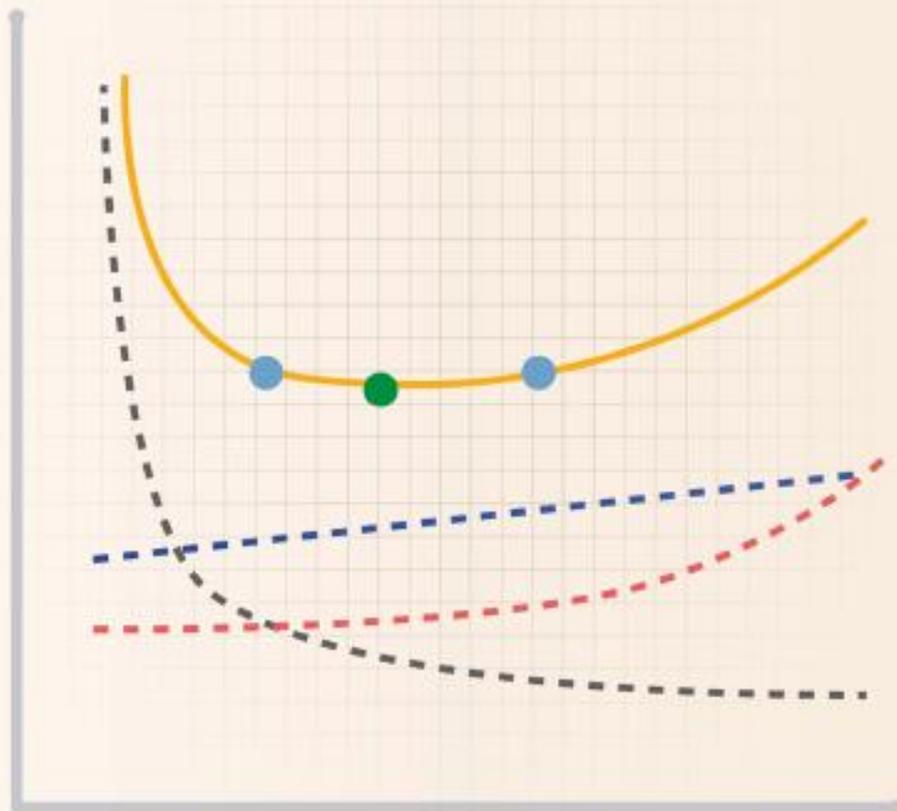


2021

PERDAS DE ÁGUA

guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle



Versão – Março de 2021

PARA MUNICÍPIOS, REGULADORES E PRESTADORES DE SERVIÇO

Título: Perdas de água - Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço

Autores: Alan Wyatt, Rita Cavaleiro de Ferreira, Marcelo Dalcul Depexe, Fernando Finger, Daniel Manzi, Rebecca Mendes, Kalffman Schuch

Contribuições especiais e agradecimentos: Alexandre Gomes de Souza (Saneago), Carlos Werlang Lebelein (LMDM), Claudia Cechella Zanette, (ARIS) Cledson Wagner Souto Santana (CESAN), Érica Patrícia Villalaz Oliveira (ARSAE-MG), Jairo Tardelli, Jonathan Lyncoln Alves Barbosa, Mayara Milaneze Altoé Bastos (ARSAE-MG), Otávio Henrique Campos Hamdan (ARSAE-MG), Rui Cunha Marques (Consultora rpg)

Agradecemos também à ANA na pessoa de Sergio Arymorais Soares por ceder metadados do ATLAS de 2010.

Revisão: Magnus Martins Caldeira, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional.

Para: *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*

Encargo: Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável – Componente ProEESA 2 - Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água – fase 2, GIZ Brasil

No. do Encargo: PN 2015.2128.5

Coordenação: Arnd Helmke Coordenador do Programa Energias Renováveis e Eficiência Energética (GIZ),

Luiz Antônio Pazos Moraes, Coordenador-Geral de Gestão Integrada – CGGI, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional, (entre maio 2020 e fevereiro de 2021)

Paulo Rogério dos Santos e Silva, Coordenador-Geral substituto de Gestão Integrada – CGGI, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional, (a partir de fevereiro de 2021)

Rogério Borges Marques, Coordenador de Gestão Integrada, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional (entre outubro 2019 e outubro de 2020)

Alfredo Assis de Carvalho, Coordenador de Gestão Integrada, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional (a partir de setembro de 2020).

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não pode(m) ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) pode(m) ser responsabilizado(s) por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito da GIZ.

Índice

Índice	3
Índice de Figuras	7
Índice de Mapas	9
Índice de Gráficos	10
Índice de Tabelas	12
Índice de Equações	15
Índice de Anotações	19
Prefácio	20
Por parte dos autores	22
Sumário Executivo	26
Motivação	26
O modelo e o ponto ótimo	26
Previsibilidade na governança	27
Recomendação de realizar outros modelos complementarmente	27
As unidades das perdas – (%) versus (l/lig.dia)	27
A revisão do nível econômico de perdas de água	28
Prazo das medidas para alcançar o nível econômico de perdas de água	28
Fragilidades e fortalezas do modelo	29
Siglas e Acrônimos	30
Símbolos usados nas equações	31
1. Introdução	34
Enquadramento na cooperação Brasil – Alemanha	34
Justificativa da elaboração do presente guia	34
A eficiência na legislação do setor de saneamento	34
O nível econômico de perdas e o contexto do prestador de serviço	35
A janela temporal de atuação para a eficiência	35
Descrição do guia	36
Metodologia usada no presente guia	36
Elaboração colaborativa	36
Metodologia	37
Considerações prévias sobre o nível econômico e financeiro de perdas de água	37

PARTE 1 - MODELO DO NÍVEL ECONÔMICO	38
2. Conceitos básicos de perdas de água	38
Balanço hídrico usado no modelo	38
Volumes	38
Indicadores de perdas	43
Relações entre volumes	45
Balanço hídrico e SNIS	47
Relações causa – efeito - tipologias de perda e ações de controle	48
3. Níveis econômicos de perdas de água	50
A função objetiva de nível de perdas de água	50
Perdas aparentes – cálculo do nível ótimo	51
Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão 2020 e 2021	52
Anotações prévias	52
Componente 1 – Perdas por submedição de hidrômetros	53
Componente 2 – O nível econômico de fraudes	62
Componente 3 - Volume de água clandestino	69
Perdas reais – cálculo do nível ótimo	69
Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão maio 2020 e versão atual	69
Componente 1 - Custos de produção de água	69
Componente 2 – Custos atualizados de expansão do sistema	73
Componente 3 – Custos de controle de perdas reais de água	85
O nível econômico ótimo de perdas reais em (%)	91
O nível econômico ótimo de perdas reais em (l/lig.dia)	93
Exemplo numérico – o nível econômico ótimo de perdas reais	94
O conceito de patamar econômico	97
Priorização de sistemas no combate às perdas	98
Validade e revisão do nível econômico	99
Considerações sobre a validade do nível econômico de perdas	99
Reavaliação e revisão do nível econômico	99
As unidades das metas e valores de referência	100
PARTE 2 – ENSAIO DO MODELO EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS	102
4. Nível ótimo de perdas aparentes	102
Perdas aparentes por submedição	104
Inputs no modelo	104
Outputs do modelo	108
Sensibilidade e incerteza na definição da meta de perda por submedição	110
Perdas aparentes por fraude	113
Inputs no modelo	113
Output do modelo	113
Perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos	114

Input do modelo _____	114
Output do modelo _____	115
5. Nível ótimo de perdas reais _____	116
Inputs no modelo _____	116
Output do modelo _____	135
Sensibilidade e incerteza na definição da meta de perdas reais _____	139
6. Avaliação do desempenho atual _____	144
Comparação entre a situação atual e o nível ótimo de perdas _____	144
Valores a classificar - IN051 - Índice de perdas por ligação _____	144
Classes de desempenho econômico _____	144
Avaliação _____	146
PARTE 3 – PRAZOS _____	149
7. Prazos por área de atuação _____	149
Considerações prévias sobre o prazo _____	150
Prazo adequado para alcançar a submedição ótima e reposição de hidrômetros _____	152
Prazo adequado para regularizar usos clandestinos de água _____	155
Prazo adequado para alcançar um nível de fraudes aceitável _____	155
Prazo adequado para alcançar minimizar falhas de cadastro _____	156
Prazo adequado para gestão de pressões satisfatória _____	156
Prazo adequado para alcançar conservação das infraestruturas _____	157
Prazo adequado para alcançar consolidar procedimentos das informações do balanço hídrico _____	160
Prazo adequado para obter informações razoáveis sobre o inventário e cadastro da rede, ligações e hidrômetros _____	162
Prazo adequado para realização de estudos setoriais básicos _____	163
8. Referências bibliográficas _____	168
ANEXOS _____	169
Anexo 1 – Planilhas de cálculo e ferramentas de computação _____	169
Aba municipal para analisar um único município _____	169
Aba NEP - para calcular um conjunto de municípios. _____	171
Anexo 2 – Nota explicativa da relevância da alocação de volumes de submedição e a obtenção dos dados de volumes consumidos _____	173
Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo _____	177
Valores e coeficientes usados para o cálculo submedição _____	177
Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão _____	177
Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas _____	179
Valores e coeficientes usados municipais consultar no Excel _____	182
Anexo 4 – Tabelas de resultados para cada município _____	183

Índice de Figuras

Figura 1 – Volumes produzidos e de perdas de água	39
Figura 2 – Volume consumido, perdas aparentes e volume faturado	40
Figura 3 – Balanço das perdas aparentes e de consumos.....	41
Figura 4 – Balanço hídrico, indicando as informações do SNIS.....	48
Figura 5 – Receitas em função de perdas por submedição (Figura 7 Wyatt ajustado).....	55
Figura 6 – Custos de controle de perdas aparentes em função de perdas aparentes (Figura 12 Wyatt)	57
Figura 7 – Condição ótima de perdas por submedição (Figura 13 Wyatt)	58
Figura 8 – Balanço de Fraudes	66
Figura 9 – balanço de ligações e respectivas fraudes	68
Figura 10 – Custos da produção de água em função de perdas reais (Figura 8 Wyatt)	71
Figura 11 - Demanda de água e capacidade de produção.....	79
Figura 12 – Custos anualizados de capital (de expansão do sistema) em função de perdas reais (Figura 9 Wyatt).....	82
Figura 13 – Custos do programa de controle de perdas reais em função de perdas reais (Figura 11 Wyatt)	86
Figura 14 – tipologias de vazamentos (perdas reais de água)	89
Figura 15 – Componentes de perdas reais (traduzido de Wyatt figura 10)	90
Figura 16 – Condição ótima de perdas reais (Figura 14 Wyatt)	92
Figura 17 – Exemplo de patamar econômico nas perdas por submedição.....	97
Figura 18 – Exemplo de patamar econômico nas perdas reais.....	98
Figura 19 – Intervalos de desempenho econômico de perdas reais	145
Figura 20 – Intervalos de desempenho econômico de perdas por submedição	145
Figura 21 – Prazos por área de atuação para metas de perdas de água	149
Figura 22 – Períodos de transição e manutenção do nível de perdas	151
Figura 23 – Janela temporal de atuação de um ciclo de gestão e possíveis legados para o próximo ciclo de gestão (adaptado de slide Helena Alegre).....	152
Figura 24 – Componentes do Balanço hídrico	161
Figura 25 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas – Introdução e índice de abas.....	169
Figura 26 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em um sistema / município	170
Figura 27 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em um sistema / município	171
Figura 28 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em dezenas e centenas de sistemas / municípios (com botão de macro).....	172

Figura 29 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em dezenas e centenas de sistemas / municípios (com botão de macro)..... 172

Figura 30 – Comparação de volumes consumidos, submedição e vazamentos em função da derivação do cálculo e origem dos dados..... 176

Índice de Mapas

Mapa 1 - nível ótimo de perdas aparentes nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019) (l/lig.dia).....	103
Mapa 2 – Brasil – municípios necessidades de ampliação do sistema produtor (fonte ANA Atlas 2010)	124
Mapa 3 - Nível ótimo de perdas reais para o Brasil (l/lig.dia)	137
Mapa 4 - Avaliação da performance econômica em termos de perdas de água nos municípios brasileiros	148

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Histograma do nível ótimo de perdas aparentes nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)	102
Gráfico 2 – Histograma do nível ótimo de perdas por submedição nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019).....	109
Gráfico 3 – Dispersão do nível ótimo de perdas por submedição nos estados brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019).....	110
Gráfico 4 – Dispersão do nível perdas por fraude resultantes dos dados usados no modelo (Tamanho da amostra 5219, ano 2019).....	114
Gráfico 5 – Dispersão do nível perdas aparentes relativas a falhas de cadastro e usos clandestinos resultantes dos dados usados no modelo (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)	115
Gráfico 6 – Custo de expansão (k) e fator de economia de escala (b) por região – derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA.....	123
Gráfico 7 – Sedes urbanas com Abastecimento Satisfatório e com necessidades de investimento por estado – 2015 – fonte ANA – Diagnóstico do abastecimento urbano (Vol 1 página 46) ...	125
Gráfico 8 – Dispersão de valores de U e de E dos municípios utilizados no modelo.....	128
Gráfico 9 – Regressão linear de alfa ~ IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m ³ /km.dia) – Fonte: Sanepar outubro 2020	135
Gráfico 10 – Regressão linear de beta ~ IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m ³ /km.dia) – Fonte: Sanepar outubro 2020	135
Gráfico 11 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)	136
Gráfico 12– Nível ótimo de perdas reais Brasil e regiões (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)	136
Gráfico 13 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros Tolerando 2,5 %de ineficiência econômica (Tamanho da amostra 4712, ano 2019).....	138
Gráfico 14 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros -Tolerando 5% de ineficiência econômica (Tamanho da amostra 4712, ano 2019).....	138
Gráfico 15 - Desempenho econômico do nível de perdas atual nos estados (amostra 5244)	147
Gráfico 16 – Curva de submedição de parque de hidrômetros (Fonte: Airton Sampaio).....	154
Gráfico 17 – Amplitude de pressões na rede – pontos monitorados	157
Gráfico 18 – Curva de submedição do parque de hidrômetros com base em amostra representativa (Fonte: Airton Sampaio)	164
Gráfico 19 – Faixas de vazão e peso para determinação do erro médio de medição	166
Gráfico 20 – Distribuição de vazões de abastecimento em um perfil de consumo médio da população	173
Gráfico 21– Erros de medição nas diferentes faixas de vazões de um perfil de consumo médio da população	174

Gráfico 22 – perda de eficiência em função do tempo para hidrômetros classe B (referência: Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros - Série Balanço Hídrico, Volume 3) 175

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipologia de perda e custos associados para mitigar essa perda.....	48
Tabela 2 - Causa e ações para redução de perdas aparentes e custos associados para mitigar essa perda.....	51
Tabela 3 - Notas - dados para o nível econômico ótimo de perdas aparentes (por submedição de hidrômetros)	60
Tabela 4 – dados usados para cálculo de perdas aparentes – Exemplo numérico – Município A (arquivo exemplos numéricos perdas aparentes e reais)	61
Tabela 5 - Notas - dados para o custo de produção de água.....	71
Tabela 6 - Notas – dados para o custo anualizado de capital futuro para expansão	83
Tabela 7 – Notas – dados para o custo de controle de perdas reais	90
Tabela 8 – Dados usados para cálculo de perdas reais – Exemplo numérico – Município B (Arquivo: exemplos numéricos perdas aparentes e reais).....	94
Tabela 9 – Iterações até chegar ao nível.....	96
Tabela 10 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes.....	104
Tabela 11 – Referência geral para estimativa de custos de troca de medidores - exemplo	107
Tabela 12 – Composição dos insumos para troca de Composição 95673 – Hidrômetro DN 20 (½”), 1,5 m³/h.....	107
Tabela 13 – Composição dos insumos para troca de Composição 95674 – hidrômetro DN 20 (½”), 3,0 m³/h.....	107
Tabela 14 – Composição dos insumos para troca de Composição 95675 – hidrômetro DN 25 (¾”), 5,0 m³/h.....	108
Tabela 15 – Proporção de hidrômetros para definir o preço médio.....	108
Tabela 16 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas por submedição (I_{sub}) ao duplicar os dados de input (arquivo: Elasticidade).....	111
Tabela 17 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas por submedição (I_{sub}) ao reduzir para metade os dados de input (arquivo: Elasticidade).....	111
Tabela 18 – Influência positiva e negativa das variáveis no nível de perdas por submedição	111
Tabela 19 – Intervalos de incerteza para determinar o intervalo das perdas aparentes ótimo (arquivo: Elasticidade).....	112
Tabela 20 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes por fraude	113
Tabela 21 – Estimativas locais, para perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos.....	114
Tabela 22 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos de produção.....	116
Tabela 23 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos de expansão	116
Tabela 24 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos do programa de controle de perdas	117

Tabela 25 – Referências de custos de expansão tabelas da Nota técnica 492/2010 SNSA. ..	121
Tabela 26 – Custos de expansão para as cinco regiões– derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA.....	122
Tabela 27 – fator de economia de escala (b) por região – derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA.....	123
Tabela 28 – fator de resiliência (fr) por região	129
Tabela 29 - Custo de rede no estado de São Paulo – para efeitos de reparação e reposição (fonte https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664).....	130
Tabela 30 – itens e quantidades necessárias para reparar um metro de ramal (fonte SINAPI)	131
Tabela 31 – Ocorrências típicas de vazamentos em rede e ramais.....	132
Tabela 32 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas reais duplicando seu valor (arquivo: Elasticidade).....	140
Tabela 33 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas reais reduzindo para metade o seu valor (arquivo: Elasticidade)	140
Tabela 34 – Influência positiva e negativa das variáveis no nível de perdas reais	141
Tabela 35 – Intervalos de incerteza para determinar o intervalo das perdas reais ótimo (arquivo: Elasticidade).....	142
Tabela 36 – Resumo de prazos por área de impacto e atuação	149
Tabela 37 – Adequação do prazo de reposição do parque de hidrômetros	153
Tabela 38 – Adequação do prazo de reposição da rede e ramais conhecendo a vida útil das tubulações	158
Tabela 39 – Exemplo – estratificação de medidores	164
Tabela 40 – Exemplo – Plano de amostragem de medidores	165
Tabela 41 – Exemplo – Faixas de vazão e peso para determinação do erro médio de medição	165
Tabela 42 – Exemplo – Desvios médios por estrato e faixas de vazão	166
Tabela 43 – Exemplo – Erro médio ponderado de medição por estrato	167
Tabela 44 - Exemplo hipotético - efeito da submedição no decorrer do tempo	175
Tabela 45 - Valores e coeficientes usados para o cálculo submedição – valores estaduais...	177
Tabela 46 - Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão – valores regionais	177
Tabela 47 - Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão – valores estaduais	178
Tabela 48 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 1	179
Tabela 49 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 2.....	180
Tabela 50 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 3.....	181

Tabela 51 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 4.....	182
---	-----

