem ser encontrados no APÊNDICE E – resultados das pressões.

Os dados de pressão do RAP.SSB.001 foram adquiridos por meio da simulação no EPANET e os dados selecionados para a análise da Vazão Mínima Noturna de cada um dos Distritos de Medição e Controle podem ser vistos na Tabela 5.3:

Tabela 5.3 - Pressão Média nos DMCs

Pressão Média (mca)					
HORA	DMC 02	DMC 06	DMC 08	DMC 13	RAP.SSB.001
00:00 - 01:00	18,00	19,00	34,32	23,16	24,50
01:00 - 02:00	18,00	19,50	35,28	23,11	24,65
02:00 - 03:00	18,00	20,00	35,48	23,22	24,30
03:00 - 04:00	18,00	20,00	35,36	23,36	24,30
04:00 - 05:00	18,00	20,00	34,93	23,33	24,24
05:00 - 06:00	18,00	21,50	33,80	23,20	23,97
06:00 - 07:00	17,50	25,50	32,64	23,17	24,09
07:00 - 08:00	17,50	28,00	32,32	22,99	23,83
08:00 - 09:00	17,50	27,50	31,97	22,89	23,77
09:00 - 10:00	17,00	27,50	31,57	22,94	23,53
10:00 - 11:00	17,00	27,00	30,74	22,47	23,23
11:00 - 12:00	17,00	27,00	29,88	21,87	23,57
12:00 - 13:00	17,00	27,50	30,20	21,82	23,81
13:00 - 14:00	17,00	27,50	30,64	22,33	23,88
14:00 - 15:00	17,50	27,00	31,10	22,58	23,88
15:00 - 16:00	18,00	26,50	31,26	22,52	23,53
16:00 - 17:00	17,50	26,50	30,51	22,07	23,49
17:00 - 18:00	17,00	26,50	29,98	21,79	23,35
18:00 - 19:00	17,00	26,00	29,33	22,03	23,28
19:00 - 20:00	17,00	25,00	29,33	22,46	23,61
20:00 - 21:00	17,50	21,00	30,99	22,55	23,70
21:00 - 22:00	17,50	21,00	33,41	22,32	23,95
22:00 - 23:00	17,50	19,00	36,54	22,72	24,00
23:00 - 00:00	18,00	19,00	38,52	23,03	24,22

5.2.8. Estimativa das Perdas Reais

A estimativa da Vazão Mínima Noturna foi realizada para quatro áreas: DMC 02, DMC 06, DMC 08 e DMC 13.

- **DMC 02**

Para a estimativa do nível de perdas reais no DMC 02, foram utilizados os dados de entrada da Tabela 5.4, bem como os dados de vazão da Tabela 5.1 e pressão da Tabela 5.3:

Tabela 5.4 - Dados de Entrada DMC 02

DMC 02	
nº de Habitantes	2.513
Extensão rede (km)	4,71
Ramais Pressurizados	458
FCI	3
N1	1,5

Para o DMC 02, os resultados gerados após os cálculos são apresentados na Figura 5.12 e Figura 5.13.

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:	0,33	PMS (mca): 17,5
Vazão mínima noturna - m³/h:	14,64	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	7,40%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m³/h:	1,08	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m³/h:	13,55	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	312	m³/dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{iwa}:	8	m³/dia
IVI:	39	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	681	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	2,76	(m³/h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	1,50	m³/hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	55,92%	%
Dens ligações:	97,24	lig/km rede

Figura 5.12 - Indicadores do DMC 02

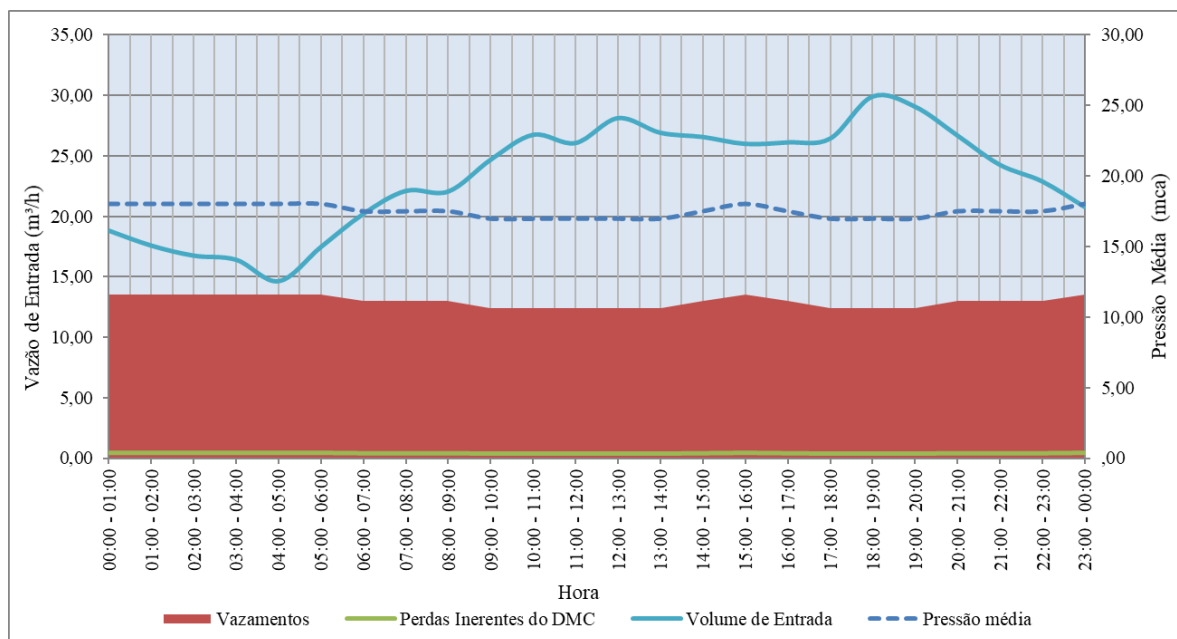


Figura 5.13 – Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 02

A partir dos dados, observa-se que a vazão mínima no DMC 02 acontece entre 04:00 e 05:00. Os resultados mostram uma quantidade de vazamentos significativa que ocorre no distrito, indicando que 55,92% da vazão de entrada seria perdida, enquanto os indicadores mostram que em torno de 312 m³ de água são perdidos diariamente em vazamentos.

Mesmo que o comportamento da vazão do DMC esteja dentro do padrão esperado, com um menor volume de entrada nos horários de menor consumo (madrugada) e uma maior vazão durante os horários de pico, a área é caracterizada por possuir uma pressão constante ao longo do dia. Isso acontece por conta da configuração da VRP que possui uma vazão a jusante de entre 17 e 18 mca, como indicam os dados. O reflexo desse comportamento da rede é que a quantidade de vazamentos (perdas reais) que ocorrem no DMC 02 é praticamente constante ao longo do dia.

A área do DMC 02 é marcada por possuir um grande volume de consumo não autorizado por conta da grande quantidade de ligações irregulares ao lado do distrito, que impactam diretamente o abastecimento e o funcionamento hidráulico da rede na localidade. Esse fator pode ter uma influência significativa na quantidade de perdas reais que ocorre na região, podendo esse valor de 55,92% de perdas reais estar mascarado pelo volume perdido nessas ligações irregulares que captam água da região (perdas aparentes).

- **DMC 06**

Para a estimativa do nível de perdas reais no DMC 06, foram utilizados os dados de entrada da Tabela 5.5, bem como os dados de vazão da Tabela 5.1 e de pressão da Tabela 5.3.

Tabela 5.5 - Dados de Entrada DMC 06

DMC 06	
nº de Habitantes	7.821
Extensão rede (km)	17,34
Ramais Pressurizados	2.073
FCI	3
N1	1,15

Para o DMC 06, os resultados gerados após os cálculos são apresentados na Figura 5.14 e Figura 5.15.

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m ³ /h:	1,97	PMS (mca): 24,0
Vazão mínima noturna - m ³ /h:	26,56	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	13,91%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m ³ /h:	3,70	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m ³ /h:	22,87	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	677	m ³ /dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{iwa}:	47	m ³ /dia
IVI:	14	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	326	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	1,63	(m ³ /h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	6,64	m ³ /hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	56,11%	%
Dens ligações:	119,55	lig/km rede

Figura 5.14 - Indicadores do DMC 06 para N1 igual a 1,15

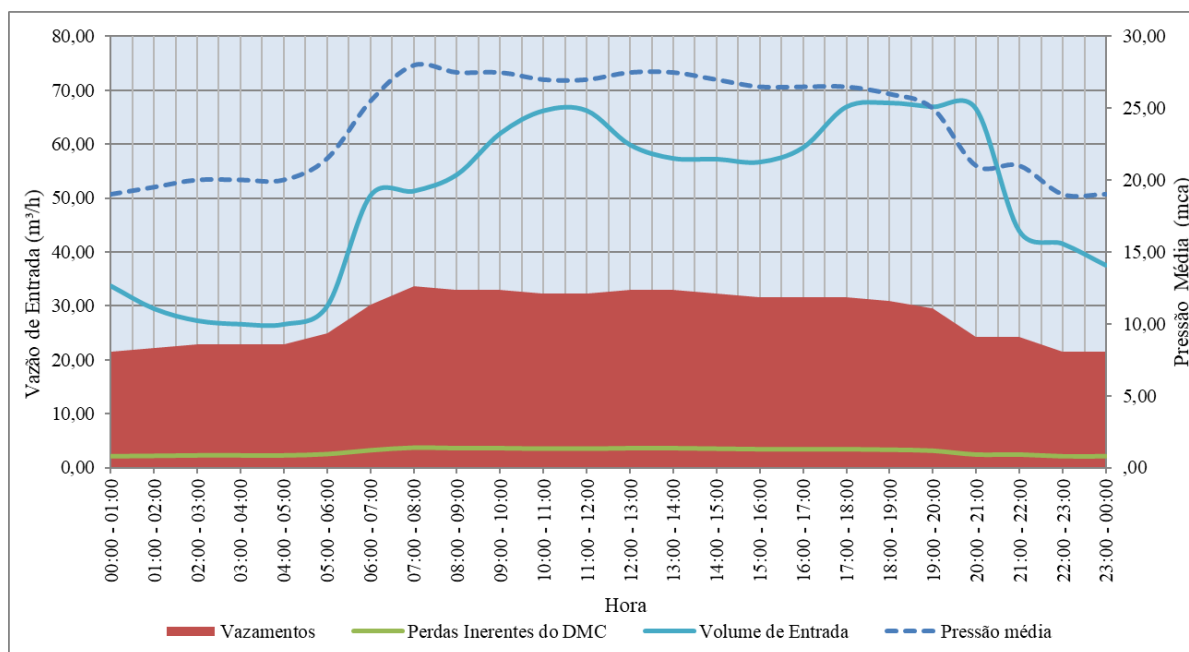


Figura 5.15 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 06 para N1 igual a 1,15

Como o valor de N1 para o DMC 06 recomendado pela literatura está em um intervalo entre 1 e 1,15, a estimativa das perdas reais pelo método da Vazão Mínima Noturna foi feita para dois valores de N1, para que pudesse ser realizada uma análise de sensibilidade quanto à variação do expoente. Por isso, também foram feitos os cálculos com todos os dados de entrada iguais, variando somente o valor de N1, que foi considerado igual a 1,05. Os resultados para um valor de N1 igual a 1,05 podem ser vistos abaixo (Figura 5.16 e Figura 5.17).

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m ³ /h:	1,97	PMS (mca): 24,0
Vazão mínima noturna - m ³ /h:	26,56	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	13,91%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m ³ /h:	3,70	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m ³ /h:	22,87	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	664	m ³ /dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{iwa}:	47	m ³ /dia
IVI:	14	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	320	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	1,59	(m ³ /h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	6,64	m ³ /hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	55,04%	%
Dens ligações:	119,55	lig/km rede

Figura 5.16 - Indicadores do DMC 06 para N1 igual a 1,05

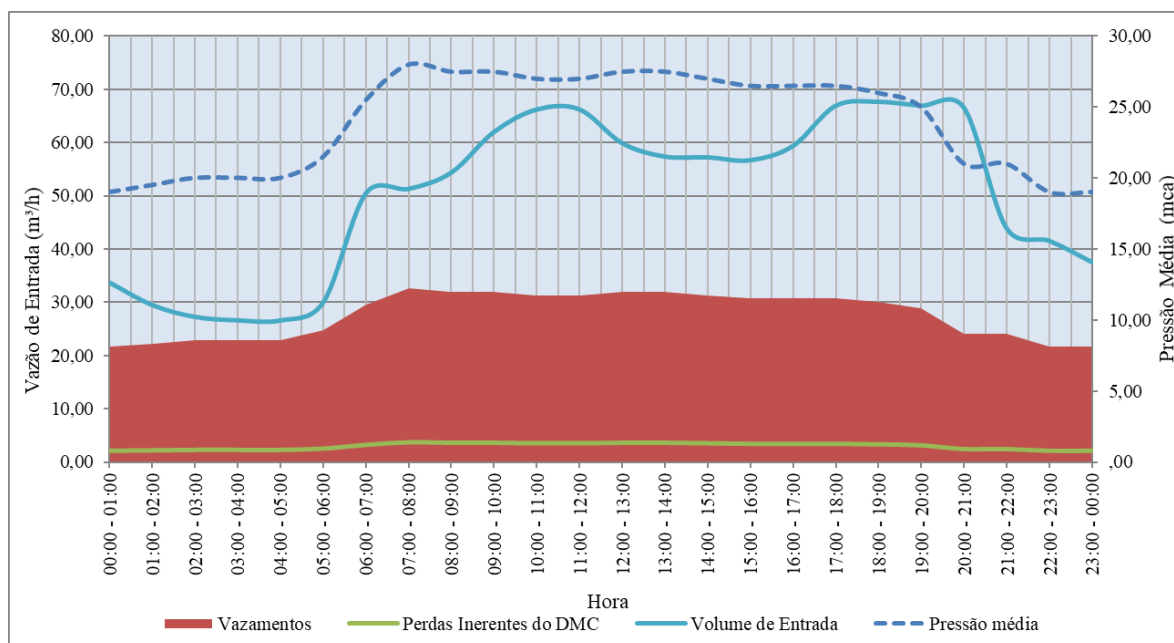


Figura 5.17 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 06 para N1 igual a 1,05

Assim como no DMC 02, o horário da menor vazão no DMC 06 é entre 04:00 e 05:00 AM. Os resultados mostram que 56,11% do volume de entrada do DMC é perdido em vazamentos, o que resulta em uma perda real diária de cerca de 677 m³ para um valor de N1 igual a 1,15. Já o valor de N1 igual a 1,05 tem como resultado uma perda real do volume de entrada igual a 55,04%, acarretando em uma perda diária de 664 m³. A análise de sensibilidade mostra uma diferença insignificante quanto à variação dos valores de N1.

O comportamento “atípico” que se observa no gráfico é decorrência da configuração da VRP, que tem uma regulagem chamada *day and night*, que controla a pressão a jusante com diferentes

valores durante o período do dia e da noite, o que explica o comportamento da vazão semelhante ao da pressão, e não o contrário, que se espera (vazão com um comportamento inverso ao da pressão). Portanto, nesse distrito, diferente do esperado, o maior volume de perdas reais ocorre em durante o dia, uma vez que o ajuste é feito para maiores pressões durante esse período. Assim como ocorre no DMC 02, a área adjacente ao DMC 06 é caracterizada por uma quantidade significativa de ligações irregulares, podendo influenciar no grande volume de perdas reais apontado pelo método.

- **DMC 08**

Para a estimativa do nível de perdas reais no DMC 08, foram utilizados os dados de entrada da Tabela 5.6, além dos dados de entrada de vazão da Tabela 5.1 e de pressão da Tabela 5.3.

Tabela 5.6 - Dados de Entrada DMC 08

DMC 08	
n° de Habitantes	5.535
Extensão rede (km)	10,83
Ramais Pressurizados	975
FCI	3
N1	1,15

Para o DMC 08, os resultados gerados após os cálculos são apresentados na Figura 5.18 e Figura 5.19.

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:	1,32	PMS (mca): 32,5
Vazão mínima noturna - m³/h:	36,10	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	6,56%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m³/h:	2,37	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m³/h:	33,73	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	735	m³/dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{iwa}:	32	m³/dia
IVI:	23	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	754	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	2,83	(m³/h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	4,63	m³/hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	65,46%	%
Dens ligações:	90,03	lig/km rede

Figura 5.18 - Indicadores do DMC 08 para N1 igual a 1,15

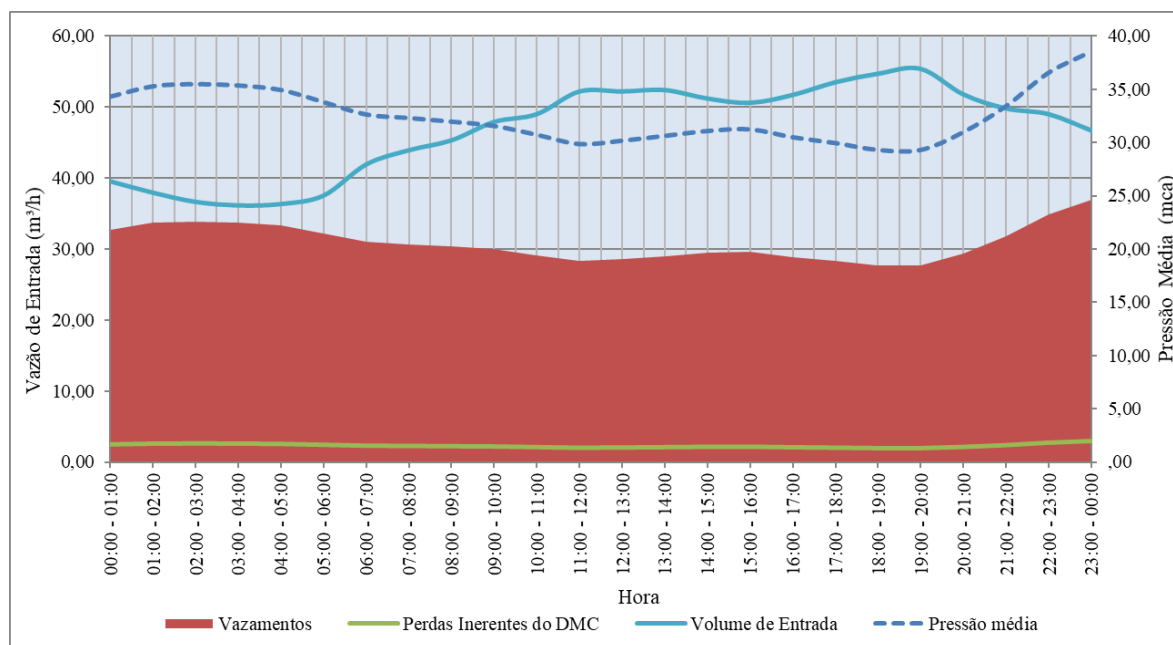


Figura 5.19 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 08 para N1 igual a 1,15

Assim como no DMC 06, a análise de sensibilidade com a variação de N1 igual a 1,15 para 1,05 não apresentou resultados significativos e, por isso, para a análise, foi utilizado o valor de N1 igual a 1,15 para o DMC 08. Diante dos dados, observa-se que a vazão mínima no DMC 08 ocorre entre 03:00 e 04:00 da manhã. O resultado dos cálculos para o DMC 08 para um N1 de 1,15 mostram uma perda real de água de 65,46%, o resulta em 735 m³ de água perdidos em vazamentos diariamente. Essa porcentagem é bastante significativa e, ao contrário dos DMCs 02 e 06, a área do DMC 06 não é característica de um lugar onde há uma grande quantidade de consumo não autorizado que já tenha sido identificado.

Os dados do DMC 08 mostram que a rede se comporta do modo tradicional com uma vazão que aumenta ao longo do dia e diminui no período noturno, com uma pressão com o comportamento inverso. Por isso, o maior volume de vazamentos na região ocorre no período da madrugada.

- **DMC 13**

Para a estimativa do nível de perdas reais no DMC 13, foram utilizados os dados de entrada da Tabela 5.7, bem como os dados de vazão da Tabela 5.1 e de pressão da Tabela 5.3:

Tabela 5.7 - Dados de Entrada DMC 13

DMC 13	
nº de Habitantes	2.003
Extensão rede (km)	3,37
Ramais Pressurizados	314
FCI	3
N1	1,5

Para o DMC 13, os resultados gerados após os cálculos são apresentados na Figura 5.20 e Figura 5.21.

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:	0,29	PMS (mca): 22,7
Vazão mínima noturna - m³/h:	1,91	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	43,88%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m³/h:	0,84	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m³/h:	1,07	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	25	m³/dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{Iwa}:	7	m³/dia
IVI:	3	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	78	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	0,30	(m³/h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	1,26	m³/hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	15,14%	%
Dens ligações:	93,18	lig/km rede

Figura 5.20 - Indicadores do DMC 13

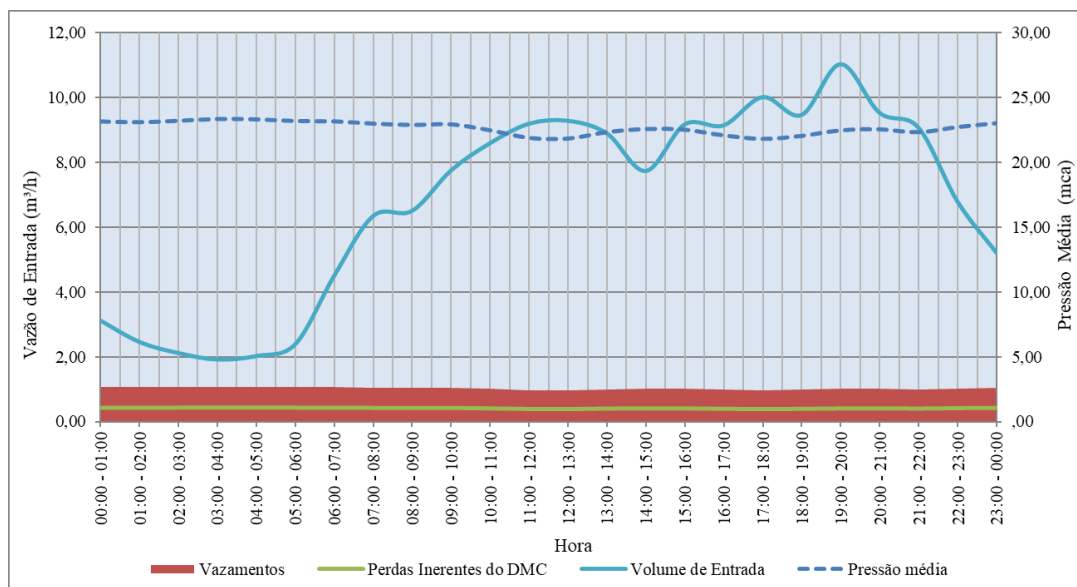


Figura 5.21 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do DMC 13

A menor vazão diária no DMC 13 ocorre entre 03:00 e 04:00 AM. Os cálculos através do método da Vazão Mínima Noturna mostram o DMC 13 como o menos problemático com relação às perdas reais quando comparado aos outros em estudo, sendo 15,14% da vazão de entrada perdida em vazamentos. O distrito possui uma perda real de cerca de 25 m³ de água por dia.

O comportamento observado no gráfico mostra que a VRP do DMC 13 é configurada para uma pressão de cerca de 22 mca a jusante ao longo de todo o dia e, por isso, o volume de vazamentos que ocorre ao longo do dia no distrito é praticamente constante.

- **RAP.SSB.001**

Como a estimativa das perdas reais para o DMC 06 e 08 onde foi feita a análise de sensibilidade mostra que a variação do valor de N1 de 1,15 para 1,05 não tem uma alteração relevante nos resultados, para o RAP.SSB.001, onde existem tubulações plásticas e de ferro, foi utilizado o valor de N1 igual a 1,15, dos dados de entrada da Tabela 5.8, da Tabela 5.1 e Tabela 5.3.

Tabela 5.8 – Dados de Entrada RAP.SSB.001

RAP.SSB.001	
nº de Habitantes	62.884
Extensão rede (km)	131,31
Ramais Pressurizados	10.113
FCI	3
N1	1,15

Para o RAP.SSB.001, os resultados gerados após os cálculos são apresentados na Figura 5.22 e Figura 5.23.

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m ³ /h:	10,39	PMS (mca): 23,9
Vazão mínima noturna - m ³ /h:	208,63	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	12,67%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m ³ /h:	26,44	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m ³ /h:	182,19	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS DIÁRIAS:	4.295	m ³ /dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS_{irwa}:	249	m ³ /dia
IVI:	17	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	425	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	1,36	(m ³ /h)/km rede
Menor Vazão Alcançável no DMC:	41,54	m ³ /hora
Perda Real % do Volume de Entrada:	52,90%	%
Dens ligações:	77,02	lig/km rede

Figura 5.22 - Indicadores do RAP.SSB.001

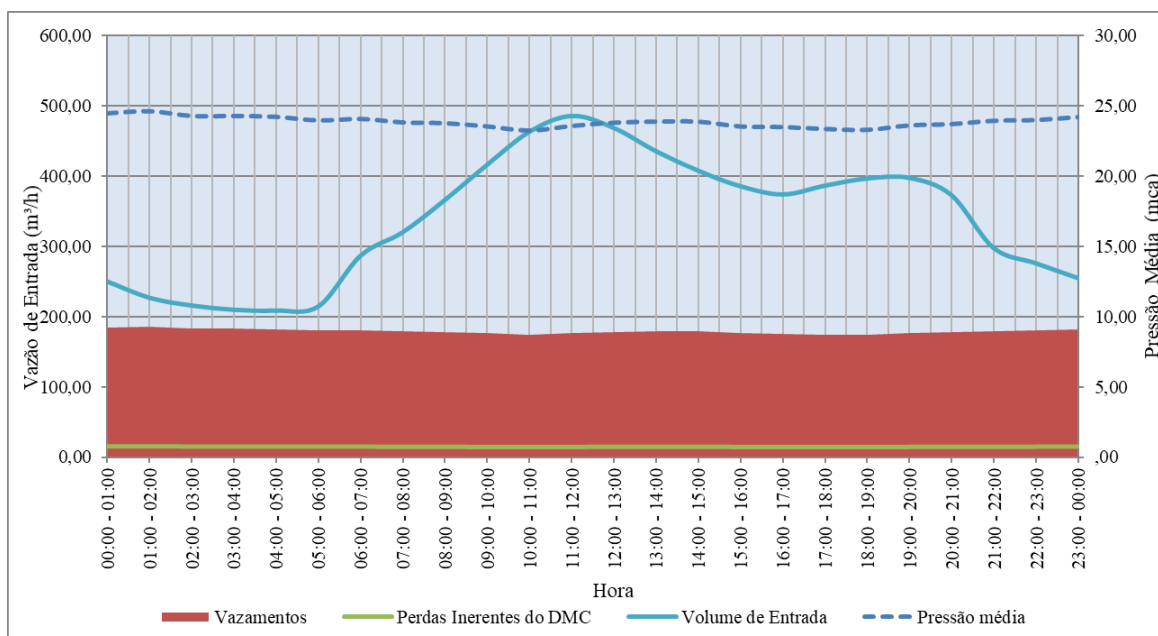


Figura 5.23 - Gráfico de Vazamentos, Perdas Inerentes, Volume de Entrada e Pressão Média do RAP.SSB.001

No RAP.SSB.001, a menor vazão diária ocorre entre 04:00 e 05:00 AM. Conforme as análises pelo método da Vazão Mínima Noturna, 52,90% da vazão que entra do reservatório é perdida em forma de vazamentos, o que significa cerca de 4.295 m³ por dia.

O comportamento hidráulico do reservatório configura um abastecimento comum, com a vazão maior ao longo do dia e menor durante o período noturno. No entanto, as pressões na área são controladas por VRPs e se comportam de forma constante ao longo do dia, assim como o volume de vazamentos. Esse padrão de pressão já é esperado na área do RAP.SSB.001, já que ela foi toda setorizada e tem válvulas que controlam a pressão de entrada em cada um dos Distritos de Medição e Controle.

A Tabela 5.9 traz um comparativo dos resultados encontrados nos métodos do Balanço Hídrico e da Vazão Mínima Noturna.