Índice de Equações

Equação 1 – Volume de perdas	39
Equação 2 – Volume de perdas reais (traduzida 1 de Wyatt, 2010)	39
Equação 3 – Volume de perdas aparentes (traduzida 2 de Wyatt, 2010)	40
Equação 4 – Volume de perdas aparentes	40
Equação 5 – Água consumida por todos os usuários	41
Equação 6 – Água consumida micro medida e fraudes, falhas de cadastro e usos clandestinos	41
Equação 7 – Composição do volume de perdas aparentes	42
Equação 8 – Composição do volume de perdas por submedição	42
Equação 9 – Composição do volume de perdas por submedição evitáveis	42
Equação 10 – Composição do volume de perdas por submedição (ou volume ótimo)	43
Equação 11 – Perdas reais adimensionais (traduzida 3 de Wyatt, 2010)	44
Equação 12 – Perdas por submedição adimensionais (ajustada e traduzida 4 de Wyatt, 2010)	44
Equação 13 – Perdas por submedição adimensionais	44
Equação 14 – Perdas por submedição adimensionais em relação ao volume consumido	44
Equação 15 – Composição de perdas a partir dos volumes (l/lig.dia)	44
Equação 16 – Composição de perdas a partir de indicadores (l/lig.dia)	45
Equação 17 – Relação volumes produzido, consumido e perdas reais (traduzida 5 e 6 de Wyatt, 2010)	45
Equação 18 – Relação volume consumido e perdas aparentes	46
Equação 19 – Conversão de volume de água micromedido (Q_m) em volume de água consumida medida (Q_{cH}) (sem equivalência Wyatt, 2010)	46
Equação 20 – Relação volumes consumidos e ligações (traduzida 12 de Wyatt, 2010)	46
Equação 21 – Variação - Relação volumes consumidos em hidrômetros e ligações	46
Equação 22 – Variação - Relação volumes consumidos (em hidrômetros e situações sem hidrometração) e ligações	46
Equação 23 – Relação volumes consumidos, atendendo à origem do dado micromedido	47
Equação 24 – Excedente financeiro anual (traduzida 13 de Wyatt, 2010)	51
Equação 25 – Composição de perdas aparentes em (l/lig.dia)	51
Equação 26 – Receita anual (traduzida 14 de Wyatt, 2010)	53
Equação 27 – Receita anual em função de água consumida (traduzida 15 de Wyatt, 2010)	54
Equação 28 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros (traduzida 26 de Wyatt, 2010)	55
Equação 29 – Perdas por submedição (traduzida 27 de Wyatt, 2010)	55
Equação 30 – Perdas por submedição em função do volume consumido, precisão de medição e período para substituição de hidrômetro	56

Equação 31 – Perdas aparentes por submedição em função da precisão de medição e período para substituição de hidrômetro (traduzida 28 de Wyatt, 2010)	56
Equação 32 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros (traduzida 29 de Wyatt, 2010)	56
Equação 33 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros com constante k (traduzida de Wyatt – equação sem número pág. 19)	56
Equação 34 – Condição para o nível econômico ótimo de perdas por submedição	57
Equação 35 – Condição para o nível econômico ótimo de perdas por submedição (traduzida 30 de Wyatt, 2010)	58
Equação 36 – Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis (traduzida 31 de Wyatt, 2010)	58
Equação 37 – Volume de perdas por submedição	60
Equação 38 – Volume de perdas econômico na unidade (l/lig.dia) por via do volume consumido	60
Equação 39 – Volume de perdas econômico na unidade (l/lig.dia) por via do per capita	60
Equação 40 – Custo de pesquisar ligações	63
Equação 41 – Custo de pesquisar ligações - detalhada.....	63
Equação 42 – Retorno econômico de detectar fraudes.....	64
Equação 43 – Retorno econômico de detectar fraudes - detalhada.....	64
Equação 44 – Nível econômico de fraudes	64
Equação 45 – Balanço de fraudes existentes.....	66
Equação 46 – Balanço de fraudes existentes por 1000 ligações	66
Equação 47 – Probabilidades de detectar fraudes entre tipologias de ligações	67
Equação 48 – Relação entre as fraudes detectadas e as de excelência	67
Equação 49 – Totalidade de fraudes em um sistema.....	67
Equação 50 – Volume de água consumida em ligações com fraudes	68
Equação 51 - fraudes pesquisadas e detectadas	68
Equação 52 – Custos de produção de água (traduzida 16 de Wyatt, 2010)	70
Equação 53 – Custos de produção de água em termos de perdas reais.....	70
Equação 54 – Razão da capacidade instalada face ao consumo	74
Equação 55 – Tempo até ser necessária a expansão (Wyatt 2020, fórmula evoluída, mas equivalente à 19 de Wyatt, 2010).....	74
Equação 56 – Condição limite que determina o tempo de expansão do sistema	75
Equação 57 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema	75
Equação 58 – Composição de água produzida	76
Equação 59 –Água produzida em função do tempo – crescimento linear	76
Equação 60 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema, isolando água produzida	76

Equação 61 – tempo até ser necessária a expansão – com crescimento linear (variação da equação 19 Wyatt 2010)	77
Equação 62 –Água produzida em função do tempo – crescimento exponencial	77
Equação 63 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema, isolando água produzida	77
Equação 64 – tempo até ser necessária a expansão – com crescimento exponencial	78
Equação 65 - Volume de expansão (novo 2021).....	79
Equação 66 – Custo de capital futuro para expansão (traduzida 18 de Wyatt, 2010)	80
Equação 67 – Valor presente do custo de expansão (traduzida 20 de Wyatt, 2010).....	80
Equação 68 – Fator de recuperação do capital (traduzida e corrigida - 21 de Wyatt, 2010)	81
Equação 69 – Custos anualizados de expansão do sistema	81
Equação 70 – Custos anualizados de expansão do sistema (traduzida 22 de Wyatt, 2010 e ajustada para 2021)	81
Equação 71 - Custos anualizados de expansão do sistema – resumo da fórmula	83
Equação 72 – Perdas reais em função do período de pesquisa (traduzida 23 de Wyatt, 2010)	85
Equação 73 – Custo de controle de perdas reais (versão traduzida e corrigida 25 de Wyatt, 2010)	86
Equação 74 –Custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (sem equivalência Wyatt 2010)	87
Equação 75 – Custo de conservação e reposição anualizada da rede.....	87
Equação 76 – Taxa anual de reposição da rede	88
Equação 77 – Fator de recuperação do capital para redes.....	88
Equação 78 – Alfa - coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados.....	89
Equação 79 – Beta - coeficiente de perdas de vazamentos não reportados	89
Equação 80 – Condição do nível econômico de perdas reais (traduzida 32 de Wyatt, 2010) ...	91
Equação 81 – Volume de perdas reais (equivalente à equação 3 Wyatt)	93
Equação 82 – Volume de perdas reais	93
Equação 83 – Nível econômico de perdas reais (l/lig.dia)	94
Equação 84 – Amplitude econômica de perdas reais para 5% de tolerância de custos	97
Equação 85 – Custo por desvio da perda ótima real	98
Equação 86 – Custo por desvio da perda ótima comercial	98
Equação 87 – Elasticidade de perdas por submedição.....	110
Equação 88 - fator de exclusão de custos de esgotamento sanitário	119
Equação 89 – Custos unitários de produção de água usados no modelo	120
Equação 90 – Grau de atendimento da demanda (interpretação da tabela ANA)	125
Equação 91 – Relação entre o Grau de atendimento da demanda (GAD – ANA) e a capacidade instalada e a demanda usada para o modelo	126
Equação 92 – Condicionante para a validade de tempo até à expansão do sistema (t).....	128

Equação 93 – Taxa de crescimento populacional usada no modelo para cada estado.....	129
Equação 94 – Custos de pesquisa de vazamentos na rede (R\$/km de tubulação pesquisada)	129
Equação 95 – Custos de pesquisa de vazamentos na tubulação (R\$/km de tubulação pesquisada)	130
Equação 96 – Custos de reparação de vazamento em rede (R\$/vazamento)	131
Equação 97 – Custos de reparação de vazamento em ramal (R\$/vazamento)	132
Equação 98 – Transformação de custos de reparação de rede (por vazamento) em (por km).....	132
Equação 99 – Custo de conservação e reposição anualizada da rede integral (com variáveis primárias).....	133
Equação 100 – Para estimar alfa com base em IN050 - Índice bruto de perdas lineares (estudos Sanepar de outubro 2020)	135
Equação 101 – Para estimar beta com base em IN050 - Índice bruto de perdas lineares (estudos Sanepar de outubro 2020)	135
Equação 102 – Condicionante para a validade de beta (β).....	135
Equação 103 – Elasticidade de perdas reais	139
Equação 104 – IN051 - Índice de perdas por ligação - SNIS	144
Equação 105 - Limite entre Classe 1 (sobre-eficiência) e 2 (ligeira sobre-eficiência), correspondente a 5% de ineficiência econômica.....	145
Equação 106 - Limite entre Classe 2 (ligeira sobre-eficiência) e 3 (patamar econômico), correspondente a 2,5% de ineficiência econômica.....	146
Equação 107 - Limite entre Classe 3 (patamar econômico) e Classe 4 (ligeira ineficiência), e correspondente a 2,5% de ineficiência econômica.....	146
Equação 108 - Limite entre Classe 4 (ligeira ineficiência), e Classe 5 (ineficiência) , correspondente a 5% de ineficiência econômica.....	146
Equação 109 – Relação idade média ótima e vida útil	153
Equação 110 – Relação idade média ótima e vida útil econômica.....	153
Equação 111 – Taxa anual ótima de reposição de hidrômetros.....	153
Equação 112 – Idade média da rede	158
Equação 113 – Taxa anual de reposição da rede	158
Equação 114 - Erro ponderado de medição	166
Equação 115 - Índice de Desempenho da Medição (Norma Brasileira 15538:2014).....	166

Índice de Anotações

Anotação 1 sobre tarifas de consumos mínimos	52
Anotação 2 sobre a submedição por via de uso massivo de caixas de água entre os usuários	53
Anotação 3 sobre a hidromedidação individualizada ou hidromedidação por ligação	53
Anotação 4 sobre fornecimentos gratuitos ou consumo autorizado não faturado.....	53
Anotação 5 sobre a correção da fórmula 25 da versão em inglês.....	86
Anotação 6 sobre a Inclusão de custos de reabilitação de rede no programa de controle de perdas	87
Anotação 7 sobre a troca de hidrômetros no prazo da vida útil econômica	152
Anotação 8 sobre a vida útil das tubulações e da rede	157

Prefácio

Por Eng. Jairo Tardelli Filho

Há a visão simplista, especialmente de quem está fora do saneamento, de que a busca da “perda zero” seja algo a se ter como meta por uma operadora de sistemas de água; na realidade, isso é impossível, já que são infraestruturas enterradas e pressurizadas, com as mais variadas idades e condições, e sujeitas a interferências com o tráfego e com outras infraestruturas nos centros urbanos.

A questão das perdas em sistemas de água teve uma evolução notável a partir do ano 2000, em que a *International Water Association* – IWA desenvolveu e uniformizou terminologias, conceitos, indicadores e boas práticas que poderiam ser utilizados por todas as companhias operadoras do mundo, buscando uma padronização que não existia até aquela época.

Dentre os conceitos, destacaram-se o nível inevitável de perdas reais e o nível de referência de perdas aparentes, balizadores técnicos de sistemas de água considerados bem implantados e operados, corroborando que é impossível se ter perdas nulas nesses sistemas. Junto com esses dois níveis, estabelecia um outro conceito fundamental, os níveis econômicos de perdas reais e de perdas aparentes, em que se tem como referencial básico o ponto em que os custos do combate às perdas se igualam aos ganhos com a redução dos volumes perdidos, ou melhor ainda, em que se maximizam os ganhos em relação aos custos respectivos.

Se o conceito estava estabelecido, ainda não se tinha uma estruturação metodológica completa para as perdas reais e aparentes para se chegar aos valores ótimos ou econômicos de perdas, em que consideram avaliações circunstanciais (secas, por exemplo) ou mesmo regionais (qualidade da água bruta, custos de tratamento e adução), além dos custos inerentes a cada região, como os custos de mão de obra.

O Eng^o Alan Wyatt estruturou o equacionamento do problema e divulgou em publicações e seminários, de amplo acesso por todos. Sabe-se, de antemão, do grande número de variáveis requerido e da natural dificuldade de obtenção de muitas delas, com algum grau de confiabilidade, o que pode trazer temores e desconfianças quanto aos resultados. Porém, análises de sensibilidade mostraram que os valores obtidos podem ser adotados como referenciais para o sistema em análise.

O grande mérito do trabalho ora apresentado é utilizar todo o ferramental desenvolvido por A. Wyatt e aplicá-lo para as condições brasileiras, deixando para as companhias operadoras um referencial técnico de inestimável valor, que deve ser absorvido e aprimorado, refinado e ajustado, permanentemente, para cada situação específica.

A base das análises para o Brasil empregou os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, já dentro dos avanços proporcionados pela melhoria da qualidade dos dados e das informações das cidades brasileiras relativos ao saneamento (metodologia do ACERTAR).

Para superar dificuldades na busca dos números das variáveis, indicam-se quais indicadores do SNIS devem ser utilizados, mesmo assumindo-se simplificações de alguns números. Alerta-se, também, que de nada adianta estabelecer metas otimizadas exequíveis se os prazos não forem compatíveis e adequados às realidades e ao tipo de serviço (área de atuação) ou desafio, condições básicas para manter a motivação das gerências e equipes técnicas.

Nem tudo são maravilhas: questões ligadas à intermitência do abastecimento, realidade ainda presente em muitos municípios brasileiros, podem afetar a qualidade da informação; outras questões ligadas às variações sazonais de disponibilidades hídricas, as políticas de preços de

cada companhia e avanços tecnológicos nas medições de volumes pelos hidrômetros ensejam a periódica revisão dos referenciais ótimos para as perdas reais e aparentes.

Este é um tema de elevada importância para as companhias operadoras, titulares dos serviços e reguladores. Há que debater esses números nos seminários de planejamento estratégico das companhias, considerando o aperfeiçoamento técnico-operacional, na busca da redução dos volumes perdidos, junto com o equilíbrio financeiro dessas atividades, para a redução e estabilização das perdas.

Todos sabemos que é uma luta incessante, pois se, ao atingir a meta, for entendido que nada mais precisa ser feito, a companhia terá a ingrata surpresa de, em breve, apresentar péssimos indicadores de perdas novamente, graças ao crescimento natural das perdas na infraestrutura de água e nos medidores.

É um tema que também vai ao encontro das proposições da NBR ISO 24.512/2012 – Diretrizes para a Gestão de Prestadores de Serviços de Água e para a Avaliação dos Serviços de Água Potável, a “ISO do Saneamento”, na busca de uma operação eficiente e eficaz, com repercussões na sustentabilidade econômica da empresa, na viabilidade ambiental e na modicidade das tarifas.

Ao longo de 2019 e 2020 o Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ promoveram um diálogo entre prestadores de serviço, agências reguladoras e especialistas em torno do nível econômico de perdas, coletando contribuições e reunindo aprimoramentos neste fundamentado e importante trabalho.

Parabéns a todos os profissionais envolvidos neste projeto!

São Paulo, setembro 2020

Jairo Tardelli Filho

Engenheiro de Planejamento Operacional de Sistemas de Água e Esgotos

Por parte dos autores

Por Eng. Alan Wyatt

Em todo o mundo, as perdas de água são muito grandes em termos de recursos hídricos e de impactos financeiros. Um estudo sobre perdas de água publicado em 2018 por mim e o reconhecido especialista Roland Limberger no IWA Journal estimou que a perda global de água estava na ordem de 346 milhões de m³/dia, que tem um valor aproximado de US\$ 39 bilhões/ano. Se as perdas de água do mundo fossem reduzidas em um terço, a economia poderia abastecer 800 milhões de pessoas. Usando custos empíricos típicos, tal esforço de redução de perda de água teria um período de retorno de 5 anos.

No Brasil, a magnitude das perdas de água também é enorme. O estudo supracitado estimou que as perdas no Brasil foram da ordem de 18 milhões m³/dia. Para 2019 o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS) contabiliza 17,6 milhões m³/dia. Seguindo a lógica acima, a recuperação de uma parte modesta das perdas reais do Brasil poderia atender aproximadamente 40 milhões de pessoas.

As consequências das perdas de água não são apenas custos evitáveis para captar, tratar e distribuir água (sem utilidade para os usuários), mas também receitas menores para as companhias, escassez de água em muitas localidades, vulnerabilidade à seca e mudanças climáticas, abastecimento intermitente, má qualidade da água e impactos na saúde.

No entanto, o Brasil tem competências sólidas para reduzir e gerenciar as perdas de água. Estudos de engenharia revisados entre pares (peer-review), trabalhos técnicos e manuais de treinamento brasileiros são de alta qualidade. “Em campo” muitas empresas estaduais estão reduzindo suas perdas. Segundo dados do SNIS, as perdas de água nas companhias estaduais caíram de 695 l/lig.dia no ano de 2005 para 339 l/lig.dia em 2019.

O Brasil tem o maior mercado do mundo em contratos de performance eficientes e eficazes na área de redução de perdas de água.

A resposta da SABESP à seca de 2014-2015 com uma abordagem integrada de mitigar a crise hídrica incluiu 1) a redução da perda de água, 2) o aumento da oferta, 3) a redução de pressão e 4) incentivos financeiros para conservação da água, demonstraram as habilidades exímias existentes no Brasil para lidar com tais crises e o papel que a redução da perda de água pode desempenhar.

Porém, são necessários mais esforços para a redução de perdas visando. Em 2019, enquanto a perda média foi de 339 l/lig.dia, os valores individuais variaram de 144 l/lig.dia a um surpreendente 1972 l/lig.dia. Municípios, concessionárias e reguladores precisam de um bom julgamento técnico tanto na avaliação do nível de perdas por localidade como também para estabelecer metas adequadas. Por exemplo, perdas de água de 500 l/lig.dia podem ser uma meta econômica se o custo local de produção de água for baixo, e os recursos hídricos abundantes. Em outro local, esses mesmos 500 l/lig.dia poderão ser absurdamente altos.

No entanto, definir metas de perdas de água não é uma ação trivial. Uma abordagem excessivamente simplista e incorreta, embora comumente utilizada, é usar o indicador de (%) relativo às perdas água sobre água fornecida (IN049) e estabelecer uma meta de 10% a 20% (por exemplo), com base em valores alcançados em outros países e cidades.

Essa abordagem não tem qualquer sustento porque o indicador percentual é influenciado pelo nível de consumo, e o valor financeiro da água e os custos financeiros para reduzir perdas podem ser bem diferentes nas diversas partes do Brasil e do mundo.

Definir metas na unidade l/lig.dia (IN051) constitui uma melhoria em relação à unidade % (IN049), no entanto as metas têm de ter em consideração os custos e benefícios financeiros (e ou

econômicos) locais do controle de perdas. O contexto local é extremamente relevante para definir o que é ótimo para cada sistema de abastecimento e sua comunidade e meio ambiente.

As metodologias para determinar o nível ideal de perdas de água remontam a muitos anos atrás, especialmente para análises no Reino Unido nas décadas de 1970 e 1980. Esses métodos, que focavam apenas perdas reais, evoluíram e resultaram em um método padrão que foi usado no Reino Unido por muitos anos. Como estudante de pós-graduação, absorvi esses métodos e juntei-lhe abordagens para determinar um nível ótimo de perdas aparentes, obtendo, portanto, um nível ótimo de perdas totais de água. O meu modelo de perdas ótimas de água foi publicado em 2010, com toda a teoria e equações detalhadas.

Desde então, trabalhei com parceiros na aplicação do modelo em cerca de 20 países, e fiz aplicações mais intensivas em Belize, Brasil, Canadá, Chile, Quênia, Zâmbia, Emirados Árabes Unidos e EUA. Apresentei o modelo na Conferência de Perdas de Água da IWA, em São Paulo, em 2010, e alguns engenheiros brasileiros adaptaram o modelo ao Brasil, para além das 8 companhias brasileiras com as quais trabalhei até 2015. Com o decorrer dos anos, o modelo evoluiu e melhorou. Cada aplicação se enquadra em um contexto diferente que necessitava de adaptações. Isso afetou a parte mecânica do modelo, mas não o modelo conceitualmente. É claro que sempre foi necessário um esforço considerável na parametrização.

Em 2019, o projeto PROEESA 2, com foco em perdas de água e eficiência energética, se interessou em adaptar o modelo ao Brasil. O ProEESA realizou um esforço massivo em customizar o modelo de forma rigorosa, mas ainda assim, se deparam com uma grande variedade de situações e de valores paramétricos em um país tão grande e diversificado como o Brasil.

Para mim, foi um grande prazer estar envolvido nos esforços do PROEESA 2 de customizar e parametrizar o modelo para o Brasil. Alguns avanços importantes foram feitos pela equipe, incluindo 1) uma revisão completa da otimização de perdas aparentes contabilizando fraudes, conexões clandestinas, 2) abordagem da submedição, 3) uma revisão aprofundada para o componente de custos de expansão de capacidade do sistema, tendo em conta as informações disponíveis no Brasil, e 4) a ênfase dada ao patamar econômico na seleção de uma meta.

O PROEESA também tem o mérito especial por fazer um grande esforço em envolver vários stakeholders – especialmente companhias e agências reguladoras– na introdução de uma nova abordagem para o gerenciamento de perdas de água. O PROEESA exemplificou três aspectos importantes de qualquer grande projeto como este – 1) trabalho árduo incansável, 2) bom trabalho em equipe dentro do time do projeto e 3) comunicação proativa forte e em colaboração com os stakeholders interessados desde estágios iniciais.

Para concluir, este documento e o software adjunto é uma conquista no mundo de gestão de perdas de água. Acredito que este documento levará o Brasil a uma posição de destaque na comunidade técnica, gerencial e regulatória da perda de água do mundo. Não obstante desenvolvimentos sucessivos ao modelo aqui apresentado serem úteis. Sem dúvida, evoluções e refinamentos serão necessários nos próximos anos, no entanto o documento constitui um marco importante na longa jornada que é a gestão da perda de água.

Chapel Hill, Carolina do Norte, Estados Unidos da América, março 2021

Alan Wyatt

Especialista em controle de perdas de água

Por Eng. Marcelo Depexe

O tema “perdas de água” tem recebido cada vez mais atenção da sociedade, dos governantes, das agências de regulação, bem como da imprensa e entidades não governamentais. Torna-se inevitável a comparação entre municípios e países, o que nem sempre é adequado. Apesar da expansão do conhecimento e tecnologias voltados para a melhoria da eficiência operacional, os índices nacionais demonstram pouca evolução. As ações para reduzir perdas são amplamente conhecidas e debatidas. A grande questão é saber qual ação é a necessária em cada caso particular, e em qual magnitude de investimento. Neste contexto, a aplicação de modelos econômicos para perdas de água possibilita uma nova abordagem para a definição de metas, ações e investimentos, de forma muito mais assertiva e com viabilidade financeira.

O modelo econômico de perdas permite a definição de metas de longo prazo, com uma base científica e econômica, específica para cada local. Cada município possui características diferentes de topografia, material da rede, idade das infraestruturas e custos de produção. Portanto, a dinâmica da evolução das perdas é diferente, da mesma forma que é o nível econômico. Assim, evitam-se as comparações errôneas, que induzem a tomada de decisão equivocada e dispendiosa, ao se estabelecer metas totalmente incompatíveis com a realidade local.

Talvez mais importante do que saber até onde ir, é saber qual caminho tomar para alcançar o objetivo. O modelo econômico permite a identificação do tipo de ação necessária para cada local, bem como o investimento necessário anual para a redução e controle da perda. Fica evidente que a busca pela melhoria é uma ação constante, que requer investimentos permanentes. Considerando a dinâmica natural dos sistemas de abastecimento, é provável que o próprio nível econômico se altere ao longo do tempo, à medida que as características da infraestrutura se modificam. Então é recomendável atualizar o balanço hídrico e o modelo econômico periodicamente.

O modelo aqui apresentado foi desenvolvido ao longo dos anos e aplicado em situações reais. Possui grande robustez e fornece informações valiosas para a tomada de decisão. Sugiro fortemente que as companhias de saneamento estudem este método e busquem dados operacionais mais precisos, para melhorar a qualidade do modelo, tendo em vista que nem todas as informações necessárias estão disponíveis em bases públicas de dados. A melhoria da eficiência operacional e, em última análise, a sustentabilidade das companhias, depende de uma abordagem com mais embasamento técnico e financeiro para o direcionamento dos investimentos voltados para a redução das perdas.

Curitiba, março 2021

Eng. Marcelo Depexe
Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR
Diretoria de Operações - DO

Por Eng.^a Rita Cavaleiro de Ferreira

Em outubro de 2018 tomei conhecimento do modelo desenvolvido por Wyatt em 2010 em uma apresentação realizada por Marcelo Depexe na Sanepar em Curitiba. Desde então, o modelo me cativou intelectualmente e traduzi-o da língua inglesa para o português, tentando ao mesmo tempo interpretar e aplicá-lo com os dados disponíveis no Brasil.

Com a versão disponível em finais de 2019, contatamos o autor do modelo Alan Wyatt, com quem temos estado em permanente discussão e de onde resultaram descobertas incrementais. Apesar dos diversos subtemas do modelo poderem ter variantes, decidi conservar na presente publicação as discussões tidas até ao momento, refletindo uma variante do modelo. No entanto, estamos cientes que o modelo pode seguir evoluindo e que a presente publicação é apenas uma de várias variantes possíveis.

Todavia, os princípios descritos no modelo 2010 seguem intactos: O nível econômico de perdas está entre dois extremos de custos opostos entre si. No caso das perdas reais são i) os custos infinitos relativa à reparação de vazamentos versus ii) os custos para uma expansão ilimitada do sistema. Entre esses dois extremos antagônicos encontra-se o nível econômico alçures. Na nossa pesquisa ao longo de 2020 e 2021 aprofundamos o entendimento das equações que o compõem, encontrando novas abordagens e variações, mas mantendo os princípios.

Nos debatemos também com a simplicidade do modelo. Se por um lado a sua simplicidade faz com que seja facilmente assimilável, por outro lado buscou-se o detalhamento que trouxesse uma maior adesão à realidade, o que tornava o modelo cada vez mais complexo, perdendo transparência. Movidos entre estas duas tensões opostas nas nossas discussões, buscamos balancear complexidade e simplicidade, resultando a presente versão.

Por fim, resta-me agradecer a Alan Wyatt, a Marcelo Depexe e a todos citados nas contribuições especiais pela discussão enriquecedora tida nos anos da pesquisa, assim como aos meus colaboradores Fernando Finger e Kalfman Schuch que agilmente e com criatividade programaram os cálculos computacionais associados que permitiu aplicar o modelo em massa para todos os municípios com dados reportados no SNIS e na ANA.

Esperamos que o presente Guia seja útil aos profissionais brasileiros do setor de abastecimento de água e encorajamos analistas interessados a desenvolverem suas variantes e adaptações locais ainda mais ajustadas à realidade.

Brasília, Março 2021

Rita Cavaleiro de Ferreira

Coordenadora do ProEESA2

Sumário Executivo

Motivação

A Lei Nacional de Saneamento Básico - Lei nº 11.445/2007 (LNSB) estipula que serviços públicos de saneamento básico serão prestados com eficiência e sustentabilidade econômica e, na parte relativa a contratos dos prestadores de serviços, determina “a inclusão (...) das **metas progressivas e graduais** (...) de eficiência e de uso racional da água (...)”.

A redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020 (Art. 10-A) reforça que “os contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão conter, expressamente, sob pena de nulidade (...) metas de (...), de redução de perdas na distribuição de água tratada”.

Ao estabelecer essas metas é necessário ter presente o limite do tecnicamente possível. Mesmo assim, o limite técnico não é o nível desejável, pois operar nesse nível de excelência técnica exige investimentos onerosos que não são justificáveis economicamente perante a sociedade. Assim, o nível de perdas a considerar inicialmente poderia ser o econômico, onde o benefício de evitar perdas de água supera os custos de combatê-las. Há de se destacar, que diante do estresse hídrico em diversas regiões, é importante traçar metas a longo prazo que vão além do nível econômico, com vistas à sustentabilidade.

Neste sentido, o presente guia pretende apoiar prestadores, titulares e reguladores dos serviços de abastecimento de água i) na determinação do nível econômico de perdas para colocar metas racionais coerentes com o contexto local; ii) no diálogo e acordos de metas progressivas de redução de perdas de água; e iii) na ponderação da validade dos valores num contexto de incerteza dos dados.

As metas de eficiência e sustentabilidade financeira podem e devem ser usadas em Planos Municipais de Saneamento Básico, Contratos de programa, Contratos de concessão, Planos de gestão de Perdas de Água e Energia entre outras ferramentas e acordos que concretizam os princípios preconizados na LNSB e devem ser adotadas sobretudo pelas entidades reguladoras do setor.

O modelo e o ponto ótimo

O modelo utilizado no presente Guia está embasado no trabalho "**Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**"¹ de Alan S. Wyatt 2010. O modelo evidencia um raciocínio financeiro, é extremamente simples e transparente, ponderando por um lado os custos de combate a perdas e por outro lado os custos evitados pela redução das perdas reais de água assim como as receitas geradas por reduzir perdas aparentes.

Quantificando ganhos e perdas financeiras, o modelo de Wyatt chega a um ponto ótimo de perdas que é o ponto mais baixo em uma curva de custos em uma forma de U (ou U invertido no caso das perdas por submedição). Como o U tem uma forma achatada na sua base significa que o ponto ótimo é na prática um intervalo ótimo de perdas na unidade (% ou l/lig.dia), onde os respectivos custos são muito aproximados. Esse intervalo, (chamado de patamar econômico no presente guia) é relevante porque

- i) serve para acomodar incertezas associadas aos dados de entrada no modelo introduzidos e

¹ O modelo foca países em vias de desenvolvimento por habitualmente existirem elevados valores de inadimplência face aos volumes faturados, porém também é aplicável a países desenvolvidos.

- ii) os valores dos patamares patamar 2,5% ou patamar 5% verificam-se tecnicamente e operacionalmente mais acessíveis aos prestadores de serviço do que o ponto ótimo.

Assim, recomenda-se não focar no ponto ótimo, mas sim no intervalo ótimo de perdas de água.

Apesar de ser um modelo genérico, o modelo não é muito sensível a alguns dos dados de entrada (também pela forma de U que a curva de custos assume), o que significa que valores-padrão podem ser usados obtendo-se níveis econômicos aceitáveis. Os autores do presente estudo corroboram essa afirmação, com ensaios feitos para municípios brasileiros. O nível econômico de perdas [(%) ou (l/lig.dia)] não se altera muito no seu valor com diferentes dados de entrada, embora os respectivos custos e benefícios (R\$) possam variar bastante. Ajustes e aprimoramentos do modelo às condições e práticas locais irão melhorar a exatidão tanto do nível econômico de perdas como dos respectivos custos e benefícios.

Previsibilidade na governança

Embora a aplicação do modelo seja passível de maior ou menor rigor técnico, ela atende a princípios que fortalecem a previsibilidade, a estabilidade regulatória e a governança na operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água.

Cabe ao analista realizar ajustes do modelo e avaliar a precisão necessária dos dados de entrada para que os resultados sejam aceitáveis pelo regulador, prestador de serviço, titular e sociedade.

Recomendação de realizar outros modelos complementarmente

Para efeitos de orientações internas no prestador de serviço ou de regulação, recomenda-se a realização de outros modelos complementares de perdas. Embora o presente manual foque em uma metodologia específica, é indicado o uso de mais abordagens. Distintos modelos validam-se, convergem nos resultados finais ou relativizam os resultados.

Os resultados de níveis econômicos dos vários modelos, assim como custos e benefícios, devem ser comparados bem como as fragilidades e fortalezas de cada um.

As unidades das perdas – (%) versus (l/lig.dia)

Para efeitos de modicidade é relevante ter presente o **nível de perdas** de água em %, porém esse valor é apenas orientativo. No momento de traduzir o nível de perdas em uma **meta** (com um ano fixo), esse valor deve ser convertido na unidade (l/lig.dia) nas suas três vertentes:

- *água não faturada (l/lig.dia)*
- *perdas reais (l/lig.dia)*
- *perdas aparentes (l/lig.dia)*

O cumprimento de uma meta expressa em percentagem de água produzida só é verificável e rigoroso se no ano_{base} e no ano_{meta} o consumo permanecer inalterado, e isso praticamente não ocorre. Então, os indicadores-meta devem ser acompanhados de faixas de intervalos e de mais informações tanto para o ano_{base} como para o ano_{meta} tais como:

- *Valor e intervalo de volume de perdas reais (m³)*
- *Valor e intervalo de volume de perdas aparentes (m³)*
- *Valor e intervalo de volume de fraudes (m³)*
- *Valor e intervalo de ligações (n^o) (e economias, quando pertinente)*
- *Valor e intervalo de comprimento de rede de distribuição (km)*

- Valor e intervalo de população abastecida (*Hab*)
- Valor e intervalo de per capita (*l./hab.dia*)
- Valor e intervalo de densidade de ligações (*lig./km de rede de distribuição*).

A revisão do nível econômico de perdas de água

Em termos de **revisão** do nível econômico de perdas cabe dizer que esse nível não é estático e necessita ser periodicamente recalculado e confirmado. Diversos fatores afetam o nível econômico de perdas e devem ser reavaliados na medida que sejam significativos, tais como:

- Existência de dados mais confiáveis (por exemplo, caso tenha sido divulgada uma nota das informações de acordo com a metodologia preconizada no ACERTAR²);
- Mudança nas tarifas e atualização de inflação;
- Estudos relativos à submedição de volumes por abastecimento em baixas vazões causadas pelas válvulas de boia em nas caixas de água, assim como demais estudos relativos à submedição inicial dos hidrômetros;
- Aumento na taxa de cobertura de esgoto, pois as receitas unitárias por hidrômetro instalado aumentam, baixando o nível econômico de submedição;
- Precarização ou melhorias sociais com aumento ou redução significativa de áreas irregulares e favelização;
- Variações no per capita e densidade de ligações na rede;
- Mudança em custos de mão de obra e de construção;
- Situações de escassez hídrica ou previsão de escassez hídrica;
- Novos estudos sobre custos de expansão do sistema;
- Alterações na capacidade instalada.

Prazo das medidas para alcançar o nível econômico de perdas de água

Para complementar a meta, cabe determinar o **prazo** no qual deve ser alcançado o nível econômico, lembrando que

- **prazos apertados** suscitam picos de investimentos que a liquidez da empresa pode não suportar, e que
- **prazos dilatados** podem não superar a taxa natural de crescimento de perdas, fazendo com que o nível econômico nunca seja atingido.

Pelas abordagens distintas de combater as perdas justifica-se uma distinção no prazo por atuação, sendo que algumas têm impactos imediatos que estão sob a responsabilidade da atual administração, porém repercutem no desempenho futuro que apenas é mensurável em outros ciclos de administração. Uma ausência de atuação em uma determinada área (conservação das redes, por exemplo) compromete alcançar uma meta de perdas colocada fora do horizonte do atual ciclo de gestão.

Assim, recomendam-se prazos distintos para o controle

- i) perdas aparentes, relativas ao controle de
 - a. submedição
 - b. fraudes e falhas de cadastro
 - c. usos clandestinos
- ii) perdas reais relativas ao controle de
 - a. gestão de pressões

² <http://www.acertarbrasil.com/>

- b. conservação da rede
- iii) confiança das informações de perdas de água relativas
 - a. Consolidação de procedimentos do balanço hídrico
 - b. Às características da rede e ramais.

Do ensaio do modelo nos municípios brasileiros resultaram níveis de perdas muito distintos e individuais para cada município, e associado a esse nível, a gravidade de se afastar dele. Em alguns municípios, o fato de estar mais ou menos a 10% do seu nível econômico de perdas de água (% ou l/lig.dia) não gera grande impacto financeiro, sendo que em outros municípios desviar-se 3% representam custos significativos. Desta análise resulta uma nova classe de sistemas (municípios) que necessitam de uma atenção mais intensa no controle de perdas. A amplitude do seu patamar econômico individual é o que confere maior ou menor flexibilidade no nível de perdas ótimo.

Quanto à abrangência da meta, em termos de economicidade faz sentido ser calculada por sistema de abastecimento. No entanto, diversos sistemas podem ser agrupados por município, relevando o compromisso junto de cada titular do serviço. Não existe justificativa para que a meta de perdas seja por prestador de serviço, quando este tem uma dimensão regional.

Fragilidades e fortalezas do modelo

A maior fortaleza do modelo é sua clareza na lógica e a tentativa de quantificar economicamente os custos e os benefícios das perdas de água nos sistemas, porém, vem acompanhado de algumas fragilidades também.

Como fortaleza se considera que o modelo é facilmente parametrizável, isto é, com poucos dados se consegue calcular o valor econômico de perdas, no entanto, em algumas das variáveis o analista pode sentir incerteza sobre o valor exato ou o mais correto. O modelo é relativamente robusto, no sentido de que o output (nível de perdas) não varia tanto como o input (variáveis inseridas). Mesmo assim, alguma incerteza no output deve ser tolerada, por isso os autores recomendam não se fixar em um ponto ótimo, mas sim em um intervalo ótimo razoável.

Se recomenda realizar análises de sensibilidade para avaliar a variância do nível econômico de perdas face à incerteza dos dados inseridos no modelo.

O modelo tem um caráter estático e calcula o nível ótimo mantendo as condições atuais (por exemplo, pressão média de 50 mca). Ao operar o sistema com uma outra pressão média, o valor ótimo é diferente. Para avaliar o sistema nos seus diferentes contextos (temporais), se recomenda calcular periodicamente (2 ou 3 anos) o nível econômico de perdas.

O modelo não é adequado para orçamentar com exatidão custos de controle de perdas de água, nem as atividades associadas e sua eficácia. O modelo Wyatt também não faz considerações sobre o prazo para alcançar o nível ótimo. Separadamente a PARTE 3 – PRAZOS (página 149) traz considerações sobre isso.