Tabela 5.9 - Comparativo Balanço Hídrico e Vazão Mínima Noturna

MÉTODO	BH	VMN
IVI	15	17
PRAC (m³/dia)	3.432	4.295
PRAI (m³/dia)	227	249
Perda Real em l/ramal/dia	336	425
Perda Real x Volume de Entrada (%)	38,89	52,90
Perda Total x Volume de Entrada (%)	45,19	-

A aplicação de cada uma das metodologias contém suas sensibilidades e incertezas. A análise das perdas reais no RAP.SSB.001 serve de base para a calibração do Balanço Hídrico, que aponta uma perda real de 38,89% da água que entra no reservatório. De acordo com o Balanço Hídrico, durante o período de julho de 2020 a junho de 2021 foi perdido um total de 1.252.521 m³ na rede de distribuição em forma de vazamentos. Conforme os cálculos realizados e os resultados no método da Vazão Mínima Noturna, são perdidos diariamente 4.295 m³ na área do RAP.SSB.001, o que resultaria em uma perda real anual de 1.567.675 m³.

As perdas totais contabilizadas no método do Balanço Hídrico resultaram em um volume de água perdido igual a 1.455.439 m³. Esse valor se aproxima mais do encontrado para a área do reservatório a partir do método da Vazão Mínima Noturna, o que pode ser resultado da combinação da subestimação das perdas aparentes no Balanço Hídrico - que considerou somente 1% das ligações como clandestinas e 1% de fraude - com as perdas aparentes mascaradas de reais pelo método da Vazão Mínima Noturna. Por isso, uma suposição para a diferença de valor entre os dois métodos seria as perdas reais calculadas na VMN estarem mais próximas às totais contabilizadas pelo BH, ainda subestimadas por conta do volume de perdas aparentes. Outra consideração a ser feita, é que, os resultados da VMN sofrem o efeito da sazonalidade e mudam de acordo com a época do ano e até mesmo conforme o dia da semana em que os dados foram medidos. No Balanço Hídrico, como os dados são de doze meses consecutivos, não há efeito dessa sazonalidade.

Com a análise dos dois métodos, ao ponderar que em um ano o volume de entrada na área do reservatório foi igual a 3.220.619 m³, é possível inferir que um valor entre 1/3 e 1/2 do volume que entra na área do RAP.SSB.001 é perdido em forma de perdas reais e aparentes.

- **Panorama Geral**

A Tabela 5.10 compara os indicadores e a estimativa de perdas reais encontradas para cada uma das áreas em análise pelo método da Vazão Mínima Noturna.

Tabela 5.10 - Indicadores e Resultados da VMN

ÁREA	DMC 02	DMC 06	DMC 08	DMC 13	RAP.SSB.001
PRAC (m³/dia)	312	677	735	25	4.295
PRAI (m³/dia)	8	47	32	7	249
IVI	39	14	23	3	17
Perdas Reais (L/ramal/dia)	681	326	754	78	425
Perdas Reais (m³/h/km rede)	2,76	1,63	2,83	0,30	1,36
Perda Real do Volume de Entrada (%)	55,92	56,11	65,46	15,14	52,90

As perdas reais que acontecem nas áreas em estudo calculadas pelo indicador PRAC sinalizam um grande volume de água desperdiçado na distribuição que é perdido na rede, nos ramais e/ou nos cavaletes. Observa-se uma diferença grande entre os indicadores PRAC e PRAI, que reflete diretamente nos altos valores de IVI, sinalizando que a situação das perdas reais nas áreas em estudo está longe do valor considerado ideal pela metodologia.

Partindo da classificação do desempenho de setores de abastecimento para países subdesenvolvidos de Kingdom *et al.*, o cenário das perdas reais no DMC 13 foi classificado como bom (IVI entre 1 e 4), caracterizando uma localidade onde a redução das perdas pode não ser economicamente viável. O DMC 06 foi classificado como ruim (IVI entre 8 e 16), sendo tolerável apenas se há água em abundância, no entanto, com necessidade de redução de perdas. As demais áreas analisadas foram classificadas como muito ruins (IVI maior que 16) - DMC 02, 08 e RAP.SSB.001 – localidades caracterizadas por um uso ineficiente de recursos, com necessidade de priorização de ações que reduzam as perdas.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), uma pessoa precisa de cerca de 110 litros de água por dia para satisfazer suas necessidades, isso quer dizer que o volume de água perdido em forma de vazamentos na área do RAP.SSB.001 (4.295 m³/dia) seria suficiente para abastecer em média 39 mil pessoas com esse padrão de consumo de 110 l/dia.

De modo geral, pode-se observar que a situação das áreas em estudo é preocupante e que uma grande parcela que entra no sistema é perdida em forma de vazamentos. Mesmo que o consumo irregular afete diretamente no funcionamento da rede e na quantidade de água perdida, 4 das 5 áreas em estudo apresentam um volume de perdas reais superior a 50% e, mesmo considerando o impacto das ligações irregulares nessa análise, o valor é significativamente alto para inferir que resultados tão ruins são fruto somente dessa irregularidade. Além disso, o Balanço Hídrico do Distrito Federal do ano de 2020 mostra um volume de perdas reais igual a 25,38% do volume de entrada, e, mesmo que esses valores sejam para todas as áreas do DF, é importante levar em consideração o fato das áreas em estudo possuírem valores de perdas reais mais de duas vezes maiores às perdas reais globais da CAESB.

Das áreas em análise, a única com uma avaliação das perdas reais razoável é a do DMC 13, distrito abastecido exclusivamente pelo REL-VDR.001, enquanto todas as áreas abastecidas pelo RAP.SSB.001 estudadas, incluindo a área total do reservatório, possuem um volume estimado de perdas reais acima de 50%.

Com relação à área total do RAP.SSB.001, que é composta pelos DMCs 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 e 08, é possível supor que a situação dos demais DMCs que não foram estudados (01, 03,

04, 05 e 07) é tão crítica quanto a dos analisados individualmente. Essa suposição é feita porque do volume total de perdas reais encontrado pelo método da Vazão Mínima Noturna, os DMCs 02, 06 e 08 totalizam 1.724 m³/dia, quando a perda encontrada no RAP.SSB.001 é igual a 4.295 m³/dia, sinalizando que cerca de 60% das perdas reais podem ocorrer nos outros DMCs (Figura 5.24).

Distribuição das Perdas Reais na área do RAP.SSB.001

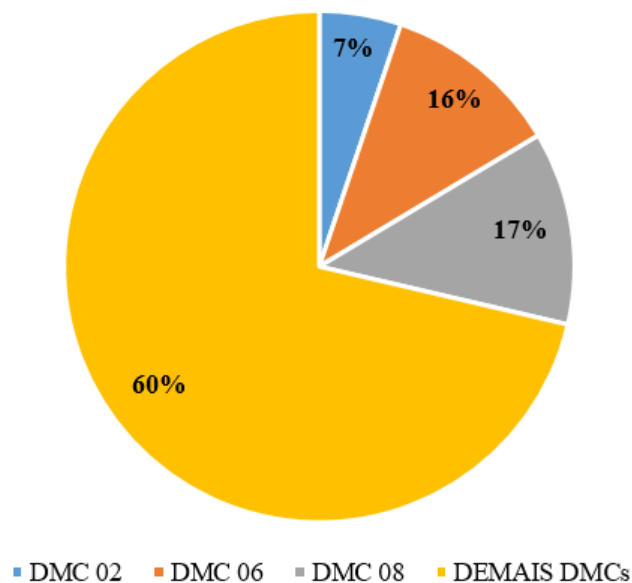


Figura 5.24 - Distribuição das Perdas Reais na área do RAP.SSB.001

O DMC 08 é o avaliado como a área em estudo com o pior estado quando se trata da quantidade de perdas reais. O número 65,48% por si só já é alarmante, mas essa situação é reforçada quando em termos de volume, a água perdida em vazamentos no DMC 08 é maior que no DMC 06 (distrito com maior número de ligações e extensão de rede em estudo), apontando o DMC 08 como o mais crítico entre os estudados. Além disso, o DMC 08 não possui uma área irregular extensa que poderia causar prejuízos ao abastecimento e influenciar nos resultados encontrados pela VMN, o que torna ainda mais preocupante os resultados encontrados.

É importante ressaltar que uma comparação percentual e de volume de perdas reais entre DMCs distintos precisa levar em consideração suas extensões de redes e números de ligações (densidade de ligações), pois, um DMC com maior extensão e maior número de ligações muito provavelmente apresentará um maior valor de perda reais.

Em 2018 foi realizado um estudo em um DMC da cidade de Zarqa, na Jordânia. Com uma população de 10.426 habitantes e 1.028 consumidores com 978 ligações, a área possui um valor de perdas reais com de cerca de 25% (WASHALI *et al.*, 2018). O valor do estudo está bem

abaixo do encontrado nos DMCs estudados em São Sebastião, o que reforça a preocupação a respeito da situação da RA. No entanto, é importante ressaltar que o valor das perdas reais através do método da Vazão Mínima Noturna depende de muitos fatores que impactam diretamente no resultado apontado pelo método, como a topografia do local, funcionamento do abastecimento, padrão de consumo, material da rede, etc., o que torna uma comparação de resultados na maioria das vezes, ineficiente.

Outro estudo de 2020 realizado na cidade de Sakarya, na Turquia, estudou a quantidade perdida no sistema de distribuição de água em seus Distritos de Medição e Controle. Dos 19 DMCs estudados, 5 possuem uma porcentagem de vazamentos acima de 50%, apenas 3 abaixo de 25%, enquanto os demais estão todos entre 30 e 50% de perdas reais com relação ao volume de entrada. Na localidade, o volume de água não faturada diminuiu de 71 em 2009 para 45% em 2019.

5.3. FATOR DE PESQUISA

O cálculo do Fator de Pesquisa foi realizado para cada um dos DMCs e para o RAP.SSB.001 (Tabela 5.11).

Tabela 5.11 – Resultado do Fator de Pesquisa

Fator de Pesquisa (%)						
DATA	DIA	DMC 02	DMC 06	DMC 08	DMC 13	RAP.SSB.001
23-fev	Terça	0,75	0,62	0,74	0,48	0,62
24-fev	Quarta	0,69	0,52	0,77	0,27	0,61
25-fev	Quinta	0,70	0,52	0,81	0,29	-
26-fev	Sexta	0,74	0,57	0,50	0,31	-
27-fev	Sábado	0,72	0,53	0,77	0,29	-
28-fev	Domingo	0,69	0,40	0,61	0,28	-
1-mar	Segunda	0,72	0,55	0,39	0,35	0,49
2-mar	Terça	x	x	0,88	x	0,59
VALOR MÉDIO		0,72	0,53	0,68	0,32	0,58

Na Tabela 5.11, os campos com “x” são aquelas áreas que não tiveram suas vazões medidas no dia, enquanto os preenchidos com “-” representam os dias onde a vazão foi registrada com alguma anormalidade, sendo eles desconsiderados por não condizerem com o verdadeiro comportamento de abastecimento da área.

De acordo com os valores referência da bibliografia, os resultados, de forma geral são classificados como preocupantes para os DMCs 02, 06, 08 e para o RAP.SSB.001. O DMC 13 foi o único a apresentar um resultado classificado como razoável e, por sua proximidade de valor, pode ser grosseiramente considerado como uma situação boa.

Esse resultado já era esperado conforme as análises realizadas a partir do método da Vazão Mínima Noturna, já que ambos refletem a mesma situação e indicam um índice de perdas reais preocupante em boa parte da área estudada.

Os resultados de todos os Distritos de Medição e Controle, bem como o do reservatório, apontam à conclusão que existem vazamentos economicamente detectáveis nas áreas, tornando viável a aplicação de pesquisa de vazamento não visível.

A relação entre as vazões médias e mínimas (analisada no Fator de Pesquisa) se torna alarmante quando se percebe que, em quatro das cinco situações, a vazão mínima é mais que 50% da média. Esse valor não indica necessariamente que metade da vazão que entra na área é perdida, mas que uma parcela significativa da vazão mínima se aproxima da média, alertando uma grande possibilidade de ocorrências de vazamentos na localidade estudada.

No caso do Fator de Pesquisa, é interessante que os resultados dos DMCs não sejam comparativos e sim analisados individualmente. Isso porque as áreas em estudos podem possuir condições infraestruturais muito distintas, permitindo que localidades com características diferentes apresentarem um valor de FP próximo ou similar.

5.4. IMPACTO DA SETORIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO CORRETIVA

Os dados do gráfico da Figura 5.25 mostram o desenvolvimento dos consertos na Região Administrativa de São Sebastião de 2016 a 2021. É importante frisar que os dados completos de 2021 foram feitos conforme uma estimativa, já que não existiam dados de todo o ano até o momento da coleta.

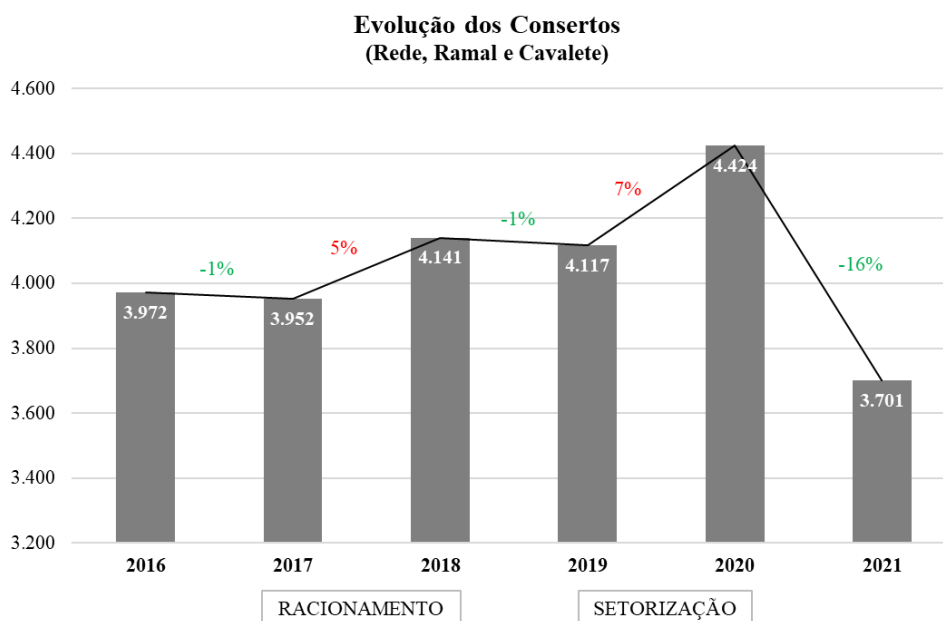


Figura 5.25 - Gráfico da Evolução dos Consertos em São Sebastião

Nota-se um aumento de 5% na quantidade geral de consertos de 2017 para 2018, que pode ter ocorrido por conta do racionamento de água em todo o Distrito Federal. Um sistema distribuidor de água não é projetado para que sua vazão seja constantemente interrompida, portanto, ao abrir e fechar muitas vezes uma rede, como ocorreu no racionamento, a rede além de sofrer um desgaste, passa por muitas alterações na pressão e no comportamento hidráulico, o que pode acarretar em um maior número de vazamentos, de forma geral. Ao fechar uma rede, ela é despressurizada e, quando colocada novamente em funcionamento, suas Válvulas Redutoras de Pressão ainda não estão em atividade plena, já que operam com uma regulação de pressão a montante, podendo também prejudicar as pressões e o funcionamento da rede. Por isso, a reabertura da rede e mau funcionamento das VRPs é um conjunto que acaba por desregular a pressão da rede, um dos principais fatores que influenciam na quantidade de vazamentos. Além disso, durante o racionamento ocorreram diversas adequações e remanejamentos no abastecimento, que pode também ter influenciado no aumento dos consertos nessa época.