Siglas e Acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMZ	Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (Alemanha)
CT	Teste de Controle da metodologia ACERTAR
EE	Eficiência Energética
EP	Erro ponderado
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Cooperação Alemã)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDM	Índice de Desempenho da Medição
IWA	Associação Internacional da Água
NEP	Ferramenta de avaliação do Nível Econômico de Perdas
NBR	Norma Técnica Brasileira criada pela ABNT
NQA	Nível de Qualidade Aceitável
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
ProEESA2	Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água2 (GIZ / Ministério de Desenvolvimento Regional)
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SINISA	Sistema Nacional de Informação em Saneamento Básico
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento

Símbolos usados nas equações

AG001	População total atendida com abastecimento de água
AG002	Quantidade de ligações ativas de água
AG005	Extensão da rede de água
AG006	Volume de água produzido
AG010	Volume de água consumida
AG018	Volume de água tratada importado
AG019	Volume de água tratada exportado
AG021	Quantidade de ligações totais de água
AG024	Volume de serviço
AG028	Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água
b	Fator de economia de escala (-) tipicamente entre 0,7 e 0,8
c	Consumo per capita em (l/hab.dia)
c_e	Consumo médio efetivo per capita em (l/hab.dia), i.e, inclui os consumos que os hidrômetros não registram plenamente
c_a	Consumo médio de água de pessoas só com serviço de água em (l/hab.dia)
c_{ae}	Consumo médio de água de pessoas com serviço de água e de esgoto em (l/hab.dia)
C_{cad}	Custo anual de revisão e rigor da manutenção do cadastro (R\$/ano)
C_C	Custos anualizados de expansão do sistema (R\$/ano)
C_{exp}	Custo anualizado de expansão do sistema de produção de água em (R\$/ano)
C_h	Custo anual do programa de substituição de hidrômetros (R\$/ano).
C_{mo}	Custo de mão de obra para pesquisa e de reparação em (R\$/km)
C_{pes_rea}	custo de mão de obra para pesquisa, reparação e substituição da rede em (R\$/km)
$C_{pes_rea_A}$	custo de mão de obra para pesquisa, reparação e substituição da rede em anualizado (R\$/km)
C_{PC}	Custo anual de controle de perdas aparentes de água em (R\$/ano)
C_{PR}	Custo anual de controle de perdas reais de água em (R\$/ano)
C_{PROD}	Custo variável anual de produção de água em (R\$/ano)
C_v	Custo anual do programa de identificação e substituição de hidrômetros violados (R\$/ano).
D	Comprimento da rede de distribuição de ligação por ligação (km/lig.)
E	Razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente
ES001	População total atendida com esgotamento sanitário
ES007	Volume de esgotos faturado
ES028	Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos

F	Excedente financeiro anual (ganho – positivo ou perda negativo) em (R\$/ano)
F_{exp}	Custo futuro de expansão sistema de produção de água em (R\$) (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro)
FN002	Receita operacional direta de água
FN003	Receita operacional direta de esgoto
FN011	Despesa com produtos químicos
FN013	Despesa com energia elétrica
FN020	Despesa com água importada (bruta ou tratada)
FRC	Fator de recuperação do capital é a taxa de retorno
f_0	taxa de submedição dos hidrômetros no ano 0 (ano de cálculo)
f_{id}	taxa de submedição base de hidrômetros no ano meta ou ideal - submedição base hidrômetros ideal (% de consumo) de acordo com os regimes de abastecimento de água no ano meta (caixas de água)
G	Taxa de crescimento populacional (-)
H	Custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro).
i_i	Idade do trecho i da rede (anos)
I_{Mot}	Idade média ótima do parque de hidrômetros (anos)
I_{Mred}	Idade média da rede de abastecimento (anos)
IN022	Per capita (l/hab..dia) – código do SNIS
IN050	Índice bruto de perdas lineares (m ³ /dia/km)
IN051	Índice de perdas por ligação
k	Coeficiente de custo de expansão do sistema em (R\$/m ³ /dia)
K	Constante própria de cada município
L	Comprimento total rede, que corresponde ao somatório dos trechos i (km)
L_{PC}	Volume de água relativa a perdas aparentes (m ³ /ano)
ℓ_{PC}	Perdas aparentes adimensionais em (-)
l_i	Trecho i da rede (km)
L_{PR}	Volume de água relativa a perdas reais m ³ /ano)
ℓ_{PR}	Perdas reais adimensionais em (-)
L_{sub}	Taxa média de perda de água por submedição em (m ³ /dia)
med	Mediana da idade das componentes da rede (anos)
N	Número total de ligações (nº)

p	Número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)
p_a	Número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig) só com serviço de água
p_{ae}	Número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig) com serviço de água e esgoto
P_h	Período para substituição de hidrômetro (anos).
P_s	Período para realizar uma pesquisa ativa à totalidade da rede (anos)
p	Pessoas/Ligação (AG001/AG002)
Q_c	Volume de água consumida (de modo autorizado ou não autorizado) (m ³ /ano)
Q_{c0}	Consumo no ano base 0 (m ³ /ano)
Q_p	Volume de água produzida (m ³ /ano)
Q_r	Volume de água com receita arrecadada (m ³ /ano)
R	Receita anual (R\$/ano)
r	Taxa de retorno ou taxa de desconto (-)
s	Inclinação da linha de precisão de medição em (%/ano)
T	Tarifa unitária (ou receita unitária) em (R\$/m ³)
T_a	Tarifa unitária (ou receita unitária) em (R\$/m ³) de água
T_{ae}	Tarifa unitária (ou receita unitária) em (R\$/m ³) de água e esgoto
t	Tempo necessário até que a ampliação seja necessária em (anos)
tx_{rep}	Taxa de reposição de hidrômetros (%/ano)
VP	Valor presente
V_T	Período de transição (anos)
V_U	Vida útil das componentes da rede (anos)
V_{Uecon}	Vida útil econômica das componentes da rede (anos)
V_{Uot}	Vida útil ótima do parque de hidrômetros (anos)
z_{exp}	Período relativo à expansão (anos)
z_i	Vida útil da rede (anos)
α	Coefficiente de perdas de base e vazamentos reportados (-)
β	Coefficiente de perdas de vazamentos não reportados (-)

1. Introdução

Esta ferramenta de avaliação do Nível Econômico de Perdas de água (NEP) é útil para elaboração de planos municipais de saneamento básico, para contrato (de programa de concessão) na delegação dos serviços, para metas internas, entre outros. Em especial, também pode ser utilizada para definição de destinações específicas ou incentivos (regulação).

Os incentivos à eficiência têm de vir por parte do titular do serviço ou do regulador por meio de acordos e normativos que defendam o melhor interesse dos usuários dos prestadores em um ambiente de sustentabilidade ambiental.

Enquadramento na cooperação Brasil – Alemanha

A Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha (BMZ) cooperam no “Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água - Fase 2” (ProEESA 2). A coordenação do lado alemão está a cargo da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável/*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ), sendo a entidade executora a empresa de consultoria AKUT.

A cooperação no âmbito deste projeto teve início em 2016 com o ProEESA fase 1. Em agosto 2019, iniciou-se o ProEESA, fase 2, o qual tem prazo para conclusão prevista para novembro de 2021.

O ProEESA 2 visa atuar na melhoria das condições para implantação de medidas de eficiência energética nos prestadores de serviços de saneamento, por meio de ações junto às entidades reguladoras do setor. Pretende-se, a médio prazo, alcançar reduções significativas nas despesas com energia elétrica (custos evitados), nos consumos energéticos e nas perdas de água, com inerentes melhorias na conservação das redes de distribuição e nas instalações de bombeamento.

Justificativa da elaboração do presente guia

A eficiência na legislação do setor de saneamento

A Lei Nacional de Saneamento Básico - Lei nº 11.445/2007, no seu Capítulo I, sobre os Princípios Fundamentais, estabelece que serviços públicos de saneamento básico serão prestados com VII - eficiência e sustentabilidade econômica.

No Capítulo II, Artigo 11, Parágrafo 2º, Inciso II, sobre as condições de validade dos contratos dos prestadores de serviços públicos de saneamento básico, determina “a inclusão (...) das **metas progressivas e graduais** (...) de eficiência e de uso racional da água, da energia (...)”.

No Capítulo V determina que os reguladores atenderão ao princípio de definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos como a modicidade tarifária, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços e que permitam a apropriação social dos ganhos de produtividade (no inciso IV).

De acordo com a mesma Lei, a entidade reguladora editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, que abrangerão aspectos de (I) padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços e de (VII) avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados (Art. 23).

Mesmo nas situações em que os prestadores de serviço não operem com base em um contrato, o CAPÍTULO VI relativo aos ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS define no § 1º do Art. 29 que os serviços públicos terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, com base na instituição das tarifas, preços públicos e taxas que observem (V) a recuperação dos custos incorridos na prestação do serviço, em regime de eficiência, (VII) o estímulo ao uso de tecnologias modernas e eficientes, (...) e (VIII) o incentivo à eficiência dos prestadores dos serviços.

Sob uma perspectiva econômica e financeira, as ineficiências no uso de água e energia elétrica constituem custos evitáveis que são suportados por subsídios à operação dos serviços e por taxas e tarifas cobradas dos usuários. Já sob uma perspectiva ambiental, o uso de energia sem considerações de eficiência contribui para a emissão de gases de efeito estufa desnecessários, com impactos nas alterações climáticas em escala global.

A Lei Nacional de Saneamento Básico faz diversas referências à eficiência dos prestadores de serviço e que as tarifas devem ser definidas com base em custos incorridos em regime de eficiência. Porém, a lei deixa em aberto o que são regimes de eficiência, deixando às agências reguladoras margem suficiente para intervir na eficiência.

O nível econômico de perdas e o contexto do prestador de serviço

Para definir as **metas progressivas e graduais** na área de eficiência é necessário considerar o contexto do prestador de serviço, especialmente quanto à disponibilidade hídrica e aos custos da prestação do serviço. Esses e outros fatores permitirão determinar os níveis econômicos de perdas de água.

O nível econômico ótimo de perdas é determinado maximizando o excedente financeiro do prestador de serviço em função de perdas, incluindo os aspectos de disponibilidade hídrica, custos de operação e manutenção da prestação do serviço.

A janela temporal de atuação para a eficiência

A eficiência se define por produzir mais com menos recursos, otimizando o uso dos recursos (monetários, hídricos, temporais, humanos e outros) e os resultados obtidos. Os gestores das prestadoras de serviço estão bem cientes disso e gerenciam os sistemas de saneamento com essa premissa. Porém, a atuação na área de reabilitação e manutenção de infraestruturas diverge entre os gestores dependendo do horizonte para tomada de decisão. No curto e médio prazo (1 a 4 anos), a redução de custos significa minimizar as atividades de reabilitação e manutenção. Visando o longo prazo, a manutenção e reabilitação contínua é uma condição imprescindível para manter e prolongar a vida útil das infraestruturas. Ambas as estratégias de ação empresarial são antagônicas e conduzem a situações de eficiência válidas, dependendo do horizonte de gestão em mente.

A obtenção de bons desempenhos na redução das perdas de água em sistemas de abastecimento não é fruto de esforço ou investimento realizado em um único momento. Alcançar um nível considerado eficiente nas perdas de água ou no consumo de energia requer anos consecutivos de aprimoramento em medidas estruturantes na gestão que conduzem a uma melhoria na operação e manutenção do sistema.

Por ser um esforço superior a um ano, dificilmente os ciclos de gestão (4 anos) atingem os patamares de regimes de eficiência se não houver continuidade encadeada. No entanto, é possível avaliar se a administração pública desse ciclo se aproximou ou se distanciou de níveis eficientes. Esses ciclos de gestão podem ser também os períodos para a revisão de planos de saneamento ou revisões ordinárias de tarifas.

Todas as administrações municipais, sujeitas ao calendário democrático, recebem um conjunto de infraestruturas para operar e gerir durante o seu ciclo de gestão. No final do período de administração entregam o conjunto de infraestruturas em igual estado de conservação e de desempenho, em melhores, ou em piores condições.

É desejável que os gestores da prestação do serviço estabeleçam metas e entreguem as infraestruturas em melhores condições do que receberam, de modo que em algum momento seja possível operar em regime de eficiência. A atuação da administração na sua janela temporal é responsabilidade da administração atual e condiciona o desempenho das administrações futuras.

O presente manual pretende equilibrar a visão de eficiência de curto prazo com a de longo prazo, através de metas estáveis embasadas em níveis de desempenho a alcançar no longo prazo, mas com atuação já no curto prazo.

Descrição do guia

Este guia contém a presente introdução, assim como três partes organizadas da seguinte forma:

A **PARTE 1** incide na explicação do modelo e inclui os seguintes capítulos:

O **Capítulo 2** incide na revisão de conceitos básicos entre as variáveis que são relevantes para o encadeamento das fórmulas apresentadas no capítulo seguinte.

O **Capítulo 3** apresenta as fórmulas para determinar o nível económico de perdas reais e perdas aparentes. Além disso, contém notas de onde conseguir os dados para entrar nas fórmulas e considerações sobre a validade dos valores.

A **PARTE 2** ensaia o modelo para dados do Brasil.

O **Capítulo 4** incide nas perdas aparentes e o **Capítulo 5** nas perdas reais. Ambos os capítulos realizam uma análise nacional, com considerações sobre os dados introduzidos e análises dos resultados do modelo incluindo uma análise por variável e por região geográfica. Apresenta um olhar mais detalhado sobre casos isolados e de como lidar com a incerteza dos valores. O **Capítulo 6** compara a situação atual de perdas reportada ao SNIS (2019) com os níveis económicos obtidos pelo modelo.

A **PARTE 3** incide sobre os prazos para alcançar as metas de perdas de água para várias áreas de atuação para controle de perdas aparentes e reais.

Metodologia usada no presente guia

Elaboração colaborativa

A presente publicação foi realizada de modo colaborativo. Os trabalhos foram desencadeados após uma apresentação realizada por Marcelo Depexe em 09/10/2018 no Workshop *Ferramentas para o pré-diagnóstico e monitoramento das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistema elevatórios de água* da Sanepar e em maio de 2019 iniciaram-se os trabalhos neste Guia. Diversas discussões alimentaram novas questões que foram trabalhadas no presente Guia para as quais foram recebidas colaborações e contribuições. Almeja-se que o guia seja evolutivo e provavelmente será reeditado sempre que houver novas contribuições e descobertas neste tema.

Metodologia

A primeira parte (relativa ao nível econômico) incide no trabalho de Alan S. Wyatt – interpretações e divergências encontradas.

A segunda parte trata sobre a meta e apresenta considerações sobre o prazo para atingir o nível econômico disposto em diversos estudos, os quais podem ser verificados em Referências Bibliográficas.

Considerações prévias sobre o nível econômico e financeiro de perdas de água

Embora se use o termo “nível econômico de perdas” no presente guia, de fato estima-se o nível ótimo financeiro de perdas de água, dado que os benefícios (e custos) considerados são maioritariamente financeiros, não monetizando benefícios econômicos como, por exemplo ambientais e sociais, entre outras externalidades associadas à redução das perdas de água.

Dado a complexidade de estimar benefícios ambientais e sociais, os mesmos não são estimados no guia, porém podem ser realizados modelos com essas preocupações no nível local. A gestão das perdas de água não tem apenas objetivos financeiros e como tal, as metas devem ser mais ambiciosas do que aquelas apenas referentes ao break-even da ação de combate às perdas de água;

PARTE 1 - MODELO DO NÍVEL ECONÔMICO

2. Conceitos básicos de perdas de água

O presente capítulo aborda conceitos básicos e as relações entre as variáveis que são relevantes para o encadeamento das fórmulas apresentadas no capítulo seguinte. O capítulo apresenta a tradução e interpretação de partes da publicação "**Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**" de Alan S. Wyatt. Inclui ainda reflexões sobre a abordagem e em diversos pontos contém atualizações.

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão 2020 e versão atual 2021

No documento de 2010 Wyatt calculou níveis ótimos de “perdas comerciais”. Em termos gerais essa perda de água corresponde atualmente apenas à componente de perdas aparentes por submedição (IWA).

O modelo de Wyatt de 2010 não abordava os volumes relativos a fraudes e usos clandestinos que são necessários para auferir o nível ótimo de perdas aparentes. Na presente versão são abordados esses usos o que aumentou a análise e a necessidade de incluir mais termos nas equações.

O documento de 2010 calculava as perdas “comerciais” e as reais em termos percentuais (%), onde a primeira é o percentual de volume consumido e a segunda é o percentual de volume produzido. A versão de 2020 e a atual calculam os níveis ótimos de perdas (submedição, perdas aparentes e reais) na unidade (l/lig.dia), relevante para estabelecimento de metas e auferir desempenho.

Nos últimos 10 anos também se consolidaram entendimentos sobre a submedição. Anteriormente a submedição (ℓ_{sub}) às vezes era referida como um percentual do volume consumido (Q_c) e outras vezes como um percentual do volume medido (Q_m). Esse entendimento ficou mais consensual e a submedição comum é um percentual do consumido conforme fórmulas explicativas no presente capítulo. Este fato fez com que as fórmulas tivessem um aspecto mais complexo em relação ao documento de 2010 e que os respectivos símbolos fossem mais extensos na sua definição.

Uma das variáveis centrais no documento de Wyatt 2010 eram as “perdas comerciais (l_{pc})”, a qual se tornou as perdas aparentes (l_{pa}) no documento de maio 2020 e agora, neste documento, essa variável central ficou mais específica e chama-se perdas por submedição evitáveis (ℓ_{evit}).

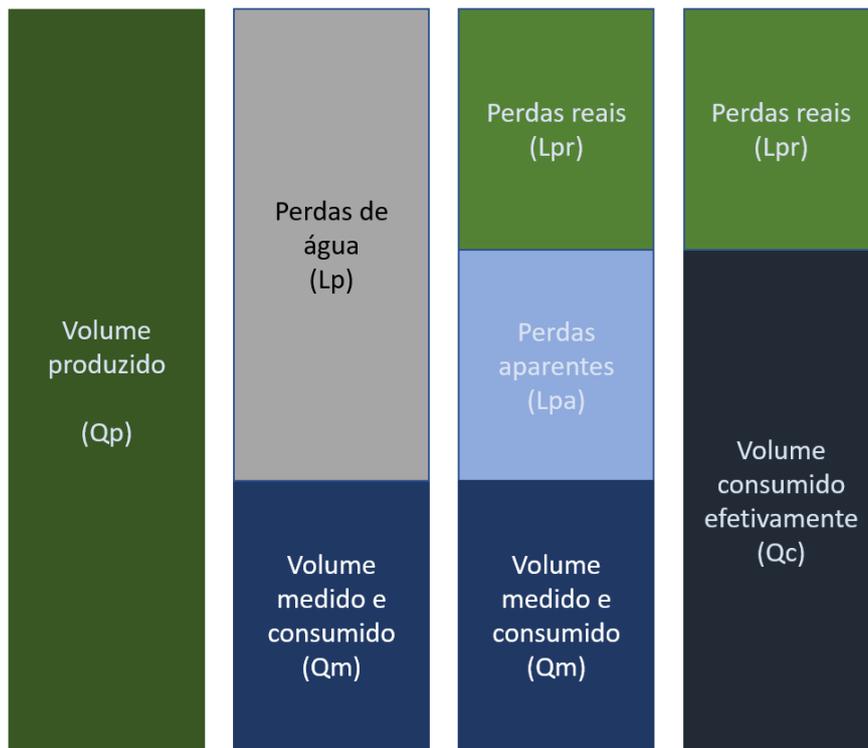
Balço hídrico usado no modelo

Em seguida apresentam-se figuras e equações que mostram as relações entre as variáveis que serão utilizadas mais à frente no modelo. Primeiro definem-se os volumes e depois os coeficientes e indicadores que derivam deles.

Volumes

A seguinte figura resume os volumes de produção e de perdas de água descritos nas equações seguintes.

Figura 1 – Volumes produzidos e de perdas de água



Volume de perdas e de água produzida

Volume de perdas

O volume de perdas é composto pelas seguintes componentes.

Equação 1 – Volume de perdas

$$L_P = L_{PA} + L_{PR}$$

conforme 2ª e 3ª coluna da Figura 1, onde:

- L_P volume de perdas de água (m³/ano)
- L_{PA} volume de perdas aparentes de água (m³/ano)
- L_{PR} volume de perdas reais de água (m³/ano)

Volume de perdas reais

A água produzida (Q_p) flui para o sistema de distribuição. Uma parte dessa água é consumida com usos proveitosos (Q_c), o restante corresponde água perdida no sistema de distribuição sem impactos benéficos. Esse volume são as perdas reais de água (L_{PR}).

Equação 2 – Volume de perdas reais (traduzida 1 de Wyatt, 2010)

$$L_{PR} = Q_p - Q_c$$

Conforme 1ª e 4ª coluna da Figura 1, onde:

- L_{PR} volume de água relativa a perdas reais (m³/ano)
- Q_p água produzida (m³/ano)
- Q_c água consumida efetivamente (m³/ano)

Volume de perdas aparentes e de água que gera receita

A porção de água consumida (Q_c) é a utilizada pelo usuário, independentemente de ser medida (Q_m). A água consumida (Q_c) é dividida em duas componentes, sendo a água que dá origem a uma receita (Q_r)³ e a que não dá, nomeadamente as perdas aparentes (L_{PA}).

Equação 3 – Volume de perdas aparentes (traduzida 2 de Wyatt, 2010)

$$L_{PA} = Q_c - Q_r$$

Onde:

L_{PA} volume de água relativa a perdas aparentes (m³/ano)

Q_c água efetivamente consumida (m³/ano)

Q_r volume de água faturada (m³/ano)

No presente modelo usa-se um balanço de massas. Isso significa que não se usam “volumes mínimos faturados” que correspondem, por exemplo, ao faturamento de 10m³ de água quando no hidrômetro tenha sido medido 5m³. Assim, o volume faturado (Q_r) corresponde ao medido (Q_m), conforme apresentado na Figura 2.

Equação 4 – Volume de perdas aparentes

$$L_{PA} = Q_c - Q_m$$

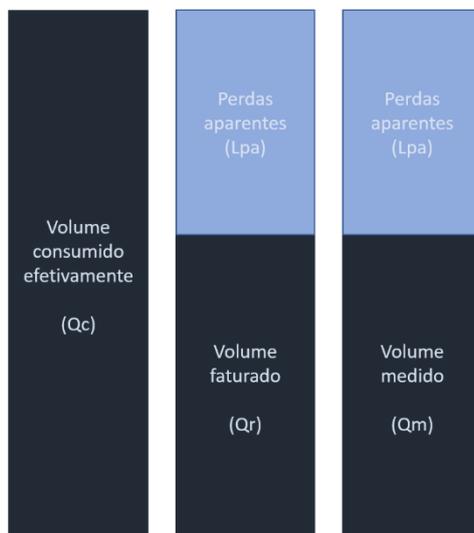
Onde:

L_{PA} volume de água relativa a perdas aparentes (m³/ano)

Q_c água efetivamente consumida (m³/ano)

Q_m volume de água medida (ou estimada) (m³/ano)

Figura 2 – Volume consumido, perdas aparentes e volume faturado

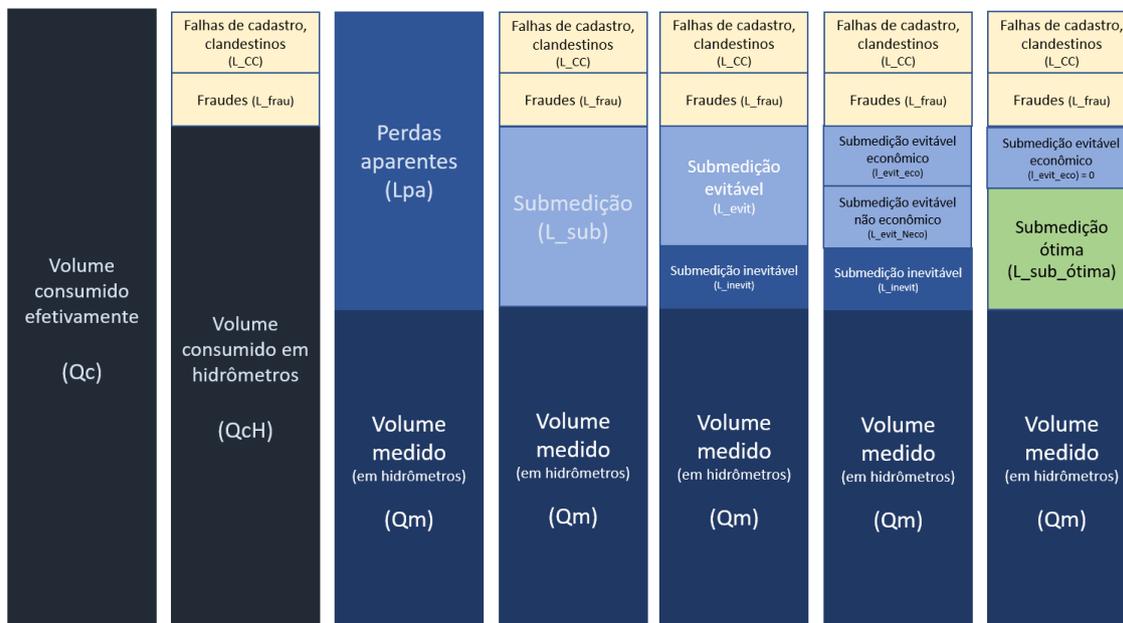


³ O termo utilizado no documento de 2010 é “revenue water”.

Volume consumido e perdas aparentes

A seguinte figura resume os vários volumes de submedição e de consumos descritos nas equações seguintes.

Figura 3 – Balanço das perdas aparentes e de consumos



Volume de água consumido

A seguinte equação é relevante para o cálculo das perdas reais ótimas na parcela do volume de produção e do volume de expansão. Em forma de per capita este valor também é usado para calcular custos de controle de perdas.

Equação 5 – Água consumida por todos os usuários

$$Q_c = Q_m + L_{PA}$$

Conforme 1ª coluna e 3ª coluna da Figura 3, onde:

Q_c – Volume consumido efetivamente (m³/ano)

L_{PA} – Volume de perdas aparentes (m³/ano)

Q_m – Volume medido em hidrômetros (m³/ano)

Para ilustrar melhor a importância de distinguir água consumida de água micromedida encontra-se um anexo (na página 173) que apresenta uma explicação adicional que evidencia as diferenças.

Equação 6 – Água consumida micro medida e fraudes, falhas de cadastro e usos clandestinos

$$Q_c = Q_{cH} + L_{Frau} + L_{CC}$$

Ou

$$Q_c = Q_m + L_{sub} + L_{Frau} + L_{CC}$$

Conforme 1ª, 2ª e 4ª coluna da Figura 3, onde:

Q_c – Volume efetivamente consumido (m³/ano)

Q_{cH} – Volume consumido em hidrômetros (m³/ano)

- L_{Frau} – volume de água relativo a fraudes (m³/ano)
- L_{CC} – volume de água relativo a falhas de cadastro e usos clandestinos (m³/ano)
- Q_m – água medida no hidrômetro do consumidor (m³/ano)
- L_{Sub} – volume de água relativo a submedição de hidrômetros (m³/ano)

Volume de perdas aparentes

As perdas aparentes podem ser divididas em perdas por submedição, falhas de cadastro, fraudes e usos clandestinos.

Equação 7 – Composição do volume de perdas aparentes

$$L_{PA} = L_{Sub} + L_{Frau} + L_{CC}$$

Conforme 4^a coluna da Figura 3, onde:

- L_{PA} – volume de água relativa a perdas aparentes (m³/ano)
- L_{Sub} – volume de água relativo a submedição de hidrômetros (m³/ano)
- L_{Frau} – volume de água relativo a fraudes(m³/ano)
- L_{CC} – volume de água relativo a falhas de cadastro e usos clandestinos (m³/ano)

Volume de perdas por submedição

As perdas por submedição podem ser divididas nas que são evitáveis e nas que não o são por razões técnicas dos hidrômetros. Os estudos de Wyatt 2010 incidem justamente no cálculo de ℓ_{sub} ótimo, isto é o nível econômico das perdas por submedição.

Equação 8 – Composição do volume de perdas por submedição

$$L_{Sub} = L_{evit} + L_{inevit}$$

Conforme 4^a e 5^a coluna da Figura 3, onde:

- L_{Sub} - volume de água relativo a submedição de hidrômetros (m³/ano)
- L_{evit} - volume de submedição tecnicamente evitável (m³/ano)
- L_{inevit} - volume de submedição tecnicamente inevitável (m³/ano)

O volume inevitável corresponde às situações em que o abastecimento ocorre predominantemente com caixas de água com válvulas de boia, onde um volume significativo é fornecido com vazões baixas situadas na faixa onde o hidrômetro não mede com precisão. Isso ocorre nos hidrômetros velocimétricos em maior escala. Nos hidrômetros volumétricos o volume tende a ser zero devido à maior precisão de medição em baixas vazões.

Volume de perdas por submedição evitáveis

As perdas por submedição evitáveis podem ser divididas nas que são economicamente viáveis evitar e nas que não são.

A submedição (ℓ_{sub}), ótima cuja metodologia está calculada em 2010 distingue a submedição econômica da não econômica.

Equação 9 – Composição do volume de perdas por submedição evitáveis

$$L_{evit} = L_{evit_eco} + L_{evit_Neco}$$

Conforme 5ª e 6ª coluna da Figura 3 – Balanço das perdas aparentes e de consumos, onde:

L_{evit} - volume de submedição tecnicamente evitável (m³/ano)

L_{evit_eco} - volume de submedição tecnicamente evitável e econômico (m³/ano) (fórmulas de Wyatt 2010)

L_{evit_Neco} - volume de submedição tecnicamente evitável e não econômico (m³/ano)

Níveis de submedição não econômica (l_{evit_Neco}) corresponde a uma sobre eficiência técnica, mas que não é econômica, ou seja, não rentável economicamente submedir tão pouco⁴.

A submedição econômica (L_{evit_eco}) indica um potencial de melhoria na gestão do parque de hidrômetros e constitui e mau desempenho técnico e econômico⁵.

Volume de perdas de submedição econômica - perdas de submedição ótima

As perdas por submedição ótimas ocorrem quando a submedição econômica (L_{evit_eco}) é nula, ou seja, quando é apenas composta pela submedição inevitável (L_{evit_Neco}), conforme 7ª coluna da Figura 3.

Equação 10 – Composição do volume de perdas por submedição (ou volume ótimo)

$$L_{sub_ótima} = L_{evit_eco} + L_{evit_neco} + L_{inevit}$$

$$\text{quando } L_{evit_eco} = 0, L_{evit_neco} = L_{evit_ótimo}$$

$$L_{sub_ótima} = L_{evit_ótimo} + L_{inevit}$$

Onde:

$L_{sub_ótima}$ - volume de submedição ótima (m³/ano)

L_{evit_neco} - volume de submedição tecnicamente evitável que não é econômico (m³/ano)

$L_{evit_ótimo}$ - volume de submedição ótimo (m³/ano)

L_{evit_eco} - volume de submedição tecnicamente evitável e econômico (m³/ano)

L_{inevit} - volume de submedição tecnicamente inevitável (m³/ano)

Indicadores de perdas

Em seguida apresentam-se algumas equações que relacionam as variáveis entre si e que são necessárias para o modelo apresentado no relatório. Podem-se definir as perdas de modo adimensional conforme as equações abaixo.

Como consideração prévia relembra-se que constitui um erro somar percentagens de perdas (reais e aparentes) quando os denominadores são diferentes (água consumida e água produzida).

Perdas reais - adimensional

O modelo de Wyatt, 2010 trazia as perdas com as equações abaixo:

⁴ Na Figura 7 – Condição ótima de perdas por submedição (Figura 13 Wyatt) corresponde à parte do lado esquerdo do ponto ótimo.

⁵ Na mesma figura corresponde à parte do lado direito do ponto ótimo.

Equação 11 – Perdas reais adimensionais (traduzida 3 de Wyatt, 2010)

$$\ell_{PR} = \frac{L_{PR}}{Q_p}$$

Onde:

ℓ_{PR} – perdas reais adimensionais (-)

L_{PR} – perdas reais (m³/ano)

Q_p – água produzida (m³/ano)

Perdas por submedição – adimensional

A seguinte Equação 12 relaciona a 4ª coluna e a 5ª coluna da Figura 3.

Equação 12 – Perdas por submedição adimensionais (ajustada e traduzida 4 de Wyatt, 2010)

$$\ell_{sub} = \frac{L_{sub}}{Q_{CH}}$$

ℓ_{sub} – perdas por submedição adimensionais (-)

L_{sub} – perdas por submedição (m³/ano)

Q_{CH} – água consumida em hidrômetros (m³/ano)

Equivale a à seguinte equação que constitui a expressão matemática de submedição de acordo com protocolos de medição e aferição de hidrômetros.

Equação 13 – Perdas por submedição adimensionais

$$\ell_{sub} = \frac{L_{sub}}{Q_{CH}} = \frac{L_{sub}}{Q_m + L_{sub}}$$

ℓ_{sub} – perdas por submedição adimensionais (-)

L_{sub} – perdas por submedição (m³/ano)

Q_{CH} – água consumida e que passou em hidrômetros (m³/ano)

Q_m – água medida no hidrômetro do consumidor (m³/ano)

Perdas aparentes – adimensional

Equação 14 – Perdas por submedição adimensionais em relação ao volume consumido

$$\ell_{PA} = \frac{L_{PA}}{Q_c} = \frac{L_{sub} + L_{Frau} + L_{CC}}{Q_c}$$

ℓ_{PA} – perdas aparentes em relação ao volume consumido (-)

L_{PA} – volume de água relativa a perdas aparentes (m³/ano) L_{sub} – perdas por submedição (m³/ano)

L_{Frau} – volume de água relativo a fraudes (m³/ano)

L_{CC} – volume de água relativo a falhas de cadastro e usos clandestinos (m³/ano)

Q_c – água consumida (m³/ano)

Perdas reais e aparentes (l./lig.dia)

A seguinte equação permite somar indicadores de perdas (reais e aparentes) desde que o seu numerador seja o mesmo, isto é o mesmo número de ligações⁶.

Equação 15 – Composição de perdas a partir dos volumes (l./lig.dia)

$$\ell_p = \frac{L_{PA} + L_{PR}}{N} * \frac{1000}{365} = \frac{L_{sub} + L_{Frau} + L_{CC} + L_{PR}}{N} * \frac{1000}{365}$$

⁶ Não usar em umas parcelas as ligações ativas e em outras as ligações totais.

- ℓ_p – perdas de água (l./lig.dia)
- L_{PA} – volume de água relativa a perdas aparentes (m³/ano)
- L_{sub} – perdas por submedição (m³/ano)
- L_{Frau} - volume de água relativo a fraudes (m³/ano)
- L_{CC} - volume de água relativo a falhas de cadastro e usos clandestinos (m³/ano)
- L_{PR} – volume de perdas reais de água (m³/ano)
- N – ligações (lig.)

Equação 16 - Composição de perdas a partir de indicadores (l./lig.dia)

$$\ell_p = \ell_{PA} + \ell_{PR} = \ell_{sub} + \ell_{Frau} + \ell_{CC} + \ell_{PR}$$

- ℓ_p – perdas de água (l./lig.dia)
- ℓ_{PA} – perdas aparentes (l./lig.dia)
- ℓ_{sub} – perdas de água por submedição (l./lig.dia)
- ℓ_{Frau} – perdas de água aparentes relativas a fraudes (l./lig.dia)
- ℓ_{CC} – perdas de água aparentes relativas a falhas de cadastro e usos clandestinos (l./lig.dia)
- ℓ_{PR} – perdas reais (l./lig.dia)

Relações entre volumes

Volumes consumidos, consumidos em hidrômetros, e micromedidos

Conforme 1^a, 2^a e 3^a coluna da Figura 3 o volume consumido é maior que o consumido em hidrômetros e por sua vez maior que o medido.

$$Q_c > Q_{CH} > Q_m$$

Q_c – volume de água efetivamente consumido, seja de modo fraudulento, clandestino, ou medido por hidrômetro (m³/ano), (relevante para calcular posteriormente o nível econômico de perdas reais)

Q_{CH} – volume de água efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/ano)

Q_m – volume de água medido em hidrômetros (m³/ano)

Volumes produzido, volume consumido e perdas reais

Equação 17 - Relação volumes produzido, consumido e perdas reais (traduzida 5 e 6 de Wyatt, 2010)

$$Q_P = \frac{Q_c}{(1 - \ell_{PR})} \quad \text{ou} \quad Q_c = Q_P (1 - \ell_{PR})$$

Conforme 1^a e 4^a coluna da Figura 1, onde:

Q_c – água efetivamente consumida (m³/ano)

ℓ_{PR} – perdas reais adimensionais (-)

Q_p – água produzida (m³/ano)

Volumes consumido, medido e perdas aparentes

Equação 18 - Relação volume consumido e perdas aparentes

$$Q_c = \frac{Q_m}{(1 - \ell_{PA})} \quad \text{ou} \quad Q_m = Q_c (1 - \ell_{PA})$$

Conforme 1ª e 3ª coluna da Figura 3, onde:

- Q_c – água efetivamente consumida (m³/ano)
- ℓ_{PA} – perdas aparentes adimensionais (-)
- Q_m – volume de água medido em hidrômetros (m³/ano)

volume consumido em hidrômetros

Equação 19 - Conversão de volume de água micromedido (Q_m) em volume de água consumida medida (Q_{CH}) (sem equivalência Wyatt, 2010)

$$Q_{CH} = \frac{Q_m}{(1 - \ell_{sub})}$$

conforme 2ª e 4ª coluna da Figura 3, onde:

- Q_{CH} – volume de água efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/ano)
- Q_m – volume de água medido em hidrômetros (m³/ano)
- ℓ_{sub} – submedição em hidrômetros (% do volume consumido)

Relação volume consumido e ligações

Equação 20 - Relação volumes consumidos e ligações (traduzida 12 de Wyatt, 2010)

$$Q = N c p * \frac{365}{1000}$$

Esta equação pode ser aplicada a duas situações, dependendo apenas da definição do volume de água consumida (c), nomeadamente ao per capita em relação à água consumida em ramais com hidrômetros (Equação 21)⁷ ou a um per capita que incluía a água consumida em ligações sem hidrometração (Equação 22)⁸.

Equação 21 - Variação - Relação volumes consumidos em hidrômetros e ligações

$$Q_{CH} = N c_{CH} p * \frac{365}{1000}$$

Onde:

- Q_{CH} – volume de água efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/ano)
- N – número de ligações (nº)
- c_{CH} – per capita de água consumida em hidrômetros (l/hab.dia)
- p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

Equação 22 - Variação - Relação volumes consumidos (em hidrômetros e situações sem hidrometração) e ligações

$$Q_c = N c_c p * \frac{365}{1000}$$

Onde:

⁷ relevante para calcular o ótimo de perdas por submedição

⁸ relevante para calcular o ótimo de perdas reais

Q_c – volume de água efetivamente consumido (m^3/ano)
 N – número de ligações (n^o)
 c_c – per capita de água consumida ($l/hab.dia$)
 p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

Per capita

Diferentes per capita podem ser derivados de volumes distintos, nomeadamente:

c_c – per capita de água consumida efetivamente [$l/hab.dia$ ou ($m^3/pessoa.dia$)] (com origem na Equação 6 e Equação 5)

c_{cH} – per capita de água consumida em hidrômetros [$l/hab.dia$ ou ($m^3/pessoa.dia$)]

c_m – per capita de água medida [$l/hab.dia$ ou ($m^3/pessoa.dia$)] (com origem em micromedições, registros das companhias)

Se o per capita for um valor obtido por via da leitura da micromedição, deve ser tida em conta a submedição atual dos hidrômetros (ℓ_{sub}) para corresponder à água que efetivamente entrou nas casas dos usuários. A água consumida (C_{cH}) pode ser obtida através da seguinte equação:

Equação 23 – Relação volumes consumidos, atendendo à origem do dado micromedido

$$c_{cH} = \frac{c_{m_atual}}{(1 - \ell_{sub_atual})}$$

Onde:

c_{cH} – consumo médio per capita efetivo por via de hidrômetros ($l/hab.dia$)

c_{m_atual} – consumo atual médio per capita, cuja origem é a micromedição ($l/hab.dia$)

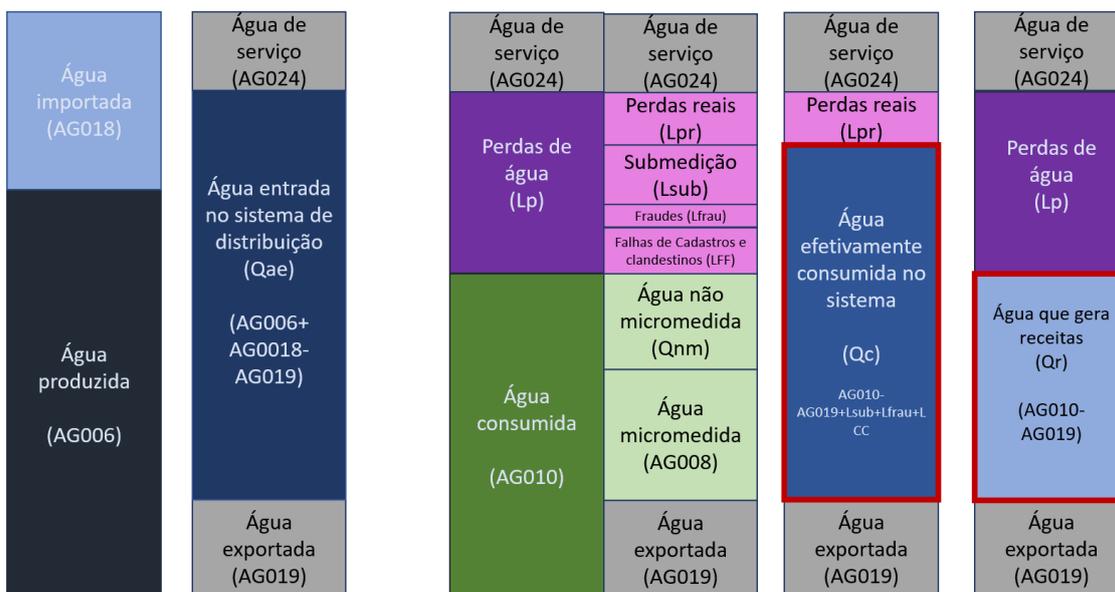
ℓ_{sub_atual} – perdas atuais por submedição adimensionais (-)

Balanço hídrico e SNIS

A seguinte figura apresenta os volumes de perdas calculados e as informações disponíveis no SNIS.