Depois do fim do racionamento pôde ser notada uma estabilidade na quantidade de consertos, com uma diminuição de 1% do ano de 2018 para 2019. No entanto, de 2019 para 2020 nota-se um aumento expressivo de 7%. Imagina-se que esse aumento dos consertos na região de São Sebastião ocorreu por conta das obras de setorização. Como as mudanças na rede de distribuição afetam diretamente o funcionamento do sistema com remanejamentos, interrupções de abastecimento, mudanças de configurações nas válvulas, despressurizações, etc. espera-se um aumento no número de consertos, que é causado pela grande quantidade de mudanças no comportamento da rede.

No ano de 2021, após a setorização da área, pode-se observar uma redução bastante expressiva na quantidade de consertos na região, o que pressupõe que isso tenha influência das obras de setorização, que melhoraram a distribuição da água e controlaram a pressão da região, além de melhorarem a infraestrutura da distribuição com troca de redes e ramais. No entanto, mesmo com uma queda expressiva quando se tratam de números, São Sebastião segue como a Região Administrativa com a maior quantidade de consertos da Área Centro-Norte do Distrito Federal, totalizando 2.743 até o dia 27/09/2021, enquanto a RA que está como segunda colocada, tem 1.919 consertos, cerca de 30% a menos.

No gráfico da Figura 5.26 pode-se notar em qual parte da distribuição ocorreram a maior parte desses consertos (rede, ramal ou cavalete) e observa-se o comportamento de cada um deles ao longo dos anos.

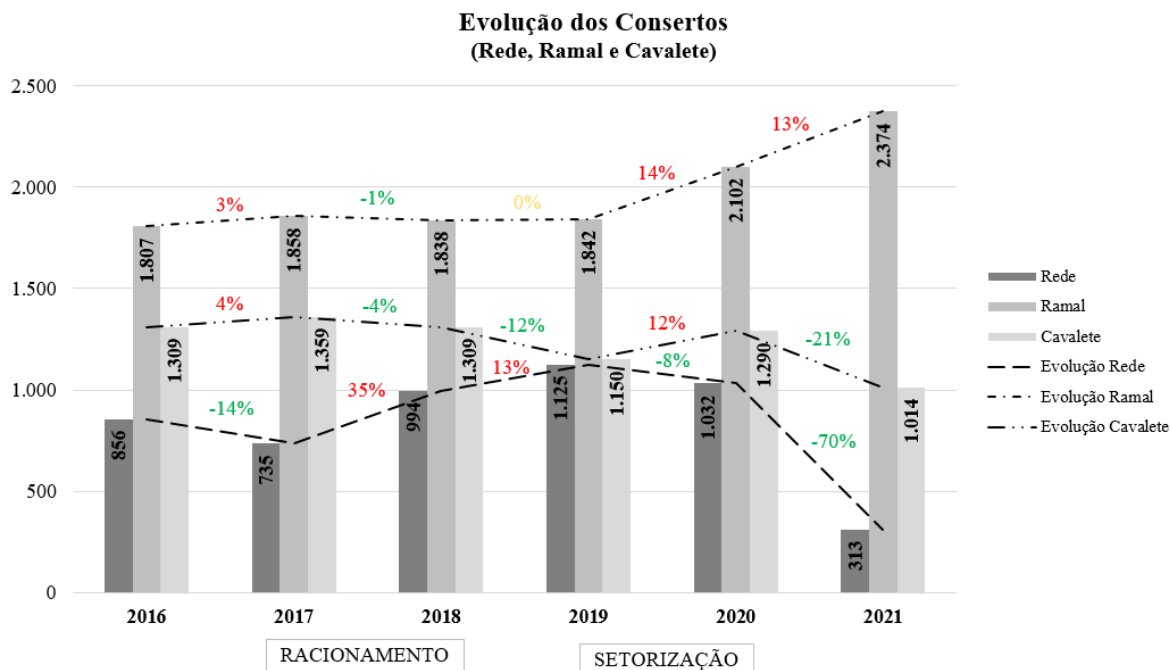


Figura 5.26 - Gráfico da Evolução dos Consertos de Rede, Ramal e Cavalete em São Sebastião

Com a análise do gráfico acima, pode-se observar a predominância dos consertos em ramais em decorrência das redes e dos cavaletes. É possível notar que as obras de setorização tiveram um impacto significativo quando se trata da quantidade de consertos em redes e cavaletes, apresentando uma redução de 70 e 21%, respectivamente, indicando uma melhora nas condições de operação da rede. No entanto, observa-se um aumento no número de consertos em ramais de 14%. Uma hipótese para a causa desse acréscimo é que a substituição das redes pode ter afetado negativamente os ramais que não estavam em uma boa condição de operação. Além disso, dentre as pendências das obras de setorização, está a substituição dos ramais, que não foram totalmente trocados e estão sendo mudados aos poucos pela companhia, caracterizando uma rede com ramais antigos em carga, que favorecem a ocorrência de vazamentos.

Também foi feita uma análise da evolução considerando os anos de 2016 a 2021, examinando somente os dados do período de junho a outubro. Esse período foi selecionado para confirmar o comportamento da estimativa feita para o ano de 2021, além de ser usado como uma tentativa de comparação dos anos onde não há interferência nesse período (2016, 2018 e 2021). A quantidade de consertos pode ser vista na Figura 5.27, enquanto a especificação da localidade (rede, ramal ou cavalete) pode ser vista na Figura 5.28.

**Evolução dos Consertos
(Rede, Ramal e Cavalete)
JUNHO-AGOSTO**

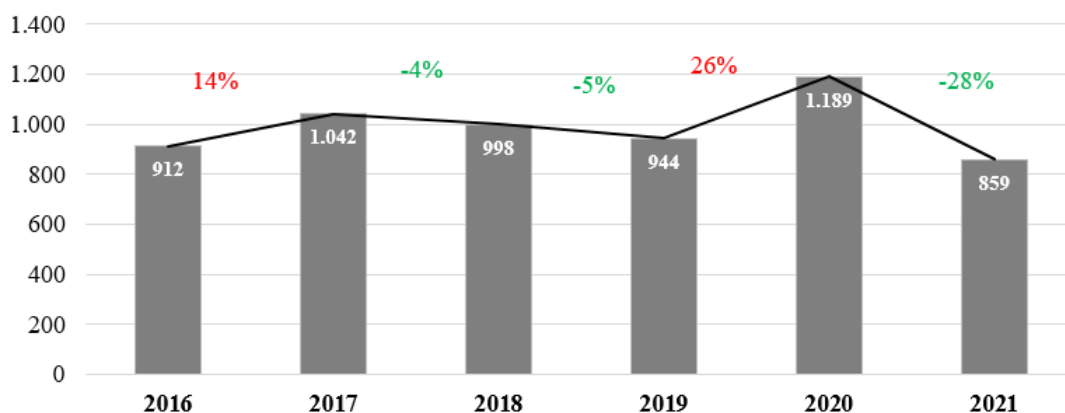


Figura 5.27 - Evolução dos Consertos em São Sebastião no Período de Junho a Agosto

**Evolução dos Consertos
(Rede, Ramal e Cavalete)
JUNHO-AGOSTO**

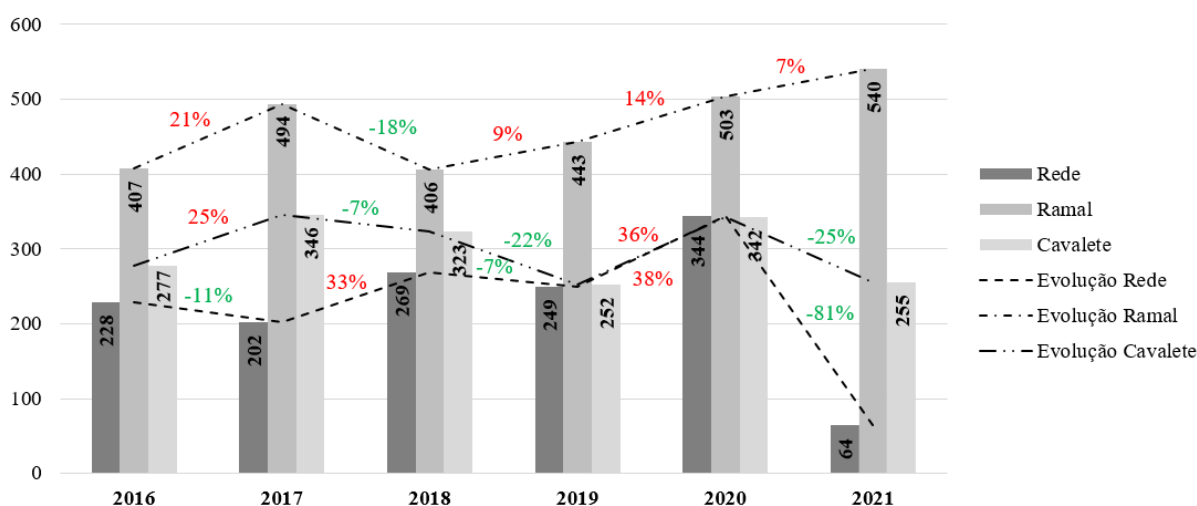


Figura 5.28 - Gráfico da Evolução dos Consertos de Junho a Agosto

Com relação aos dados, pode-se observar que a estimativa do número de consertos totais feita para o ano de 2021 faz sentido, já que entre junho e agosto desse ano nota-se uma redução de consertos significativa nas redes e cavaletes com relação ao ano de 2020, bem como um acréscimo no número de consertos de ramais.

A Figura 5.29 mostra em forma de gráfico a distribuição da quantidade de consertos em cada um dos elementos da rede: na própria, nos ramais ou nos cavaletes. Diante dele, é possível observar que as manutenções corretivas e, conseqüentemente, os vazamentos, ocorrem majoritariamente nos ramais, que representam 64,14% dos consertos, enquanto os cavaletes

27,40% e as redes 8,46%. No entanto, é importante ressaltar que os vazamentos em redes são mais expressivos em termos de volume e, em um mesmo intervalo de tempo, ocorre uma perda de água maior do que em ramais ou cavaletes, porém, os vazamentos em redes são mais facilmente detectados, enquanto os vazamentos em nos ramais, mesmo que menos expressivos em termos volumétricos, podem representar uma grande perda de água ao longo do tempo, já que são mais dificilmente detectados, tornando-os muitas vezes mais representativos que aqueles que ocorrem nas tubulações.

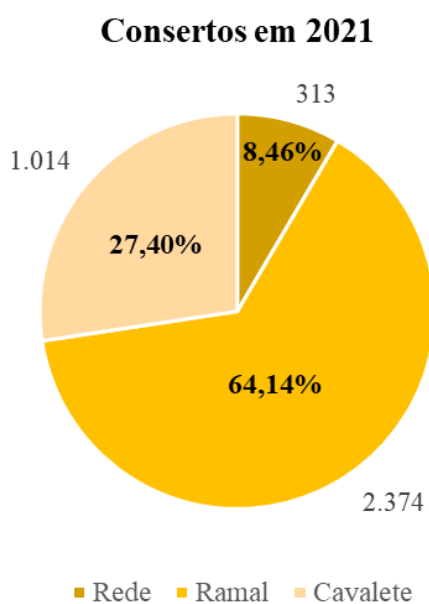


Figura 5.29 - Distribuição dos Consertos em 2021

A quantidade de manutenções corretivas em ramais sugere que a área possui muitos vazamentos (perda real) nesse elemento da rede de distribuição, apontando a necessidade de realização de pesquisas de vazamentos não visíveis na localidade como uma forma de controle passivo e mitigação da quantidade de perdas reais de água nos ramais.

De acordo com as proporções dos dados, é possível inferir que provavelmente o maior volume de vazamentos ocorre nos ramais, que, mesmo que pouco expressivos a curto prazo, a longo prazo representam um grande volume de perdas reais.

Também foi feita uma análise dos setores que compõe a área de estudo completa (RAP.SSB.001) para entender o comportamento deles quanto ao número de consertos após a setorização. A quantidade de consertos pode ser vista na Figura 5.30 e Figura 5.31.

Setores RAP.SSB.001	Consertos	2016	2017	2018	2019	2020	2021 até 21/09	2021 estimado
Setor Residencial Oeste	Rede	163	111	268	267	235	23	32
	Ramal	342	359	484	418	362	268	372
	Cavalete	334	334	349	289	293	181	251
	TOTAL	839	804	1.101	974	890	472	655
Centro	Rede	101	118	185	231	160	27	37
	Ramal	172	226	218	166	242	264	366
	Cavalete	130	113	153	143	151	97	135
	TOTAL	403	457	556	540	553	388	538
Setor Tradicional	Rede	58	89	95	113	84	11	15
	Ramal	131	194	149	153	177	162	225
	Cavalete	67	83	70	73	89	48	67
	TOTAL	256	366	314	339	350	221	307
Morro Azul	Rede	44	34	67	53	53	2	3
	Ramal	118	135	103	103	132	88	122
	Cavalete	63	59	59	52	59	39	54
	TOTAL	225	228	229	208	244	129	179
João Cândido	Rede	37	11	11	18	17	2	3
	Ramal	48	21	31	21	27	21	29
	Cavalete	34	36	29	22	24	12	17
	TOTAL	119	68	71	61	68	35	49
Vila do Boa	Rede	7	15	15	17	15	5	7
	Ramal	42	54	46	59	45	31	43
	Cavalete	54	83	61	44	47	18	25
	TOTAL	103	152	122	120	107	54	75
São Bartolomeu	Rede	5	3	15	12	15	3	4
	Ramal	53	59	98	86	32	27	37
	Cavalete	23	39	54	33	39	12	17
	TOTAL	81	101	167	131	86	42	58
Bonsucesso	Rede	6	2	2	6	0	1	1
	Ramal	17	15	16	32	19	15	21
	Cavalete	11	16	10	7	6	7	10
	TOTAL	34	33	28	45	25	23	32
Del Rey	Rede	1	0	1	1	0	2	3
	Ramal	7	5	4	7	9	0	0
	Cavalete	0	3	5	2	0	4	6
	TOTAL	8	8	10	10	9	6	8
Vila Vitória	Rede	1	0	1	1	4	1	1
	Ramal	1	5	6	9	8	11	15
	Cavalete	4	2	6	1	2	12	17
	TOTAL	6	7	13	11	14	24	33

Figura 5.30 - Consertos nos Setores do RAP.SSB.001

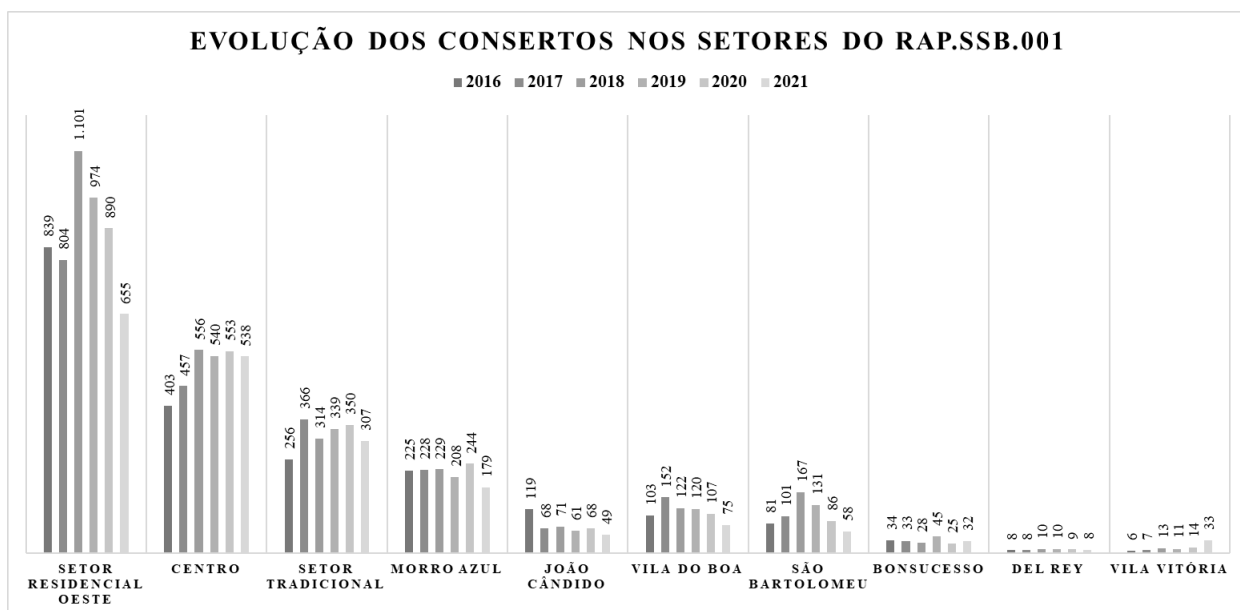


Figura 5.31 - Evolução dos Consertos nos Setores do RAP.SSB.001

Em termos de manutenção corretiva e quantidade de consertos, ao voltar o olhar para cada um dos setores que compõem a área do RAP.SSB.001, nota-se uma mudança muito pouco expressiva com relação aos anos anteriores. O Setor Residencial Oeste, que faz parte do DMC 08 apresentou uma melhora significativa em números gerais, bem como o Morro Azul, setor que também compõe o DMC 08. No Setor Tradicional, do DMC 06, observa-se uma leve melhora na quantidade de ordens de serviço, no entanto, a quantidade de manutenções ainda é superior ao ano de 2016. A Vila do Boa, área do DMC 02 também apresentou uma leve melhora em sua quantidade de consertos, enquanto a área do DMC 13, Del Rey, apresentou estabilidade e a Vila Vitória uma piora.

Em um panorama geral, o impacto da setorização na quantidade de manutenção corretiva foi muito pouco expressivo, não apresentando uma diferença significativa nos setores que compõem os DMCs em estudos nem os setores do RAP.SSB.001. O reflexo disso é que, mesmo com uma melhora significativa na quantidade de consertos de redes e cavaletes, a Região Administrativa de São Sebastião segue em primeiro lugar na quantidade de manutenções da Área Centro-Norte do Distrito Federal.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante da aplicação dos métodos para o estudo da situação das perdas de água no sistema distribuidor de São Sebastião para as áreas do RAP.SSB.001 e dos DMCs 02, 06, 08 e 13, os três métodos utilizados (Balanço Hídrico, Vazão Mínima Noturna e Fator de Pesquisa), mesmo que com resultados distintos, apontam para uma situação crítica com relação às perdas de água na distribuição das regiões estudadas, principalmente tratando-se perdas reais.

O cenário apresentado do Balanço Hídrico mostra uma realidade de perdas totais - incluindo aparentes e reais - iguais a 45,19% do volume de água disponibilizado pelo RAP.SSB.001 para abastecimento da sua área. Esse percentual está 12,67% acima do valor de perdas totais globais do Distrito Federal, o que aponta para uma situação de perdas mais crítica do que para a maior parte das Regiões Administrativas.

Os resultados da estimativa das perdas reais pelo método da Vazão Mínima Noturna apontam para um cenário onde mais da metade do volume de água que entra nos DMCs 02, 06 e 08 são perdidas em forma de vazamentos, bem como no RAP.SSB.001. A área com melhores estimativas encontradas foi a do DMC 13, abastecida pelo REL.VRD.001. Com todos os resultados superiores ao considerado como bom pela literatura (0,3), o cálculo do Fator de Pesquisa reforça a problemática das perdas reais diante da realidade da área estudada, com quatro das cinco localidades com uma relação entre a vazão mínima e média acima de 0,5.

As análises feitas para ponderar o impacto da setorização na quantidade de manutenções corretivas mostram que as mudanças na área tiveram um efeito positivo com relação a esses números, com uma estimativa de redução de cerca de 16% de consertos até o final de 2021 em relação a 2020. Esses resultados supõem uma redução do volume de água perdido em forma de vazamentos, já que as manutenções corretivas são aquelas que consertam os vazamentos nas redes, ramais e cavaletes. No entanto, esse valor pode indicar que a situação das perdas em São Sebastião poderia ser ainda mais alarmante antes da divisão da RA em DMCs, pois, mesmo com uma melhora significativa na quantidade de consertos, o volume de água perdido ainda é muito grande.

Os resultados da análise das manutenções corretivas também apontam para onde a companhia deve direcionar o seu foco para tentar mitigar o problema em termos infraestruturais. Mesmo com a redução em um panorama geral, o número de consertos em ramais subiu cerca de 13% de 2020 para 2021, indicando que o caminho para a redução das perdas na região envolve um estudo mais a fundo para descobrir o que pode estar causando esse aumento para, a partir de aí propor uma solução.

Como sugestões para trabalhos futuros, ressalta-se a importância dos demais Distritos de Medição e Controle da área serem avaliados, bem como a localidade abastecida pelo RAP.SSB.002. Além disso, é necessário o entendimento de que a avaliação das perdas não é um trabalho pontual, e por isso, recomenda-se a reavaliação e o acompanhamento das áreas estudadas neste trabalho, possibilitando futuras análises comparativas do impacto de ações que possam ser implementadas para mitigar a situação crítica da região. Sugere-se também a realização de pesquisas de vazamentos não visíveis na localidade, bem como o estudo da necessidade de substituição de ramais na região, além da definição de uma metodologia pela companhia para a melhor estimativa das perdas aparentes e um estudo mais detalhado da quantidade de fraudes e ligações clandestinas da região.

Deve-se ressaltar que a tomada de decisão de qualquer medida para mitigação das perdas pressupõe um prévio conhecimento e entendimento do problema a ser enfrentado em conjunto à realização de um bom diagnóstico que direcione à companhia um ponto focal. Ademais, é fundamental o comprometimento da CAESB quanto às ações e planos que possam futuramente amenizar o problema, considerando que a redução das perdas não é de responsabilidade de um grupo isolado e sim da prestadora de serviços como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. *Painéis Interativos – Consumo de Água Tratada.*

Disponível: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2QwOWU0Y2YtZTY5My00ZWnkLWE2MDQtMGM1MDc1MjEzZTgxliwidCI6IjczZGJmMTMyLWE0YTQtNDkwMy1hYzI2LWJiMjhmY2Y3NDdhNCJ9>> Acesso em: maio de 2021.

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. *Acompanhamento das ações da Caesb para controle e redução de perdas de água.* Disponível: <https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/fiscalizacao/fiscalizacao_direta/Perda_de_Agua/Relatorio_Tecnico_Perdas.pdf> . Acesso em: outubro de 2021.

AESBE – Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento. (2015). *Série Balanço Hídrico: Guias Práticos.* 1-6.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.* Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). *NBR 12218: Confiabilidade e manutenibilidade.* Rio de Janeiro.

AL-Washali, T. Sharma, S. AL-Nozaily, F. Haidera, M. Kennedy, M. (2018). "Modelling the leakage rate and reduction using minimum night flow analysis in an intermittent supply system". *Water (Switzerland)*, 11(1), 48, 15 p.

BRASIL. Portaria n.º 888/MS/GM, de 04 de Maio de 2021. *Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 07 de maio de 2021.

Brito, A. J. (2012). *Métodos para Estimativas de Perdas Reais em Rede de Abastecimento de Água: Estudo de Caso – Residencial Domingos Sávio Brandão*. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT.

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Disponível: <<https://www.caesb.df.gov.br/>> Acesso em: maio de 2021.

CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Disponível: <<https://www.codeplan.df.gov.br/>> Acesso em: setembro de 2021.

Fallis, P. Ziegler, D. Sorg, F Hübschen, K. al. (2011). “Guidelines for Water Loss Reduction – A Focus on Pressure Management”. *Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*. 236 p.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. (2014). *Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água*. Ministério da Saúde. 2, 172 p.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. (2004). *Manual de saneamento*. Ministério da Saúde. 3, 36 p.

FUNDACE – Fundação para Pesquisa e Desenvolvimento da Administração, Contrabilidade e Economia. (2013). *Perdas de água: entraves ao avanço do saneamento básico e agravamento à escassez hídrica no Brasil*. São Paulo.

Gentil, B. B., Pretto, L.S., Zschornack, T. (2019). “Priorização das Pesquisas de Vazamento através da Gestão das Vazões Mínimas Noturnas”. 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1, 13 p.

Gonçalves, E. (1998). *Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – estudos de casos da Caesb*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Itonaga, L.C.H. (2005). *Estudo da aplicação de modelos de redes de água no controle de perdas em casos reais*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Heller L.; Pádua V.L. (2010). *Abastecimento de água para consumo humano*. Ed. 2, Belo Horizonte, Minas Gerais.

Kiliç R. (2020). “The Strategic Development for Water Loss Prevention”. *Appl Water Sci*, 28 (1), 11 p.

Kingdom, W.; Liemberg R.; Marin, P. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries – How to Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting*. Washington, District of Columbia.

Marunga, A., Hoko, Z., Zaseke, E. (2006). “Pressure Management as a Leakage Reduction and Water Demand Management Tool: The Cause of the City of Mutare, Zimbabwe”. *Science Direct*. 1, 8 p.

Marzola, I.; Alvisi, S.; Frenchini, M. (2020). “Minimum Night Flow Analysis and Application of the Fixed and Variable Area Discharges Model for Characterizing Leakage in the Gorino Ferrarese (FE-Italy) District”. *Environmental Sciences Proceedings*, 2 (1), 8, 8 p.

Melato, D.S. (2010). *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 de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Miranda, E.C. (2002). *Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água – Indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade*. Brasília, DF. Disponível em: <www.pthard.unb.br>. Acesso em: abril de 2021.

Morrison, J.; Tooms, S.; Rogers, D. (2007). DMA Management Guidance Notes. *IWA Water Loss Task Force*. 100 p.

Motta, R.G. (2010). *Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Moura, E.M.; Dias, I.C.S; Silva, J.S; Silva, F.C. (2004). “Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas” *IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento de Água*. 15 p.

Nilton, Z. (2009). *Equipamentos e metodologias para controle de perdas em sistema de abastecimento de água*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. (2003). *DTA – Documento técnico de apoio n° D2, MACROMEDIÇÃO*. Brasília, Distrito Federal.

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. (2007). *Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água: Guias Práticos*. 1-5.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home.html>> Acesso em: maio de 2021.

Santonastaso, G.F.; Nardo, A.; Natale, M.; Tzatchzov, V. (2020). “Pressure management of water distribution networks based on minimum ground elevation difference of DMAs”. *Environmental Sciences Proceedings*, 2 (1), 47, 7 p.

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. *Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto*. Disponível: <<http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico-SNIS-AE-2019-Capitulo-08.pdf>>. Acesso em: outubro de 2021.

Tardelli Filho, J. (2006). Controle e redução de perdas. In: Tsutiya, M. T. *Abastecimento de água*. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Trata Brasil. (2020). *Perdas de Água 2020 (SNIS 2018): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico*. São Paulo, São Paulo.