Se destacam a água efetivamente consumida (Q_c), relevante para calcular o nível ótimo de perdas reais, e a água consumida em ligações regulares (Q_{lig}), relevante para calcular o nível ótimo de perdas por submedição.

Figura 4 – Balanço hídrico, indicando as informações do SNIS



Relações causa – efeito - tipologias de perda e ações de controle

Em seguida apresentam-se algumas relações causa – efeito relativas à tipologia de perda de água e as respectivas ações de controle. O conceito causa-efeito é relevante mais adiante, para a definição dos custos associados.

Tabela 1 - Tipologia de perda e custos associados para mitigar essa perda

Tipologia de perda	Causa da perda de água	Custos de mitigação de perda de água
Perdas aparentes	Não faturamento de usos especiais, como usos próprios, usos públicos entre outros (neste caso não é uma perda de água mas sim uma perda financeira)	Sem custos significativos. Pode-se melhorar por meio de alteração de regulamento tarifário
	Ligações fraudulentas	Custos associados à pesquisa e detecção de fraudes nas ligações de água (incluindo hidrômetros viciados). Custos de campanhas de sensibilização da população, em áreas de alta vulnerabilidade social visando regularizar cada cidadão como cliente.
	Desgaste natural do hidrômetro	Custos associados a um programa periódico de troca e aferição de hidrômetros.
	Violação de hidrômetro	Programa de troca e aferição de hidrômetros Análise de consumos por meio de algoritmos e cálculos Inspeção e fiscalização do bom funcionamento dos hidrômetros

	Falhas de cadastro	Custos associados à revisão e ao rigor da manutenção do cadastro, inspeção e fiscalização das ligações
Perdas reais	Pressão elevada de abastecimento	Programa de controle de pressões
	Rupturas e falta de estanqueidade da infraestrutura	Pesquisa ativa de vazamentos e reparação Programa de substituição de redes e ramais antigos

3. Níveis econômicos de perdas de água

O presente capítulo segue essencialmente a abordagem de Wyatt 2010 para calcular o nível ótimo de perdas econômicas. Adicionalmente se introduz o conceito de patamar econômico que coloca o ponto ótimo em relação à sua significância em termos econômicos e que pode absorver incertezas de dados de entrada.

O capítulo traz reflexões sobre sistemas a priorizar no combate a perdas e sobre a validade dos níveis calculados que são necessários para efeitos de rever e recalcular periodicamente os níveis e patamares econômicos.

São assinaladas evoluções ao modelo e comentários sobre a interpretação face às condições e disponibilidade de dados no Brasil.

Para que as perdas de água estejam em um nível econômico o benefício de evitá-las supera os custos de combater essas perdas de água.

Distinguindo entre os vários tipos de perdas de água isso significa que:

- o nível ótimo de perdas por submedição é alcançado quando se maximiza o excedente financeiro que resulta da diferença entre a i) receita tarifária e ii) os custos de programas de substituição de hidrômetros são máximos;
- o nível ótimo de perdas por fraude é alcançado quando o custo de investigar uma fraude não compensa o ganho econômico de resulta dela;
- o nível ótimo de perdas por abastecimentos clandestinos é quando esse consumo é inexistente. Isto é, quando todos os domicílios estão com situação fundiária regularizada legalmente e têm um vínculo contratual com a companhia de água. O cálculo tem de ter considerações locais.
- o nível ótimo de perdas reais é alcançado quando se minimiza a soma dos i) custos de produção; ii) expansão do sistema e iii) pesquisa/reparo de vazamentos e conservação da rede e ramais;

Isso equivale a afirmar que o nível ótimo de perdas reais é alcançado quando o custo marginal de um programa de controle de perdas físicas tem a mesma magnitude que a soma dos custos de marginais de produção de água e de expansão futura; e o nível ótimo de perdas aparentes é alcançado quando a receita marginal é igual ao custo marginal de controle dessas perdas.

A função objetiva de nível de perdas de água

A função objetiva escolhida para este modelo é o excedente financeiro do prestador de serviço de abastecimento de água (as receitas totais menos os custos totais). No entanto, o modelo pode ser enquadrado de modo diferente, como por exemplo ter como objetivo a minimização da tarifa tendo por base critérios de qualidade do serviço e de manutenção de infraestruturas. Outro objetivo possível poderia ser maximizar a cobertura, condicionada a limites de tarifa, razão dívida/capital, qualidade do serviço e manutenção de infraestruturas.

O primeiro passo é escrever uma expressão para o excedente financeiro anual (ou prejuízo) do prestador de serviço em função do nível de perdas específicas aparentes e reais⁹ (ℓ_{PA} e ℓ_{PR}).

O excedente financeiro consiste na receita do prestador de serviço menos os custos, incluindo os custos de produção de água, o custo anualizado das expansões de capacidade, custos de controle de perdas reais e controle de perdas por submedição (pág. 13, Wyatt 2010)

⁹ No texto original se usa o termo perdas físicas e comerciais

O primeiro passo é colocar em uma fórmula:

Equação 24 - Excedente financeiro anual (traduzida 13 de Wyatt, 2010)

$$F = R - (C_{PROD} + C_{exp} + C_{PR} + C_{PC})$$

Onde:

F – excedente financeiro anual (ganho – positivo ou perda negativo) em (R\$/ano)

R – receita anual (R\$/ano)

C_{PROD} – custo variável anual de produção de água em (R\$/ano)

C_{exp} – custo anualizado de expansão do sistema de produção de água em (R\$/ano)

C_{PR} – custo anual de controle de perdas reais de água em (R\$/ano)

C_{PC} – custo anual de controle de perdas aparentes de água em (R\$/ano)

Na seguinte seção apresentam-se fórmulas de custo em função de l_{evit} e l_{PR} .

Para efeitos de modelagem, nem todos os custos associados à prestação dos serviços de água estão incluídos na fórmula dos excedentes financeiros. Por exemplo, serviço de dívida existente, depreciação e custos laborais fixos não são afetados por qualquer alteração das perdas reais ou aparentes. No que diz respeito a custos, apenas são considerados os relacionados com l_{evit} e l_{PR} . nas equações.

No entanto, é considerada a receita total para dar uma estimativa precisa dos benefícios monetários.

Portanto, o valor do excedente financeiro calculado pelo modelo não constitui o excedente total real; em vez disso, representa um somatório de termos vinculados aos custos ou benefícios relacionados com programas de controle de perda de água. A análise deste excedente ainda permite aos analistas encontrarem os valores ideais para l_{evit} e l_{PR} . (pág. 13, Wyatt 2010)

Perdas aparentes – cálculo do nível ótimo

Este subcapítulo inclui três componentes: i) perdas aparentes por submedição, ii) fraudes e iii) usos clandestinos, sendo que a primeira componente está dividida em dois passos. Após estas abordagens resume-se o nível ótimo com uma equação única, seguida de considerações para alimentar essa equação com dados.

Equação 25 - Composição de perdas aparentes em (l./lig.dia)

$$l_{pa} = l_{sub} + l_{frau} + l_{CC}$$

l_{pa} – volume de perdas aparentes de água (l./lig.dia)

l_{sub} – volume de perdas de água por submedição (l./lig.dia)

l_{frau} – volume de perdas de água aparentes relativas a fraudes (l./lig.dia)

l_{CC} – volume de perdas de água aparentes relativas a falhas de cadastro e usos clandestinos (l./lig.dia)

Podem ser adicionados componentes, desde que o analista consiga relacionar uma relação custo – efeito, ou seja que consiga determinar que a ação i provoca a redução do volume de perdas de água y_i (m³) e custa z_i (R\$).

Tabela 2 - Causa e ações para redução de perdas aparentes e custos associados para mitigar essa perda

Causa da perda de água	Ações para a redução da perda de água	Custos associados à mitigação de perda de água e sua significância
Não faturamento de usos especiais, como usos próprios, usos públicos entre outros (Não constitui	Adequação de regulamento tarifário.	Sem custos significativos pelo que não foi considerado no modelo.

uma perda de água, apenas uma perda financeira)		
Ligações fraudulentas	Custos associados à pesquisa e detecção de fraudes nas ligações de água. Campanhas de sensibilização e informação.	Estes custos são considerados na componente de custos de controle de perdas aparentes, por meio da componente relativa ao nível econômico de fraudes. Para não gerar uma duplicidade de custos, se consideraram apenas na parte de perda aparente.
Consumos de água em áreas de urbanização irregulares e áreas invadidas	Regularização das áreas junto da prefeitura e adequação das ligações.	Estes custos não estão incluídos no modelo de Wyatt. A questão é mais social e legal do que técnica. Deverão ser tratados separadamente do modelo.
Desgaste natural do hidrômetro	Programa de troca e aferição de hidrômetros.	Considerado em fórmula própria de Wyatt. Estes custos são significativos.
Violação de hidrômetro	Programa de troca e aferição de hidrômetros; Análise de consumos por meio de algoritmos e cálculos; Inspeção e fiscalização do bom funcionamento dos hidrômetros.	Wyatt não considerou estes custos – porém podem ser equacionados pelo prestador.
Falhas de cadastro	Custos associados a revisão e rigor da manutenção do cadastro, inspeção e fiscalização das ligações.	Wyatt não considerou estes custos – porém podem ser equacionados pelo prestador; Não se consideraram estes custos significativos.

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão 2020 e 2021

Em termos de perdas aparentes os estudos de Wyatt 2010 se referem apenas à componente de perdas por submedição evitável (ℓ_{evit}), que nessa altura se denominou como perdas comerciais (ℓ_{pc}). Ao longo das pesquisas de 2020 e 2021 se isolou a componente de submedição inevitável (ℓ_{inevit}) que corresponde ao fenômeno de submedição de hidrômetros novos em ambientes de baixas vazões, isto é, o abastecimento de caixas de água. A consideração da submedição base (ℓ_{inevit}) não estava explícita no modelo Wyatt 2010 e constitui um aumento de precisão, mas também um aumento de complexidade nas fórmulas.

A presente versão inclui uma proposta de nível econômico de fraudes (ℓ_{frau}).

Não existe nível econômico de ligações clandestinas (ℓ_{cc}). Essas carecem de regularização legal. Porém é necessário quantificá-las se o analista quiser obter um valor global de perdas em (l./lig.dia) ou (%) de produzido ou (%) de consumido.

Anotações prévias

Anotação 1 sobre tarifas de consumos mínimos

As seguintes equações relativas às perdas aparentes têm validade para ambientes onde o volume de água medido é proporcional à receita gerada. Para municípios com tarifa de consumos mínimo, independentemente do volume medido (10m³, por exemplo), as seguintes equações podem resultar em valores distorcidos dos níveis ótimos de perdas por submedição. A dimensão da distorção depende do perfil de consumo dos clientes do prestador de serviço e deverá ser analisado caso a caso. Para clientes com consumos baixos e que pagam volumes mínimos não há necessidade de trocar os hidrômetros do ponto de vista financeiro.

Além disso, as companhias de saneamento possuem tabela progressiva de tarifas, fazendo com que o preço do m³ aumente de forma não linear em relação ao consumo. O modelo do Wyatt

considera um consumo médio, uma tarifa média e uma troca com a mesma frequência para todos os hidrômetros, o que não ocorre.

Para converter os valores médios das fórmulas de Wyatt o Anexo 1 – Planilhas de cálculo inclui uma tabela para converter o valor médio ideal da troca de hidrômetros para cada faixa de consumo (Classe de hidrômetro), de acordo com a tarifa e o preço do hidrômetro. Esta informação permite o estabelecimento de um critério para troca mais assertivo do que adotar um tempo médio para todos os casos.

Anotação 2 sobre a submedição por via de uso massivo de caixas de água entre os usuários

O presente estudo usa uma submedição inicial de cerca de 5%, porém este valor pode ser bem superior [cerca de 10-14%] quando os usuários do serviço de abastecimento usam predominantemente caixas de água com válvulas de boia, onde um volume significativo é fornecido com vazões baixas situadas na faixa onde o hidrômetro não mede com precisão.

Anotação 3 sobre a hidrometração individualizada ou hidrometração por ligação

O presente estudo calcula o nível econômico de perdas por submedição tendo como premissa que uma ligação corresponde a um hidrômetro. Em municípios que praticam a medição individualizada de economias (por exemplo Portugal, onde isso é a regra geral), é necessário ajustar as fórmulas.

Anotação 4 sobre fornecimentos gratuitos ou consumo autorizado não faturado

O consumo autorizado não faturado ou fornecimentos gratuitos não são perdas de água, porém são ineficiências financeiras muito importantes, tão ou mais do que as perdas físicas ou aparentes. Esse aspecto não foi tratado no presente guia embora a sua eliminação pode ser bem mais vantajosa do ponto de vista financeiro, dado que as ações necessárias não implicam à partida grandes custos;

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão maio 2020 e versão atual

Em relação à versão de 2020, na presente versão houve uma renomeação da variável ℓ_{pA} , sendo esta decomposta das perdas aparentes por submedição (ℓ_{sub}) especificamente nas evitáveis (ℓ_{evit}) e as inevitáveis (ℓ_{inevit}).

Ficou claro que o cálculo do nível ótimo de Wyatt 2010 se refere apenas à componente de perdas por submedição evitável (ℓ_{evit}). Existe uma componente de submedição inevitável que corresponde à submedição de hidrômetros velocimétricos novos em contextos de caixa de água.

Componente 1 – Perdas por submedição de hidrômetros

Esta componente é composta por duas parcelas: a i) receita anual em função das perdas por submedição e o ii) custo do programa de controle de erros de submedição dos hidrômetros.

Parcela 1 - Receita anual em função de perdas aparentes por submedição

As receitas anuais dependem das tarifas e a quantidade de água faturada:

Equação 26 - Receita anual (traduzida 14 de Wyatt, 2010)

$$R = T Q_r 365$$

Onde:

R – receita anual (R\$/ano)

T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m³)

Q_r – volume de água arrecadado (volume medido que conduziu a uma arrecadação)
(m³/dia)¹⁰

A receita anual também pode ser expressa em termos de água consumida usando a Equação 20 (7 e 12 no documento de Wyatt, 2010).

Equação 27 – Receita anual em função de água consumida (traduzida 15 de Wyatt, 2010)

$$R = T N_{ati} c_{cH} p \frac{365}{1000} (1 - \ell_{sub})$$

Ou

$$R = T N_{ati} c_{cH} p \frac{365}{1000} (1 - \ell_{evit} - \ell_{inevit})$$

Onde:

R – receita anual (R\$/ano)

T – tarifa unitária (R\$/m³)

N_{ati} – número total de ligações ativas (n^o)

c_{cH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

ℓ_{sub} – submedição em hidrômetros (%)

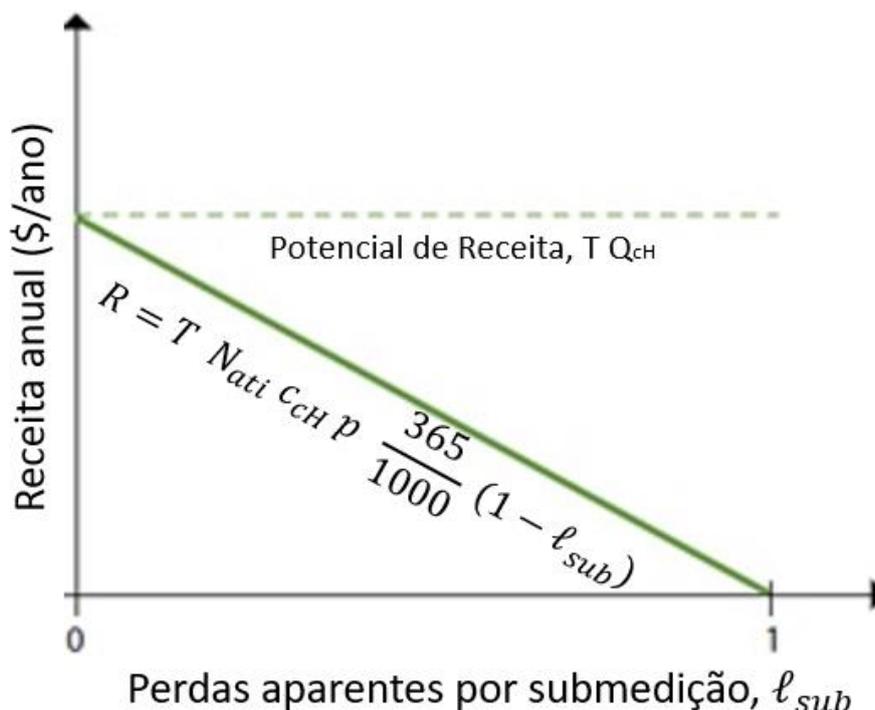
ℓ_{evit} – submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (%)

ℓ_{inevit} – submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (%)

Assim, as receitas são uma função do consumo de água, da tarifa média e as perdas por submedição uma porcentagem do consumo de água. Em termos gráficos esta função assume o comportamento apresentado em seguida.

¹⁰ Neste modelo equivale ao Volume medido (Q_m)

Figura 5 – Receitas em função de perdas por submedição (Figura 7 Wyatt ajustado)



Se as perdas por submedição (l_{sub}) são elevadas, o valor arrecadado será baixo. Se as perdas por submedição estiverem controladas e (l_{sub}) tendendo para zero, as receitas atingem o seu valor máximo. As receitas não dependem de perdas reais.

Note-se que o potencial de receita assume um valor diferente conforme a tarifa em cada município distinto.

Parcela 2 - Custo do programa de controle de perdas por submedição

Os custos anuais do programa de controle de perdas por submedição dependem do custo médio de substituição, da quantidade e do período de substituição de hidrômetros.

Equação 28 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros (traduzida 26 de Wyatt, 2010)

$$C_h = \frac{H N_{ati}}{P_h}$$

Onde:

C_h – custo anual do programa de substituição de hidrômetros (R\$/ano).

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro).

N_{ati} – número total de ligações ativas (n^0)

P_h – período para substituição de hidrômetro (anos).

Perdas por submedição evitáveis podem ser definidas da seguinte forma:

Equação 29 – Perdas por submedição (traduzida 27 de Wyatt, 2010)

$$L_{evit} = N_{ati} \frac{c_{CH}}{1000} p s \frac{P_h}{2}$$

Onde:

L_{evit} – Perda de água por submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (% do volume consumido)
 N_{ati} – número total de ligações ativas (nº)
 c_{cH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)
 p – número médio de pessoas por ligação ativa (pessoa/lig.)
 s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)
 P_h – período para substituição de hidrômetro (anos)

O multiplicador 2 aparece no denominador para dar a média de submedição no período de degradação da precisão de medição.

As primeiras 3 variáveis da equação (N_{ati} c_{cH} p) representam o volume de água consumido por via dos hidrômetros (Q_{cH}), pelo que a equação anterior pode ser simplificada para a seguinte.

Equação 30 – Perdas por submedição em função do volume consumido, precisão de medição e período para substituição de hidrômetro

$$L_{evit} = Q_{cH} s \frac{P_h}{2}$$

Onde:

Q_{cH} - volume de água efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/ano)

Então o valor das perdas por submedição pode ser expresso do seguinte modo:

Equação 31 – Perdas aparentes por submedição em função da precisão de medição e período para substituição de hidrômetro (traduzida 28 de Wyatt, 2010)

$$\ell_{evit} = \frac{L_{evit}}{Q_{cH}} = s \frac{P_h}{2}$$

Equação 32 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros (traduzida 29 de Wyatt, 2010)

$$C_h = \frac{H N_{ati} s}{2 \ell_{evit}}$$

Onde:

C_h – custo anual do programa de substituição de hidrômetros (R\$/ano).