Tsutiya, M.T. (2006). *Abastecimento de água*. Ed. 3, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

APÊNDICE A – DADOS PARA O BALANÇO HÍDRICO

Ano Mês	Poligonal	Volume Água Faturado Não Consumido (VFATnc) (m³)	Volume Água Faturado Medido (VFATm) (m³)	Volume Água Faturado Não Medido (VFATnm) (m³)	Volume Água Não Faturado Medido (m³)	Volume Água Não Faturado Medido (VANFm) (m³)	Volume de Consumo Próprio (m³)	Volume Abasteciment os Emergências (Faturado) (m³)
JUL/2020	RAP.SSB.001	2.340,00	116.789,00	20,00	168,00	171,00	3,00	0,00
AGO/2020	RAP.SSB.001	1.026,00	120.403,00	20,00	427,00	431,00	4,00	741,13
SET/2020	RAP.SSB.001	1.282,00	122.766,00	20,00	132,00	135,00	3,00	911,99
OUT/2020	RAP.SSB.001	927,00	127.177,00	20,00	362,00	366,00	4,00	998,80
NOV/2020	RAP.SSB.001	1.531,00	119.908,00	20,00	134,00	141,00	7,00	1.118,70
DEZ/2020	RAP.SSB.001	955,00	115.075,00	20,00	42,00	47,00	5,00	0,00
JAN/2021	RAP.SSB.001	1.568,00	122.769,00	20,00	20,00	26,00	6,00	1.122,28
FEV/2021	RAP.SSB.001	1.106,00	111.651,00	20,00	560,00	567,00	7,00	339,07
MAR/2021	RAP.SSB.001	770,00	117.199,00	20,00	217,00	225,00	8,00	36,30
ABR/2021	RAP.SSB.001	77,00	117.804,00	30,00	180,00	185,00	5,00	70,13
MAI/2021	RAP.SSB.001	5.359,00	121.338,00	20,00	1.252,00	1.257,00	5,00	77,28
JUN/2021	RAP.SSB.001	1.355,00	118.071,00	20,00	320,00	326,00	6,00	26,40

Figura A.1 - Dados para o Balanço Hídrico (CAESB, 2021)

Volume Abastecimentos Emergências (Não Faturado) (m³)	Volume Água Não Faturado Não Medido (VANFnm) (m³)	Volume de Esvaziamento e Limpeza da Rede de Água para Reparos (m³)	Volume de Áreas Irregulares (m³)	Volume de Fraude (m³)	Volume de Consumo Não Autorizado (VPAPna) (m³)	Volume de Ligações Clandestinas (m³)	Volume de Perdas por Submedição em Hidrômetros (VPAPs) (m³)	Volume de Vazamento nas Redes (VPREredes) (m³)
720,77	28.603,14	1.212,20	26.616,00	1.751,84	5.161,02	3.409,18	13.092,88	24.382,83
0,00	27.449,56	27,17	26.616,00	1.806,05	5.216,59	3.410,54	13.392,47	25.771,16
0,00	27.565,68	0,00	26.616,00	1.841,49	5.266,99	3.425,50	13.422,67	23.566,40
0,00	27.675,22	0,00	26.616,00	1.907,66	5.320,24	3.412,58	13.136,74	25.314,59
0,00	27.999,91	226,11	26.616,00	1.798,62	5.215,28	3.416,66	11.784,22	22.620,24
0,00	26.616,00	0,00	26.616,00	1.726,13	5.144,83	3.418,70	11.157,36	27.932,69
0,00	28.326,05	506,92	26.616,00	1.841,54	5.264,32	3.422,78	11.566,23	26.009,34
0,00	27.743,25	728,05	26.616,00	1.674,77	5.103,67	3.428,90	10.374,67	23.123,32
0,00	27.057,42	358,72	26.616,00	1.757,99	5.189,95	3.431,96	10.476,76	28.759,24
0,00	27.332,20	574,43	26.616,00	1.767,06	5.200,72	3.433,66	10.320,60	27.850,26
0,00	26.827,61	72,31	26.616,00	1.820,07	5.254,75	3.434,68	10.685,16	26.816,42
25,85	26.906,29	205,55	26.616,00	1.771,07	5.209,49	3.438,42	10.299,20	32.368,45

Figura A.2 - Dados para o Balanço Hídrico (CAESB, 2021)

Volume de Vazamentos em Ramais Prediais até o Hidrômetro (VPREramais) (m³)	Volume Água Faturado (VFAT) (m³)	Volume de Água Não Faturado (VANF) (m³)	Volume de Água de Consumo Autorizado Faturado (VCAUf) (m³)	Volume de Água de Consumo Autorizado Não Faturado (VCAUnf) (m³)	Volume de Água de Consumo Autorizado Total (VCAU) (m³)	Volume Distribuído (VDIS) (m³)	Volume de Fonte Própria (VFPR) (m³)	Qtde. de Ramais Pressurizados (unidades)	Qtde. de Dias no Mês
97.531,33	119.149,00	142.326,20	116.809,00	2.158,14	118.967,14	259.135,20	259.135,20	10.027	31
103.084,64	121.449,00	148.729,42	120.423,00	1.264,56	121.687,56	269.152,42	269.152,40	10.031	31
94.265,58	124.068,00	137.606,32	122.786,00	1.084,68	123.870,68	260.392,32	260.392,30	10.075	30
101.258,35	128.124,00	146.455,13	127.197,00	1.425,22	128.622,22	273.652,13	273.652,10	10.037	31
90.480,95	121.459,00	131.625,60	119.928,00	1.524,91	121.452,91	251.553,60	251.553,60	10.049	30
111.730,77	116.050,00	156.012,65	115.095,00	47,00	115.142,00	271.107,65	271.107,70	10.055	31
104.037,34	124.357,00	148.613,27	122.789,00	1.736,05	124.525,05	271.402,27	271.402,30	10.067	31
92.493,26	112.777,00	132.789,16	111.671,00	1.694,25	113.365,25	244.460,16	244.460,20	10.085	28
115.036,96	117.989,00	160.129,32	117.219,00	666,42	117.885,42	277.348,32	277.348,30	10.094	31
111.401,06	117.911,00	155.673,84	117.834,00	901,20	118.735,20	273.507,84	273.507,80	10.099	30
107.265,67	126.717,00	151.490,61	121.358,00	1.468,61	122.826,61	272.848,61	272.848,60	10.102	31
129.473,81	119.446,00	177.967,24	118.091,00	616,29	118.707,29	296.058,24	296.058,20	10.113	30

Figura A.3 - Dados para o Balanço Hídrico

APÊNDICE B – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS MACROMEDIDORES

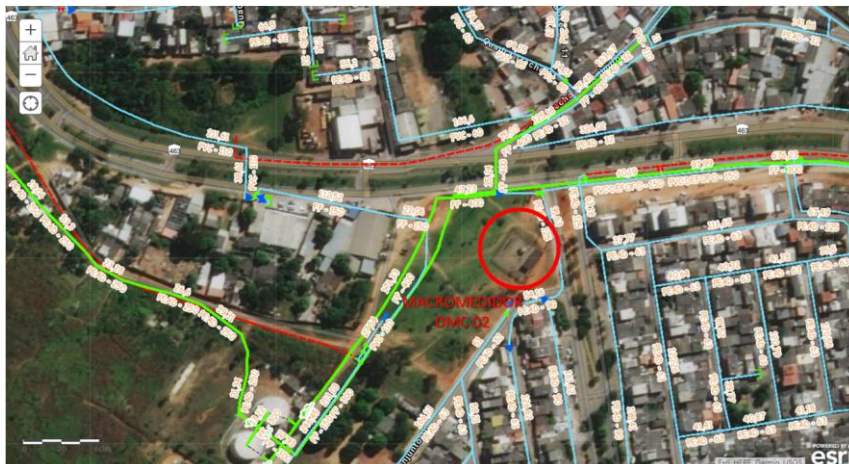


Figura A.4 - Macromedidor DMC 02

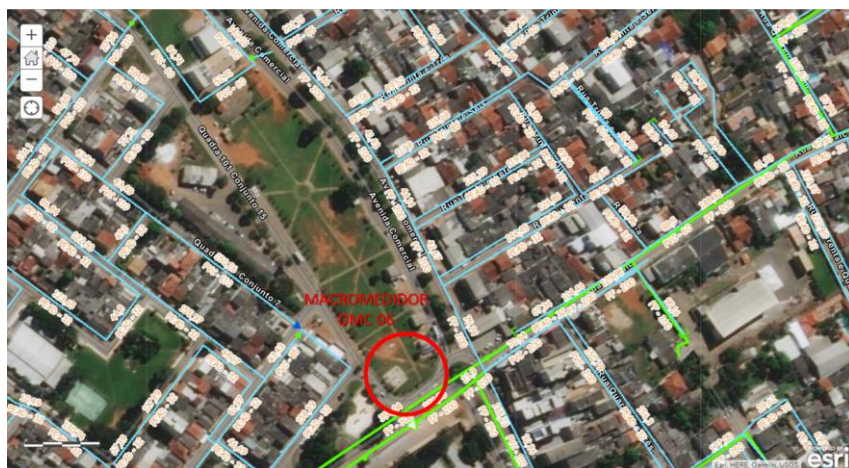


Figura A.5 - Macromedidor DMC 06



Figura A.6 - Macromedidor DMC 13 (REL-VDR.001)