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro)

N_{ati} – número total de ligações ativas (nº)

s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

ℓ_{evit} – submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (% do volume consumido)

O custo anual do programa de substituição de hidrômetros assume a forma de:

Equação 33 – Custo anual do programa de substituição de hidrômetros com constante k (traduzida de Wyatt – equação sem número pág. 19)

$$C_h = \frac{K}{\ell_{evit}}$$

Onde:

C_h – custo anual do programa de substituição de hidrômetros (R\$/ano)

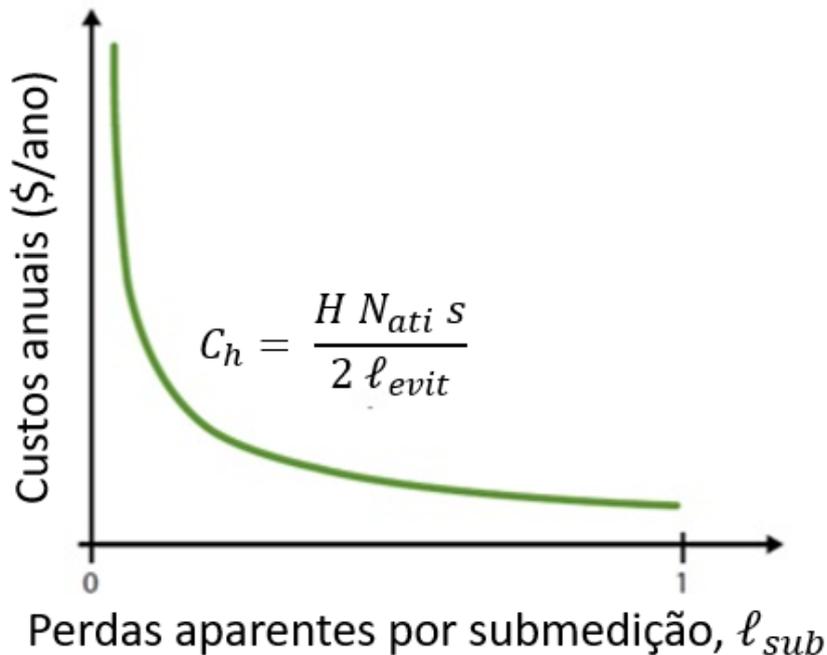
ℓ_{evit} – submedição em hidrômetros tecnicamente evitável (% do volume consumido)

K – constante própria de cada município em função de:

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro)
 N_{ati} – número total de ligações ativas (n^o)
 s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

Dessa forma, a curva da função de custo do programa de controle de perdas aparentes se apresenta na figura seguinte:

Figura 6 – Custos de controle de perdas aparentes em função de perdas aparentes (Figura 12 Wyatt)



O custo do programa aumenta com o número de hidrômetros, com o custo unitário de substituição, e com a taxa de submedição que ocorre ao passar do tempo. Se houver uma política rigorosa de controle de perdas por submedição, o valor de ℓ_{evit} vai ser baixo e o custo anual do programa elevado. Se houver uma postura menos rigorosa, o valor de ℓ_{evit} aumentará e o custo do programa será baixo.

O nível econômico ótimo de perdas por submedição (%)

O nível ótimo de perdas por submedição ocorre quando a diferença entre as receitas e os custos de controle de perdas aparentes é máximo, ou seja, ocorre quando o excedente financeiro é maximizado:

Equação 34 – Condição para o nível econômico ótimo de perdas por submedição

$$\text{Valor Máximo de } (R - C_h)$$

Onde:

R – receita anual (R\$/ano)

C_h – custo anual do programa de substituição de hidrômetros (R\$/ano)

Para encontrar o nível ótimo ($\ell_{evit_ótimo}$) em função do consumo derivou-se a função do resultado financeiro em relação a $\ell_{evit} = 0$. Apenas as variáveis tarifa (receitas) e o volume de perdas aparentes contêm ℓ_{evit} . Assim, o nível ótimo é alcançado quando se verifica o seguinte equilíbrio:

Equação 35 – Condição para o nível econômico ótimo de perdas por submedição (traduzida 30 de Wyatt, 2010)

$$T N c_{CH} p \frac{365}{1000} = \frac{H N_{ati} s 2}{\ell_{evit}^2}$$

Onde:

T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m³)

N_{ati} – número total de ligações ativas (nº)

c_{CH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro)

s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

ℓ_{evit} - perdas por submedição evitáveis econômicas (-)

Esta expressão indica que no ponto de perda evitável ótima ($\ell_{evit_ótima}$), o custo marginal de substituição de hidrômetros é igual à receita. Em outras palavras, a substituição de hidrômetros deve ser prosseguida até o seu custo marginal atingir a média das receitas por unidade.

A condição ótima pode assim ser simplificada:

Equação 36 – Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis (traduzida 31 de Wyatt, 2010)

$$\ell_{evit_ótimo} = \left[\frac{H s}{\left(2 T c_{CH} p \frac{365}{1000} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde

$\ell_{evit_ótimo}$ - perdas por submedição evitáveis ótimas, isto é, econômicas (% do volume consumido)

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro).

s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m³)

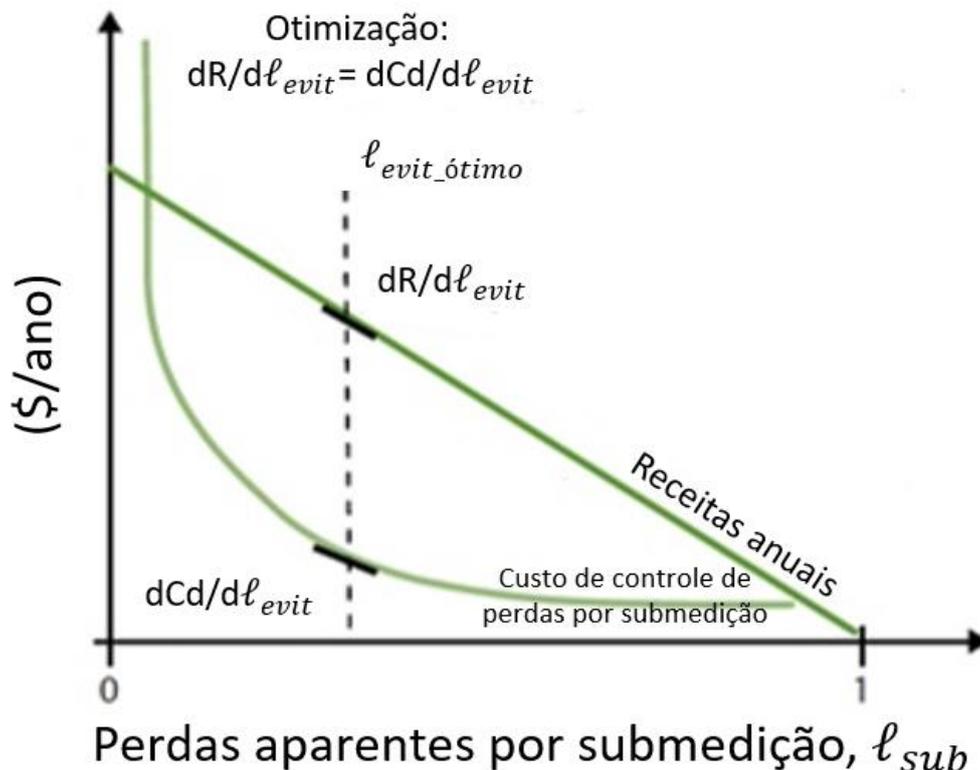
c_{CH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

O valor ótimo ($\ell_{evit_ótimo}$) pode ser encontrado diretamente a partir dos custos de substituição de hidrômetros (H), a taxa de crescimento de erros na submedição (s), o consumo específico (c_{CH}) e o número de pessoas por ligação (p). Todos estes fatores estão em raiz quadrada, assim a sensibilidade de ℓ_{evit} ótima é relativamente baixa. Isto é, 10% de alteração em qualquer uma destas variáveis impacta apenas 3,2% de alteração em ℓ_{evit} . Em condições de tarifas altas ou elevado consumo por ligação, as perdas aparentes (por submedição) ótimas serão baixas. (pág. 20, Wyatt). Em municípios com tarifas baixas, o nível de perdas por submedição ℓ_{evit} ótimo será mais elevado do que em municípios com tarifas mais caras.

A figura abaixo apresenta graficamente as curvas de receitas anuais e custos de controle de perdas e o ponto exato onde temos o $\ell_{evit_ótimo}$. Este se apresenta no ponto em que as receitas anuais são iguais aos custos do controle de perdas por submedição.

Figura 7 – Condição ótima de perdas por submedição (Figura 13 Wyatt)



Algumas interpretações

Note que para hidrômetros mais precisos, que geralmente tem custo mais elevado ($H \uparrow$), a curva de degradação é menos penalizadora ($s \downarrow$). H determina e influencia na qualidade de s . As variáveis estão interrelacionadas numa análise de longo prazo. Em uma análise para um determinado ano existe uma defasagem de algum tempo (podendo ser de 4-10 anos), sendo que o custo médio de substituição de hidrômetros é referente ao ano de análise H_{2019} , enquanto a curva de degradação da precisão diz respeito a todo o parque de hidrômetros instalado num período alargado $s_{2010-2019}$.

As equações anteriores referem-se às perdas por submedição (%), tendo como denominador o volume de água consumido e não o volume produzido. Isso significa que as perdas ótimas consideradas, são ainda mais baixas se tiverem no denominador o volume de água produzida. Constitui um erro somar percentagens de perdas (reais e aparentes) quando os denominadores são diferentes (água consumida e água produzida).

O nível ótimo de submedição aqui calculado é uma média do parque de hidrômetros. Não é feita distinção entre os diferentes tipos de usuários em termos de consumo (pequenos e grandes usuários). Para efeitos periodicidade de troca de hidrômetro é necessário ter em conta características diferentes dos hidrômetros (H e s) assim como os consumos típicos nessa classe de usuários.

A variável " s - inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)", que indica a redução da precisão de medição dos hidrômetros em relação ao tempo, é estatística e não ocorre da mesma forma em todos os hidrômetros, pois alguns não apresentam a recuperação esperada. Também há uma tendência de redução de consumo após a substituição do hidrômetro, que passa a medir melhor, fazendo com que o aumento de receita não ocorra nas mesmas proporções, pois o uso de água se torna mais racional no comportamento do usuário.

O nível econômico ótimo de perdas por submedição (l/lig.dia)

Para calcular o nível econômico de perdas de submedição ($\ell_{sub_ótimo}$) em (l/lig.dia) é necessário determinar do volume econômico em (m³) e posteriormente dividir pelas ligações e dias do ano.

Equação 37 - Volume de perdas por submedição

$$L_{sub_ótimo} = (\ell_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}) * Q_{cH}$$

$L_{sub_ótimo}$ - volume de submedição ótima em hidrômetros (m³/ano)

$\ell_{evit_ótimo}$ - perdas por submedição evitáveis ótimas, isto é, econômicas (-)

ℓ_{inevit} - submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (% do volume consumido),

Q_{cH} - volume de água efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/ano)

Equação 38 - Volume de perdas econômico na unidade (l/lig.dia) por via do volume consumido

$$\ell_{sub_ótimo} = \frac{(\ell_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}) * Q_{cH}}{N} * \frac{1000}{365}$$

Ou equivalente

Equação 39 - Volume de perdas econômico na unidade (l/lig.dia) por via do per capita

$$\ell_{sub_ótimo} = (\ell_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}) * \frac{c_{cH}}{365} * p$$

Onde:

$\ell_{sub_ótimo}$ - volume de submedição ótima em hidrômetros em (l/lig.dia)

$\ell_{evit_ótimo}$ - perdas por submedição evitáveis ótimas (-)

ℓ_{inevit} - submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (% do volume consumido),

c_{cH} - per capita de água consumida em hidrômetros (l/hab.dia)

p - número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

Obtenção e origem dos dados

Em seguida constam algumas considerações sobre a obtenção e a origem dos dados relacionados:

Tabela 3 - Notas - dados para o nível econômico ótimo de perdas aparentes (por submedição de hidrômetros)

Variável	Obtenção de dados e origem deles
H - custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra, etc. (R\$ / hidrômetro)	Este dado com caráter regional pode ser obtido no SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil; O prestador de serviço pode ter um histórico sobre este custo; Podem ser obtidos orçamentos junto a empresas que executam este serviço.
s - inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)	O ideal é que o prestador de serviço tenha à sua disposição um estudo representativo do seu parque de hidrômetros, embasado na aferição da medição de uma amostra de hidrômetros. Para obter essa taxa de perda de

	<p>eficiência ao longo do tempo, é necessário fazer ensaios em bancada com hidrômetros retirados de campo com diferentes idades¹¹.</p> <p>Uma ordem de grandeza geral é de 1% ao ano para hidrômetros unijato e 0,5% ao ano para medidores multijato.</p>
<p>T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m³)</p>	<p>Como o faturamento de esgoto está indexado à água, convém incluir também as receitas unitárias de esgoto. Idealmente o cálculo seria:</p> $T = \left(\frac{Receitas_{\text{água}}}{Vol\ consumido_{\text{água}}} + \frac{Receitas_{\text{esgoto}}}{Vol\ consum_{\text{clientes que têm serviço de esgoto}}} \right) * ftx$ <p>Se a cobertura do esgoto aumentar, afeta a receita média unitária (água e esgoto) aumentando também.</p> <p>ftx é um fator para converter em “tarifa líquida”, que é valor que efetivamente fica no caixa da companhia após o pagamento de impostos e taxas sobre o faturamento, tendo em conta as variações entre os estados. Por exemplo Tarifa líquida = 65% * Tarifa aplicada.</p> <p>A tarifa unitária corresponde ao valor faturado, líquido, livre de impostos, e não a tarifa nominal publicada nos regulamentos tarifários.</p>
<p>c_{CH} – consumo médio per capita de água efetivo em hidrômetros (l/hab.dia)</p>	<p>Pode ser obtido com os melhores dados e estimativas disponíveis do prestador de serviço.</p>
<p>p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)</p>	<p>Idealmente se utilizaria nº médio de pessoas por hidrômetro. Este dado pode ser obtido com os melhores dados disponíveis do prestador de serviço.</p> <p>O analista deverá analisar qual o dado melhor que foi reportado para estes efeitos e qual se adequa melhor à intenção da fórmula.</p>

Exemplo numérico - o nível econômico ótimo de perdas por submedição

A seguir é apresentado um exemplo numérico simples, sendo que na terceira parte do guia são realizadas mais considerações e análises de sensibilidade ao modelo:

Tabela 4 – dados usados para cálculo de perdas aparentes – Exemplo numérico – Município A (arquivo exemplos numéricos perdas aparentes e reais)

Variável	Município A
T - Tarifa Unitária (R\$/m ³)	5,00 R\$/m ³
H - Custo médio da substituição de Hidrômetros	120,00 R\$
s – Inclinação negativa da linha de precisão de medição de hidrômetros	1,0%
c_{CH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)	130 l/hab.dia
p – Pessoas por ligação	3,0
ℓ_{inevit} - taxa de submedição inevitável	4%

Usando a Equação 36 – Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis (traduzida 31 de Wyatt, 2010) computa-se a seguinte conta:

- ¹¹ Se recomenda a consulta do Volume 3 da Série balanço hídrico - Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de hidrômetros, material publicado pela AESBE que tem exemplos dessas curvas.

$$\ell_{evit_ótimo} = \left[\frac{H s}{(2 T c_{CH} p 365)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde substituindo pelos valores da tabela acima se obtém:

$$\ell_{evit_ótimo} = 2,90\% = \left[\frac{120 * 0,01}{(2 * 5 * 130 * 3 * 365)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

O nível correspondente à degradação ótima do parque de hidrômetro é de 2,90% da água consumida¹². Volumes de submedição acima de 2,90 % devem ser reduzidos porque são economicamente viáveis (ℓ_{evit_eco}), volumes abaixo de 2,90% não devem ser reduzidos porque não são economicamente viáveis (ℓ_{evit_neco}).

Para ter a submedição $\ell_{Sub_ótima}$ é necessário somar a inevitável inerente aos abastecimentos em regimes de baixas vazões (ℓ_{inevit}) conforme Equação 10 – Composição do volume de perdas por submedição (ou volume ótimo):

$$\ell_{Sub_ótimo} = \ell_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}$$

$$\ell_{Sub_ótimo} = 2,90\% + 4\% = 6,90\%$$

Para converter esse volume na unidade (l/lig.dia) computa-se a seguinte conta (Equação 39):

$$\ell_{sub_ótima} = (\ell_{evit_ótimo} + \ell_{inevit}) * c_{CH} * p * 1000$$

$$\ell_{sub_ótima} = 26,92 \text{ l./lig.dia} = 0,0690 * 0,130 * 3,0 * 1000$$

Componente 2 – O nível econômico de fraudes

Em uma comunidade interligada por um sistema de abastecimento de água um nível de fraudes e usos clandestinos elevados constitui uma situação em que apenas parte dos usuários suporta a totalidade dos custos associados à água abastecida. Isso significa que aos usuários pagantes com uma relação formal com a companhia de água são aplicadas tarifas mais elevadas do que deveriam ser, resultando em injustiça social. Em termos individuais um usuário paga sua água e seu vizinho não, sendo essa situação outra perspectiva de observar injustiça social.

A fraude por definição é um ato ilegal, por este motivo, a meta de ligações fraudulentas deveria ser zero. Para tanto, em termos de econômicos, os custos da sua eliminação devem ser considerados.

Cada comunidade, isto é, município encontra-se em uma situação distinta em termos de fraudes e usos clandestinos, podendo ser uma situação significativa ou não. Então coloca-se a questão do nível economicamente adequado de fraudes a tolerar por uma sociedade. O presente capítulo defende que esse nível deveria ser o nível econômico de fraudes (fraudes/ 1000 lig.), à semelhança do nível econômico das perdas reais de água (l/lig.dia) e as por submedição (l./hidrômetro.dia).

¹² Essa percentagem não é em relação ao volume total produzido.

Para averiguar o nível econômico de fraudes são necessárias 3 informações parcelares entre as quais se busca o equilíbrio econômico, nomeadamente:

- a) O custo de evitar fraudes, isto é, o custo de pesquisar as ligações (c_{pl});
- b) O retorno econômico de detectar uma fraude (r_e);
- c) A quantidade de fraudes existentes na comunidade que a companhia abastece (F_{tot}).

O presente modelo propõe uma abordagem para fraudes que afetam a totalidade do volume da água consumida. Se poderia elaborar um modelo semelhante para efeitos de estimar os hidrômetros viciados que representam um percentual significativo das fraudes.

Se propõe que o analista que tente aplicar o modelo faça variações e ajustes para que se ajustem melhor à sua realidade e aos dados disponíveis.