APÊNDICE C – RESULTADOS DE VAZÃO

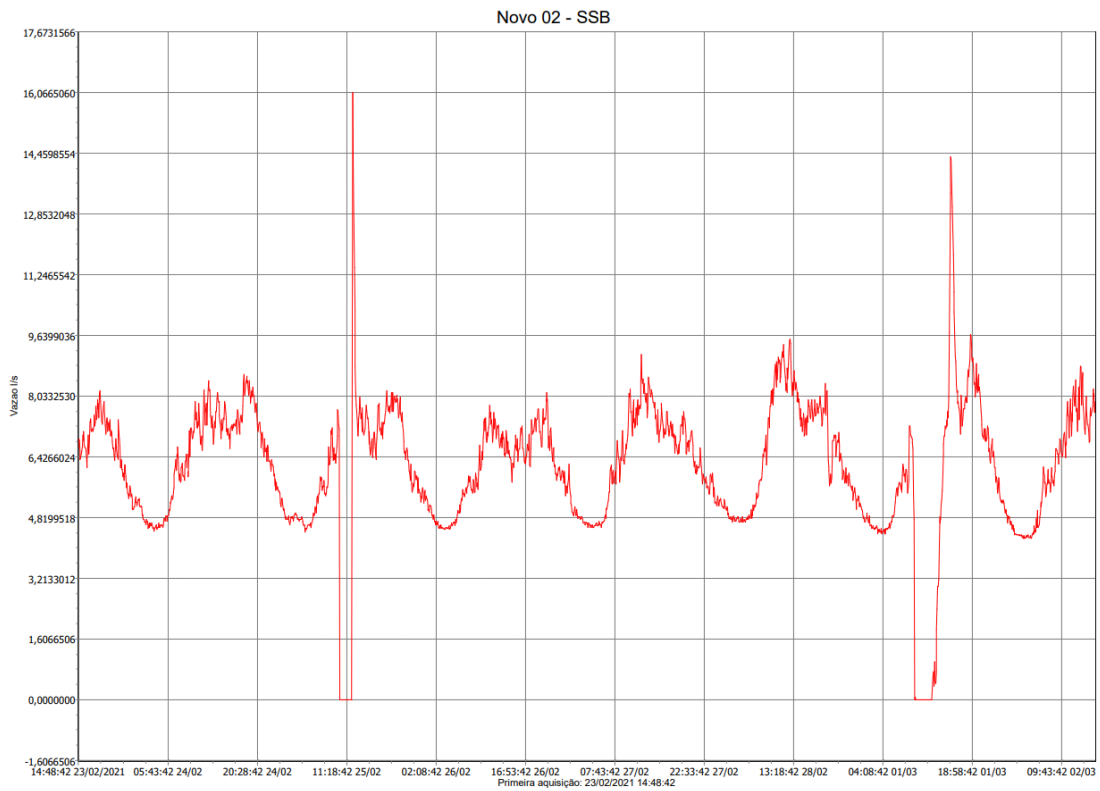


Figura A.7 – Vazões de Entrada no DMC 02

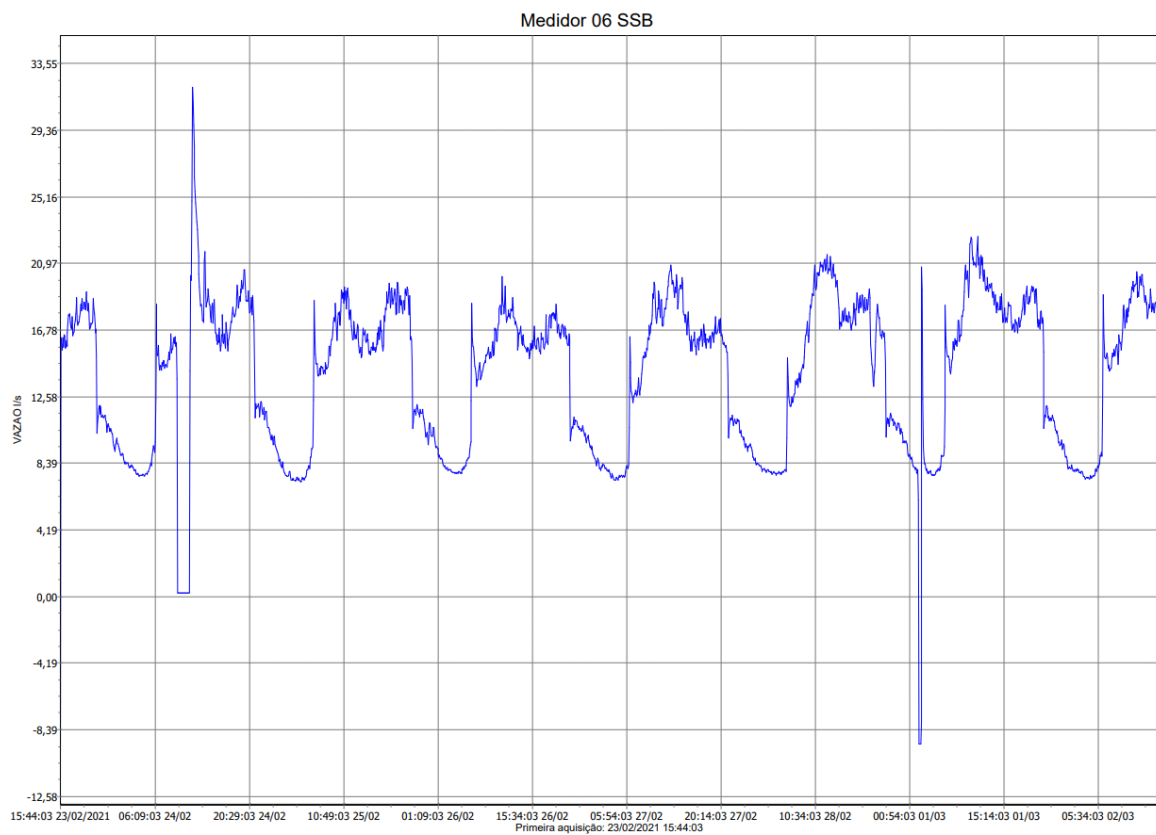


Figura A.8 - Vazões de Entrada no DMC 06

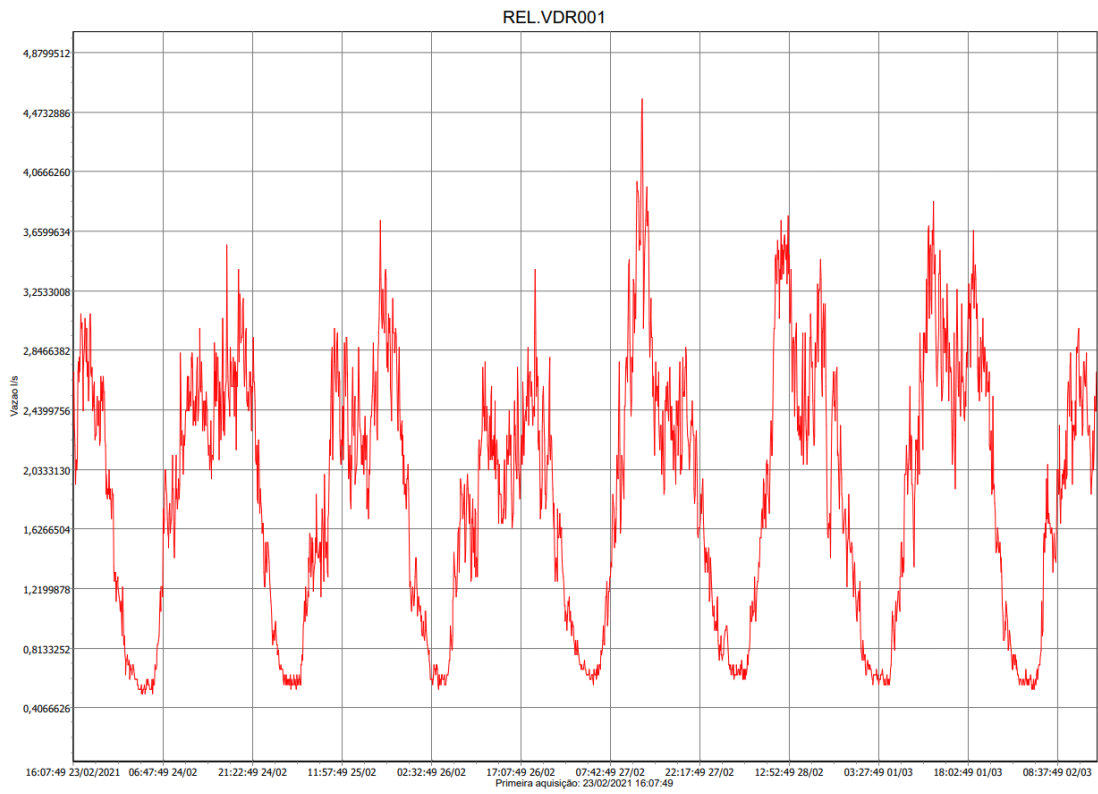


Figura A.9 - Vazões de Entrada no DMC 13

APÊNDICE D – PONTOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO



Figura A.10 - Pontos de Pressão no DMC 02



Figura A.11 - Pontos de Pressão no DMC 06



Figura A.12 - Pontos de Pressão no DMC 08A



Figura A.13 - Pontos de Pressão no DMC 08B



Figura A.14 - Pontos de Pressão no DMC 13

APÊNDICE E – RESULTADOS DAS PRESSÕES



Período: 23/02/21 a 02/03/21

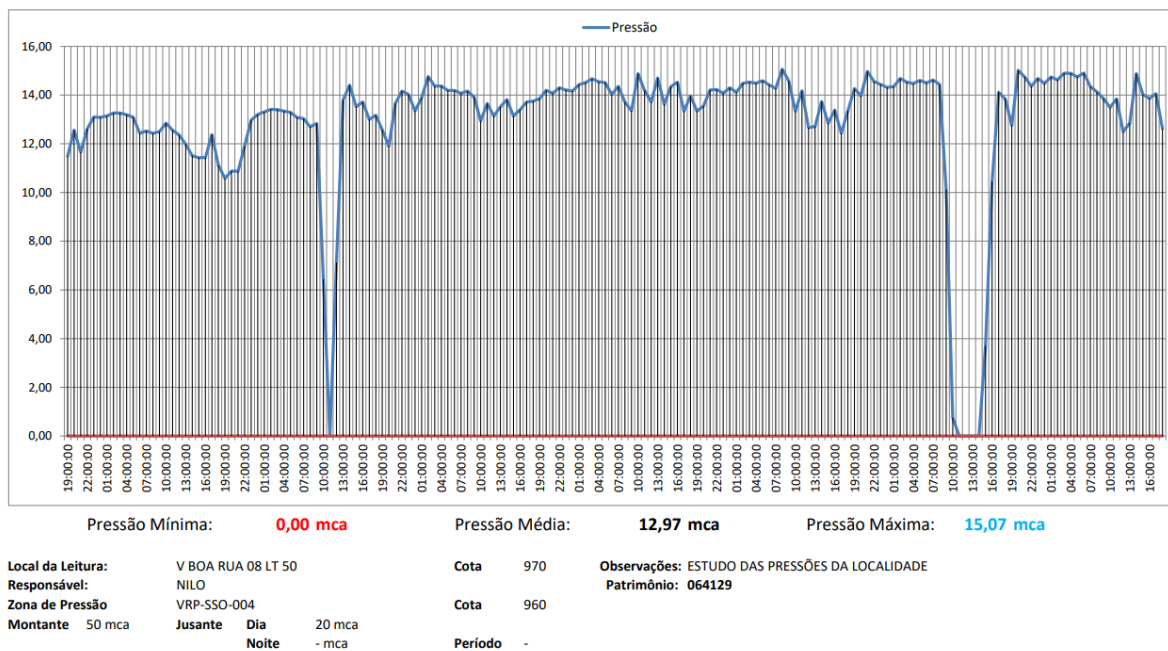


Figura A.15 – Ponto Crítico no DMC 02



Período: 23/02/21 a 03/03/21

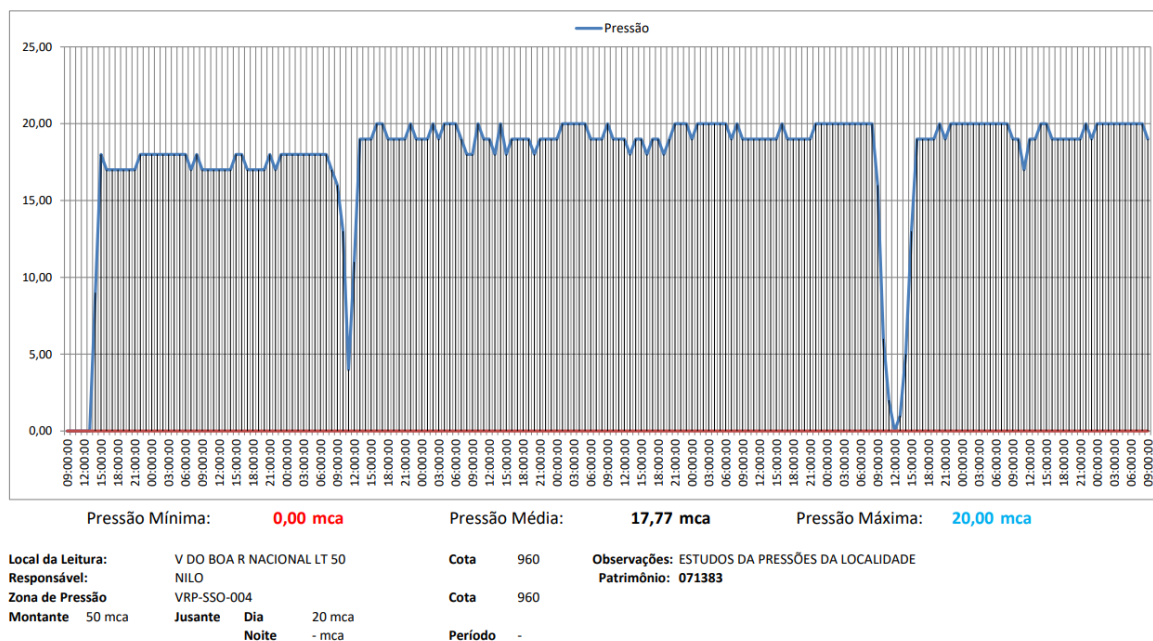


Figura A.16 - Ponto Médio no DMC 02

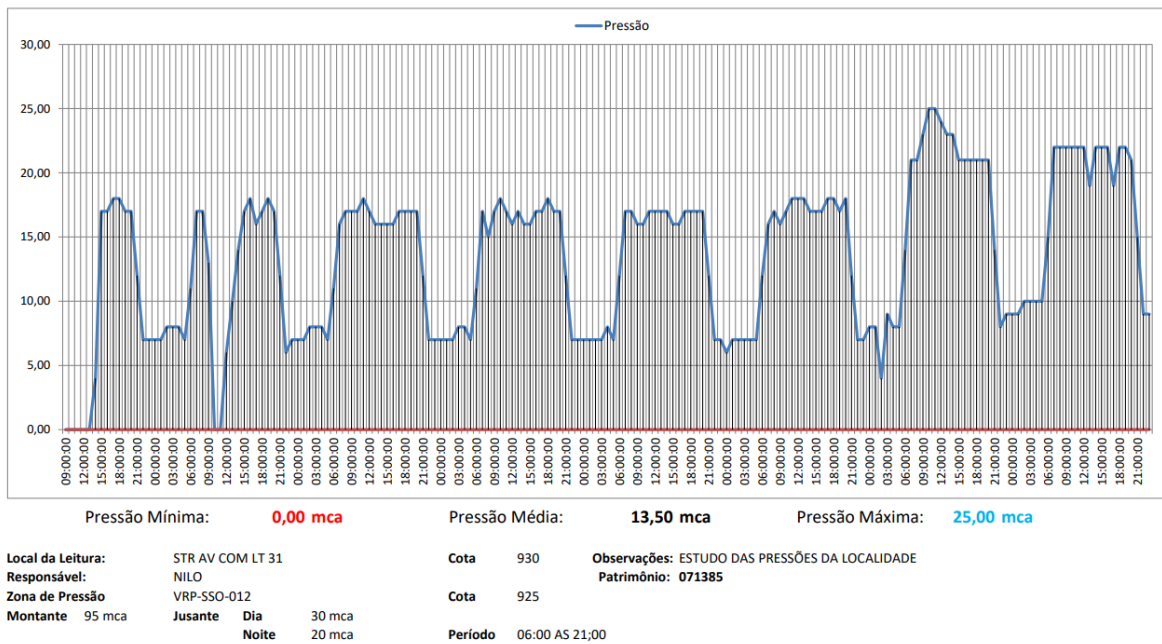


Figura A.17 - Ponto Crítico DMC 06

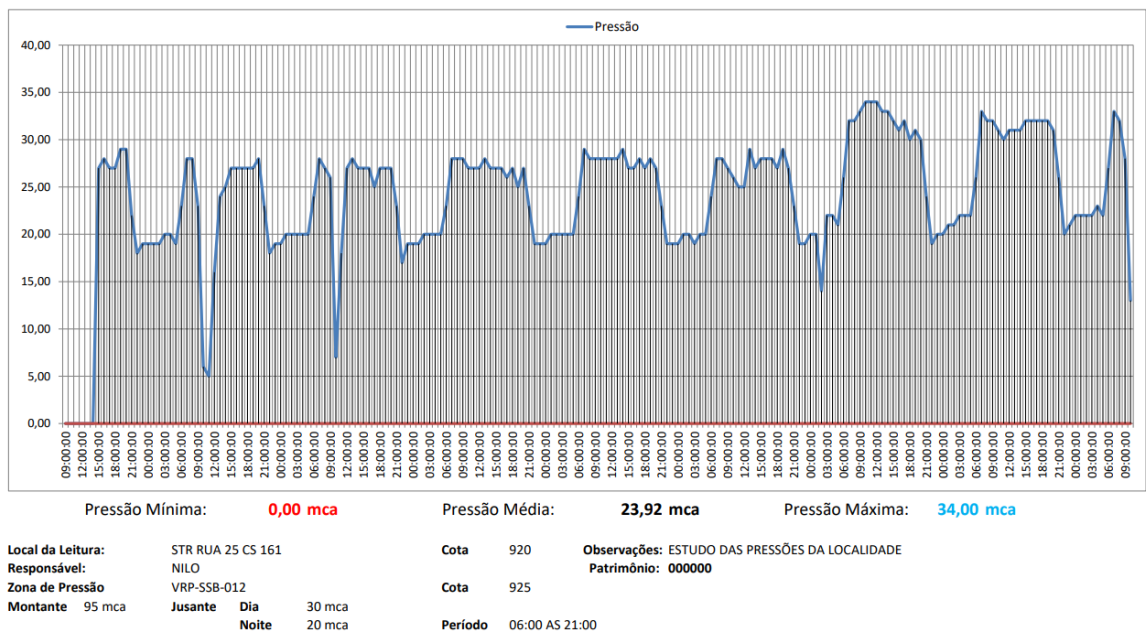


Figura A.18 - Ponto Médio DMC 06

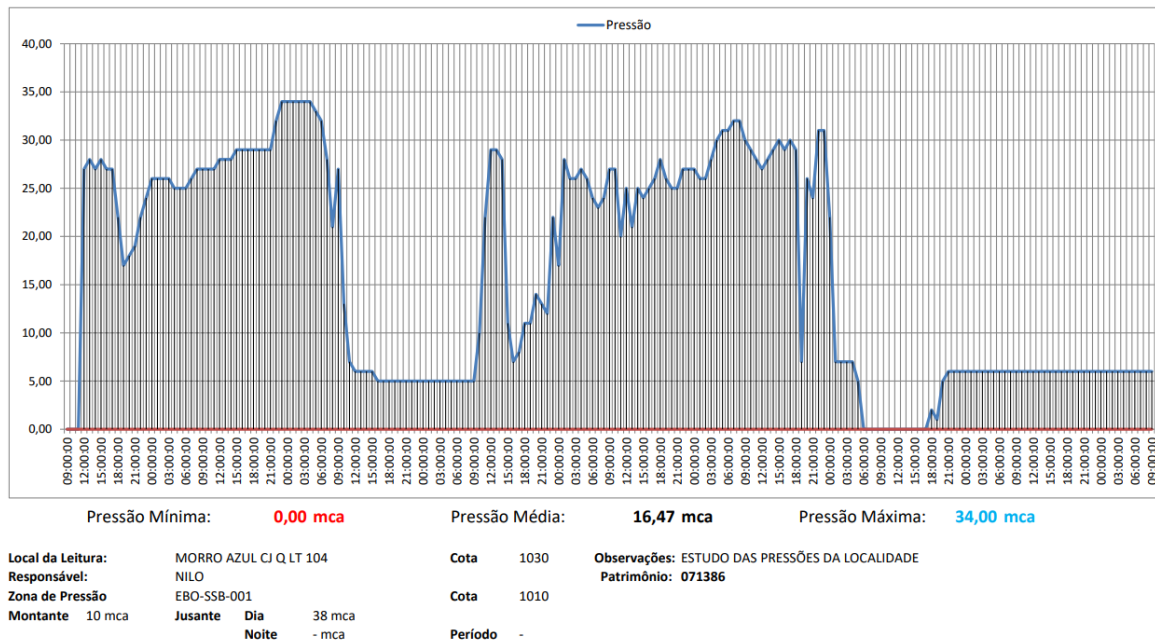


Figura A.19 - Ponto Crítico DMC 08A

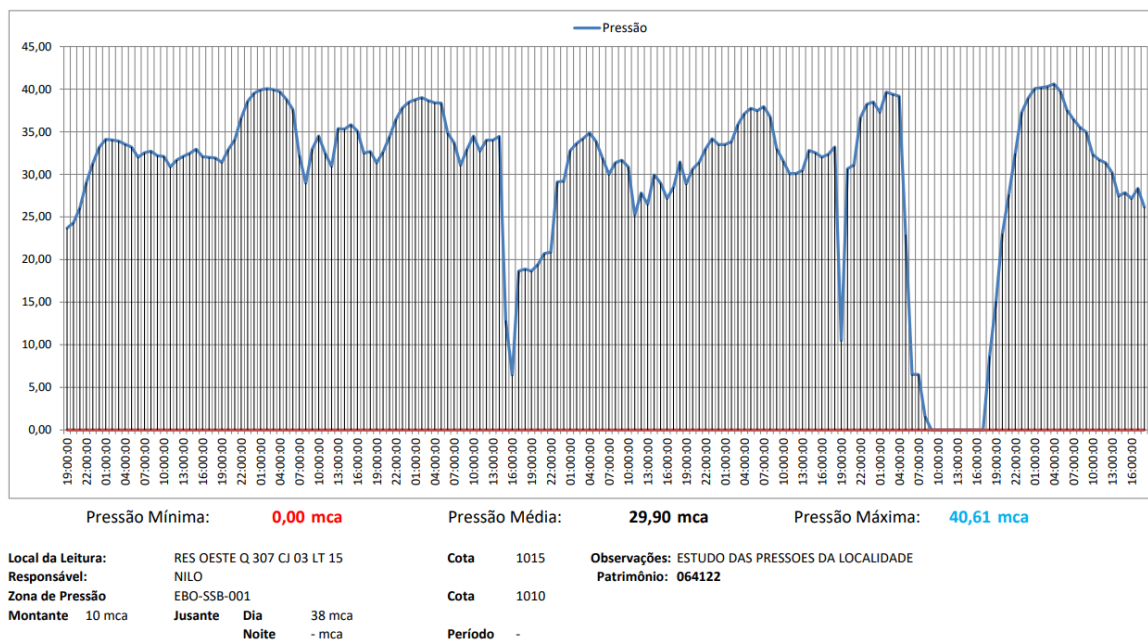


Figura A.20 - Ponto Médio DMC 08A

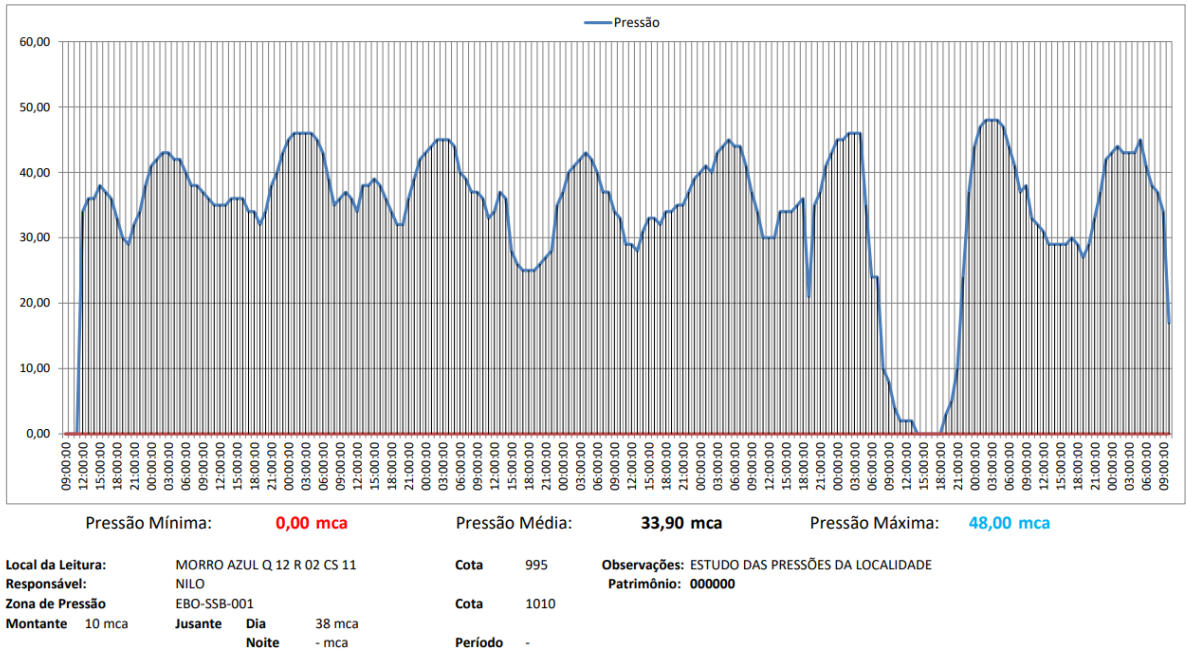


Figura A.21 - Ponto Crítico DMC 08B

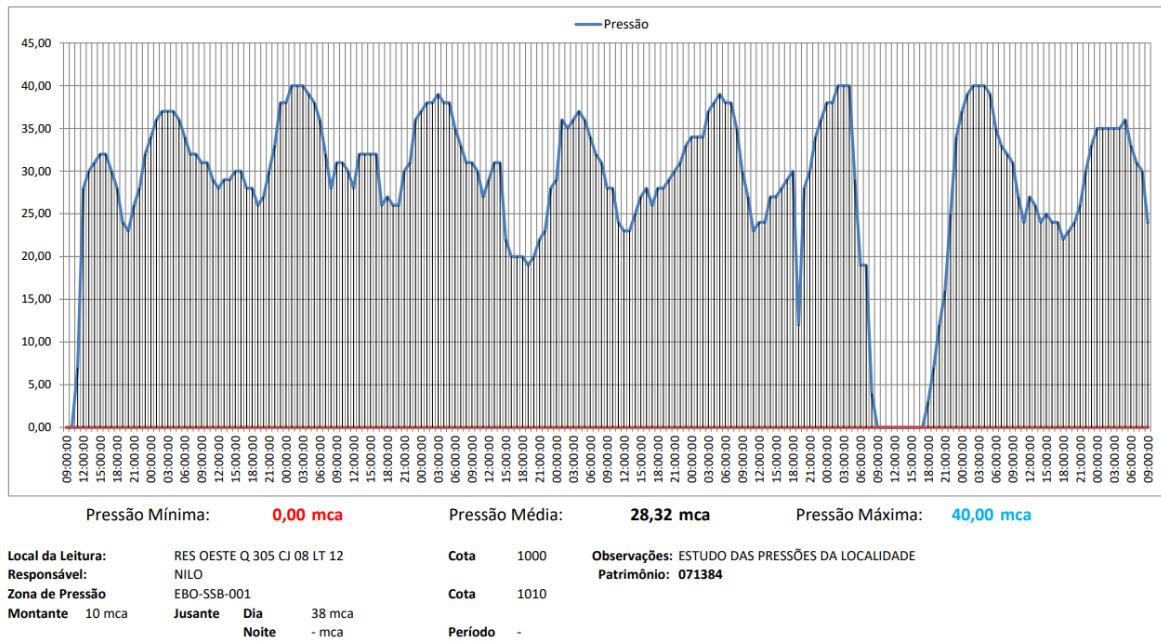


Figura A.22 - Ponto Médio DMC 08B

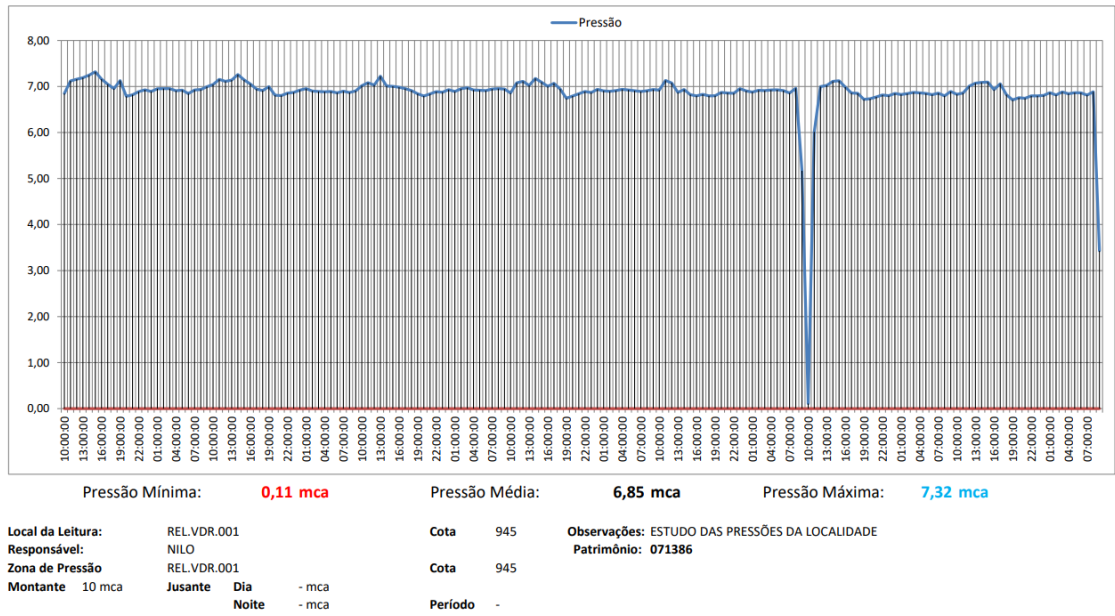


Figura A.23 - Ponto Crítico DMC 13

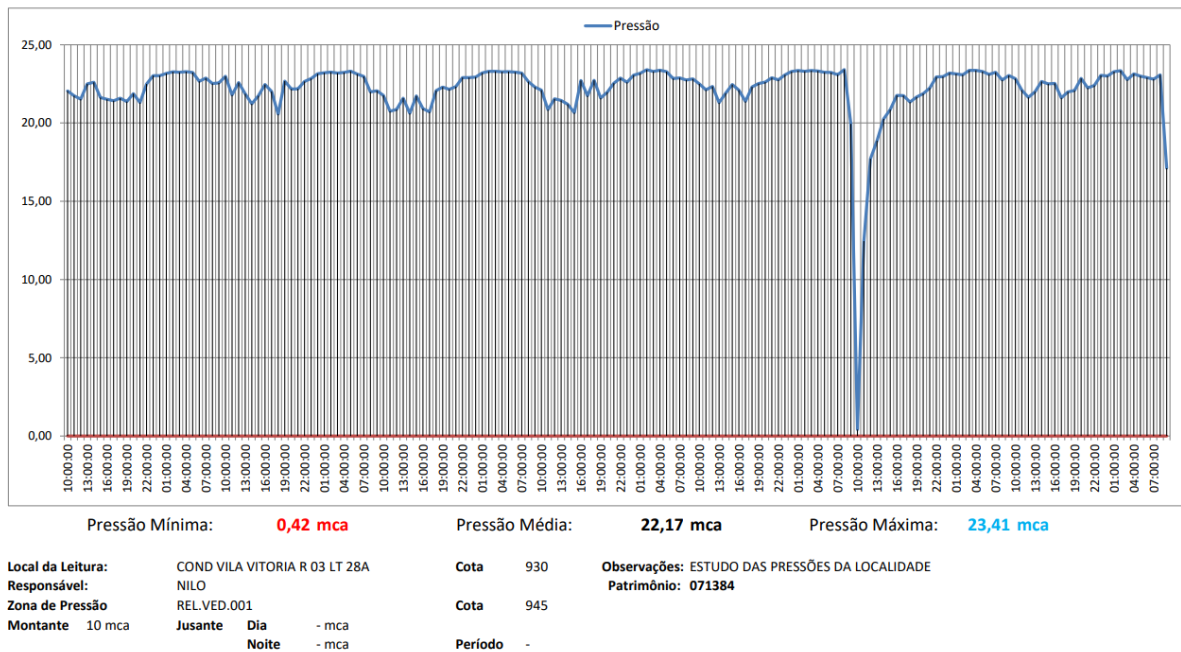


Figura A.24 - Ponto Médio DMC 13