Parcela 1 - Custo de pesquisar as ligações

Para responder ao primeiro item elege-se o método de pesquisa de ligações que considerado adequado, por exemplo: inspeção com haste de escuta ou a desmontagem completa do cavalete. Os métodos elegidos podem ser mais ou menos intensivos em mão de obra, resultando em níveis de pesquisa distintos, como por exemplo 8 ou 200 pesquisas/(operador.dia). Sabendo a quantidade de ligações que um operador pesquisa em um dia de trabalho e os respectivos encargos salariais é possível determinar o custo unitário de pesquisar ligações (c_{pl}), resumido nas seguintes duas equações:

Equação 40 - Custo de pesquisar ligações

$$c_{pl} = \frac{C_p}{N_p}$$

Onde:

c_{pl} – custo unitário de pesquisar ligações (R\$/ligação pesquisada)

C_p – Custo de pesquisar ligações (R\$/ano)

N_p – Ligações pesquisadas (lig./ano)

Ou de forma mais detalhada¹³:

Equação 41 - Custo de pesquisar ligações - detalhada

$$c_{pl} = \frac{p * 22 \text{ dias} * 11 \text{ meses}}{S * 13 \text{ meses} + D_{desloc} * 11 \text{ meses}}$$

Onde:

p – produtividade de pesquisar de ligação [lig./(dia.operador)] – que depende o método elegido

S – Salário mensal do operador de pesquisa (R\$/mês)

D_{desloc} – Despesas de deslocamento para pesquisar ligações (R\$/mês)

¹³ Se poderia argumentar que aos custos detectar a fraude se deveriam somar os custos da obra civil da respectiva regularização (cerca de 200-300R\$ por fraude), porém esse custo necessitaria ter de ser anualizado. Uma fraude regularizada tem idealmente uma duração indeterminada. Nesse caso o seu custo tende a zero pelo que pode ser desprezada na conta.

Parcela 2 - Retorno econômico de detectar uma fraude

O retorno econômico de detectar uma fraude (r_e) em um ano compõe-se do prejuízo evitado (p_e) e da receita gerada (r_f).

Equação 42 - Retorno econômico de detectar fraudes

$$r_e = p_e + r_f + r_m$$

O prejuízo evitado (p_e) corresponde ao volume consumido (c_m) multiplicado pelo custo de produção (P_m) e pela duração média da fraude em um ano (D_{mf}). A receita gerada (r_f) corresponde ao volume consumido (c_m) multiplicado pela tarifa média (de água e esgoto) (T_m) e pelos restantes meses do ano após a regularização (D_{mr}). Se o prestador de serviço pesquisar fraudes de um modo regular ao longo do ano a duração média de uma fraude detectada é de 6 meses. Se concentrar seus esforços mais no primeiro semestre serão menos de 6 meses e se concentrar os esforços no segundo semestre a duração média será superior a 6 meses. Acresce ainda os ingressos da multa aplicada ao usuário fraudulento (r_m).

Muitos prestadores constatam que em ligações fraudulentas o consumo tende a ser menos parcimonioso por se tratar de um recurso sem pagamento. Nessas ligações o consumo é superior aos consumidores que pagam por sua água. Essa assimetria no comportamento pode ser retratada por meio de um fator de ajuste (f_i). Após a regularização da fraude existe uma tendência do consumo se tornar mais racional, pelo que o faturamento após a regularização não corresponde aos volumes de água consumidos de modo fraudulento.

Detalhando o prejuízo evitado (p_e) e a receita gerada (r_f), o retorno econômico de detectar uma fraude pode ser definido pela seguinte fórmula:

Equação 43 - Retorno econômico de detectar fraudes - detalhada

$$r_e = (D_{mf} * V_m * f_i * P_m) + (D_{mr} * c_m * T_m) + M_f$$

r_e – retorno econômico de detectar uma fraude [R\$/ (ligação.ano)]

V_m – Volume médio medido em ligação regular (m³/mês)

f_i – fator de irregularidade (-) (por exemplo 1,5)

T_m – tarifa média de água (e esgoto caso aplicável) (R\$/ m³)

P_m – custo de produção e distribuição da água (R\$/ m³)

D_{mf} – duração média da fraude detectada (meses/ano)

D_{mr} – duração média da ligação regularizada após detecção de fraude (meses/ano)

M_f – eventual multa aplicada ao usuário (R\$/fraude detectada)

Equilíbrio entre os custos e os benefícios de pesquisar fraudes

Com ambos os parâmetros custo de pesquisar ligações (c_{pl}) e retorno econômico de detectar uma fraude (r_f) é possível determinar o nível econômico de fraudes, especificado na seguinte relação:

Equação 44 - Nível econômico de fraudes

$$f_{ne} = \frac{c_{pl}}{r_f} * 1000$$

Onde:

f_{ne} – Nível econômico de fraudes (fraudes/ 1000 lig.)

c_{pl} – custo unitário de pesquisar ligações (R\$/ligação pesquisada)

r_f – receita unitária de fraude detectada [R\$/(ligação.ano)]

Parcela 3 – Quantidade de fraudes existentes na comunidade

A terceira informação incide em saber a quantidade de fraudes existentes. Para tal, seria necessário pesquisar todas as ligações, porém isso seria excessivamente oneroso. É suficiente inferir a quantidade de fraudes por meio de uma amostra representativa. Se determina uma margem de erro e confiança aceitável e seleciona-se aleatoriamente as ligações a serem pesquisadas que compõem a amostra.

Se na amostra foram detectadas mais fraudes do que nível econômico ($f_d > f_{ne}$), vale a pena para o prestador (e para a sociedade) pesquisar mais fraudes e reduzi-las. Se na amostra forem encontradas menos fraudes do que o nível econômico ($f_d < f_{ne}$), não vale a pena gastar mais recursos na pesquisa de fraudes. Uma pesquisa mais intensa traria consigo maior justiça social, mas iria onerar mais a tarifa coletiva.

Para efeitos de volumes regulatórios, uma amostra simples aleatória é suficiente para determinar os volumes aceitáveis de fraudes. No entanto, o prestador pode aperfeiçoar a assertividade da pesquisa de fraudes estratificando a amostra. Isto é calcular taxas de fraudes em segmentos específicos, tais como grandes consumidores, ligações inativas, bairros com características semelhantes, usuários onde se verificam consumos disruptivos etc. Em cada segmento o comportamento em relação a fraudes será distinto.¹⁴

Determinação do volume de água consumida em ligações fraudulentas.

Para efeitos de balanço hídrico ainda é necessário para quantificar o volume atual das fraudes (L_{frau}) e o volume regulatório (L_{frau_R}). Para tal, um balanço de fraudes mostrado na figura seguinte ajuda a classificar as tipologias de fraudes e quantificá-las.

¹⁴ Na perspectiva do prestador de serviço, vale lembrar que o custo para detecção da fraude não varia em função do tamanho da fraude, mas a retorno unitário varia. Isso significa que é possível obter maior viabilidade econômica fiscalizando grandes consumidores do que nas ligações residenciais. Do ponto de vista operacional faz sentido segregar as ligações em residenciais e outros de maior consumo, com potencial de fraudar volumes bem maiores, tais como hotéis, instalações de lavagem de automóveis, postos de combustível, restaurantes ect. Se nestes clientes existir uma fraude, o volume é muito maior que o volume médio residencial, pelo que pode ser interessante ter uma pesquisa mais superficial para residências e mais detalhada para grandes consumidores.

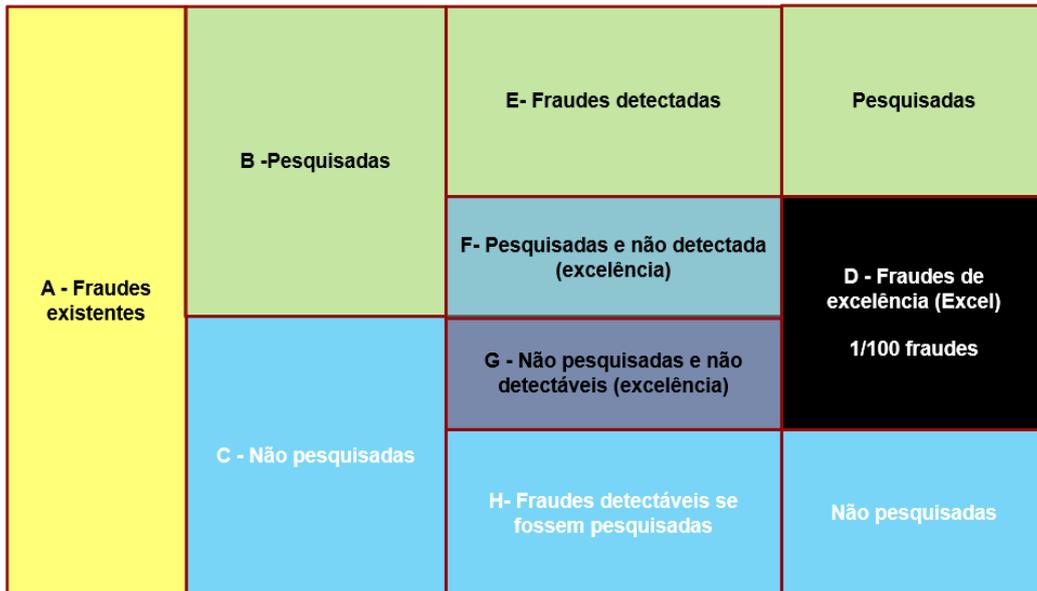


Figura 8 – Balanço de Fraudes

As ligações com fraudes (componente A) dividem nas que foram pesquisadas (componente B) e nas que não foram pesquisadas (componente C). Dentro da componente B existem as fraudes que foram detectadas (componente E) e as não detectadas (componente F). Na componente C existem as fraudes que poderiam ser detectadas (componente H) e as que não seriam detectadas (componente G). Algumas fraudes apesar de pesquisadas não são detectadas (componente D). Essas podem considerar-se fraudes de excelência, isto é, elas são tão engenhosas que através do método usado para pesquisá-la, ela não é passível de ser detectada. A proporção das fraudes de excelência (t_{ex}) e as normais deve ter em conta o método de pesquisa em elegido para combatê-las. Pesquisas mais superficiais tendem a deixar passar mais fraudes. Pesquisas mais minuciosas deixam passar menos fraudes. Essa proporção (t_{ex}) deve ser obtida com base na percepção dos operadores de campo, podendo ser por exemplo:

- 1:100 - > 1 fraude não é detectada em 100 fraudes pesquisadas com um método minucioso;
- 1:5 - > 1 fraude não detectada em 5 fraudes pesquisadas com um método mais superficial.

Perante o balanço, as fraudes existentes são a soma das seguintes componentes:

Equação 45 – Balanço de fraudes existentes

$$A = E + F + G + H$$

Ou

Equação 46 – Balanço de fraudes existentes por 1000 ligações

$$f_{tot} = f_{p,d} + f_{p,nd} + f_{np,d} + f_{np,nd}$$

f_{tot} – Fraudes existentes (fraudes/ 1000 lig.) (componente A)

$f_{p,d}$ – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.) (componente E)

$f_{p,nd}$ – Fraudes pesquisadas e não detectadas (fraudes/ 1000 lig.) (componente F)

$f_{np,d}$ – Fraudes não pesquisadas, mas detectáveis (fraudes/1000 lig.) (componente H)

$f_{np,nd}$ – Fraudes não pesquisadas e não detectáveis (fraudes/ 1000 lig.) (componente G)

As probabilidades de detectar uma fraude, expressas na unidade (fraudes/ 1000 lig.) são iguais tanto nas ligações pesquisadas (componente B) como nas não pesquisadas (componente C), desde que a amostra seja homogênea.

Equação 47 – Probabilidades de detectar fraudes entre tipologias de ligações

$$f_{p_d} = f_{np_d}$$

$$f_{pn_d} = f_{np_{nd}}$$

Também é verdadeira a relação entre as fraudes detectadas e as de excelência:

Equação 48 – Relação entre as fraudes detectadas e as de excelência

$$f_{nd_ex} = t_{ex} * f_{p_d}$$

- t_{ex} – Taxa de fraudes não detectadas e que foram pesquisadas (-)
- f_{p_d} – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.) (componente E)
- f_{np_ex} – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.) (componente D)

Assim, a soma das quatro componentes assume a seguinte expressão:

$$F_{tot} = [N_p * f_{p_d}] + [N_p * f_{p_d} * t_{ex}] + [N_{np} * f_{np_d} * t_{ex}] + [N_{np} * f_{np_d}]$$

Onde:

- F_{tot} – Fraudes existentes (fraudes)
- N_p – Ligações pesquisadas (lig.)
- f_{p_d} – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.)
- t_{ex} – Taxa de fraudes não detectadas e que foram pesquisadas (-)
- N_{np} – Ligações não pesquisadas (lig.)
- f_{np_d} – Fraudes não pesquisadas, mas detectáveis (fraudes/ 1000 lig.)

Que pode ser minimizada para:

Equação 49 – Totalidade de fraudes em um sistema

$$F_{tot} = N_{tot} * \frac{f_{p_d}}{1000} * (1 + t_{ex})$$

Onde:

- F_{tot} – Fraudes existentes (fraudes)
- N_{tot} – Ligações totais (lig.)¹⁵
- f_{p_d} – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.)
- t_{ex} – Taxa de fraudes não detectadas e que foram pesquisadas (-)

¹⁵ Este número de ligações (N_{tot}) é igual ao usado no capítulo de perdas reais, isto é, as ligações totais (ativas e inativas). As ligações (N_{ati}) usadas no capítulo de perdas por submedição são ligações ativas.

Os 4 tipos de fraudes (E, F, G, H) têm vigências diferentes. Fraudes detectadas (componente E) têm uma duração média de 6 meses por ano e as demais componentes (F, G, H) que não são detectadas duram o ano todo. O volume relativo a fraudes pode ser inferido do seguinte modo:

Equação 50 – Volume de água consumida em ligações com fraudes

$$L_{frau} = v_m * f_i * [(F_{pd} * 6) + (F_{tot} - F_{pd}) * 12]$$

L_{frau} – Volume total consumido por via de ligações fraudulentas (m³/ano)

v_m – volume médio medido em ligação regular (m³/lig.mês)

f_i – Fator de irregularidade (-) (por exemplo 1,5)

F_{pd} – Fraudes pesquisadas e detectadas (lig.) (Componente E)

F_{tot} – Fraudes existentes (lig.) (Componente A)

Para resolver a equação anterior é necessário determinar as fraudes pesquisadas e detectadas (F_{pd}) que tem a seguinte expressão:

Equação 51 - fraudes pesquisadas e detectadas

$$F_{pd} = f_{p,d} * n_p * N_{tot}$$

Onde:

F_{pd} – Fraudes pesquisadas e detectadas (lig.)

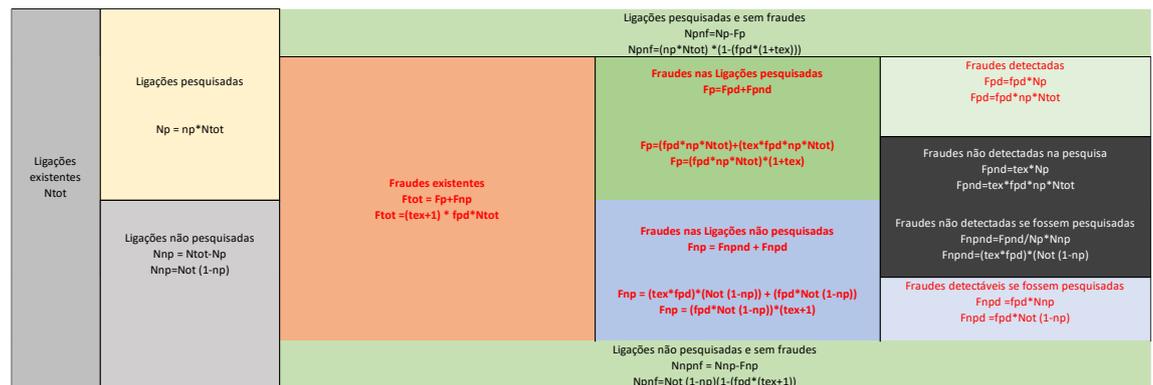
$f_{p,d}$ – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.)

n_p – Ligações pesquisadas das totais (%)

N_{tot} – Ligações totais (lig.)

As fórmulas de todas as parcelas de ligações respectivas fraudes encontram-se descritas na figura seguinte:

Figura 9 – balanço de ligações e respectivas fraudes



O volume regulatório (ou eficiente) relativo a fraudes

Está na governabilidade do prestador de serviço pesquisar fraudes e minimizá-las na medida em que isso seja econômico, ou outro nível que o titular do serviço, isto é a sociedade, considere suficientemente justo. Pesquisas de fraudes para além do nível econômico só devem ser realizadas se a sociedade valorizar justiça social nesse nível, pois uma prática intensiva de pesquisa de fraudes para além do nível econômico reduz a modicidade tarifária aplicada à

coletividade dos usuários. Para efeitos regulatórios o volume eficiente de fraudes corresponde ao nível econômico que se deveria usar para o cálculo das tarifas [$L_{fraud_R}(f_{ne})$].

Componente 3 - Volume de água clandestino

Usos de água clandestinos são consumos que não estão vinculados a uma ligação contratual com a companhia e ocorrem frequentemente em situações, onde o uso do solo não está regularizado, isto é, em núcleos urbanos informais.

Para efeitos de balanço hídrico o modo de quantificar esses volumes requer inferir sobre a área de ocupação, densidade de populacional e per capita. Maior precisão na quantificação pode ser obtida por via da setorização da área e instalação de macro medidores específicos. A medição dos volumes é relevante não só para aferir perdas, mas também para imputar os custos associados a que quem tiver melhor governabilidade sobre os núcleos urbanos informais.

Em geral, o volume ótimo de água consumida em ligações clandestinas deveria ser zero, no entanto são necessários estudos locais a fim de identificar os custos e os benefícios de minimizar as ligações clandestinas.

Esse volume de água está contemplado no modelo para que se reconheça sua existência.

Perdas reais – cálculo do nível ótimo

Este subcapítulo inclui três parcelas. Aborda os i) custos de produção de água, os ii) custos anualizados de expansão do sistema e os iii) custos do programa do controle de perdas reais.

Como as perdas reais são independentes do consumo faturado, não existe uma parcela relativa a receitas como na abordagem das perdas aparentes. Em seguida apresentam-se os custos que as perdas reais geram no prestador de serviço e para a sociedade em geral.

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão maio 2020 e versão atual

Na parte das perdas reais houve alterações significativas na componente de custos de expansão e nos custos do programa de controle de perdas que são explicados com maior detalhe em cada uma delas.

Componente 1 - Custos de produção de água

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, 2020 e versão atual

Não existem diferenças significativas entre as versões 2010, 2020 e a atual (2021) no item de custos de produção.

As ligeiras diferenças entre a versão 2020 e a versão atual são, relativas a um maior detalhamento no:

- Uso de uma fórmula alternativa que aufero o volume consumido no ano 0. Na versão atual é p volume completo como um dado de entrada (Q_c). Na versão de 2010 e 2020 era uma composição de número de ligações, per capita e densidade de pessoas por ligação (N, p, c). A alteração mantém o raciocínio de 2010, mas permite que o volume de água consumida (Q_c) seja auferido do modo mais conveniente pelo analista e que se introduzam menos erros no valor global devido a arredondamentos em (N, p, c).
- O volume de água consumida (Q_c) deve incluir volumes de fraudes e clandestinos. Na versão de 2020 este aspecto não estava tão claro e na versão de 2010 estava omissis ou indiretamente implícito no per capita.

Determinação dos custos de produção

Os custos anuais de produção de água podem ser expressos com a seguinte função:

Equação 52 – Custos de produção de água (traduzida 16 de Wyatt, 2010)

$$C_{PROD} = C_{prod} Q_P$$

Onde:

C_{PROD} – custo de produção de água anual (R\$/ano)

C_{prod} – custo unitário de produção de água em (R\$/m³), que inclui produtos químicos, energia, compra de água, e demais custos de curto prazo para a produção de água

Q_P – água produzida (m³/ano)

Os custos de produção também podem ser expressos em termos de perdas reais de água usando as equações 5 e 12 do Wyatt.

Equação 53 – Custos de produção de água em termos de perdas reais

$$C_{PROD} = \frac{C_{prod} * Q_c}{(1 - \ell_{PR})}$$

Onde:

C_{PROD} – custo de produção de água anual (R\$/ano)

C_{prod} – custo unitário de produção de água em (R\$/m³), que inclui produtos químicos, energia, compra de água, e demais custos de curto prazo para a produção de água

Q_c - volume de água efetivamente consumido, seja de modo fraudulento, clandestino, ou medido por hidrômetro (m³/ano),

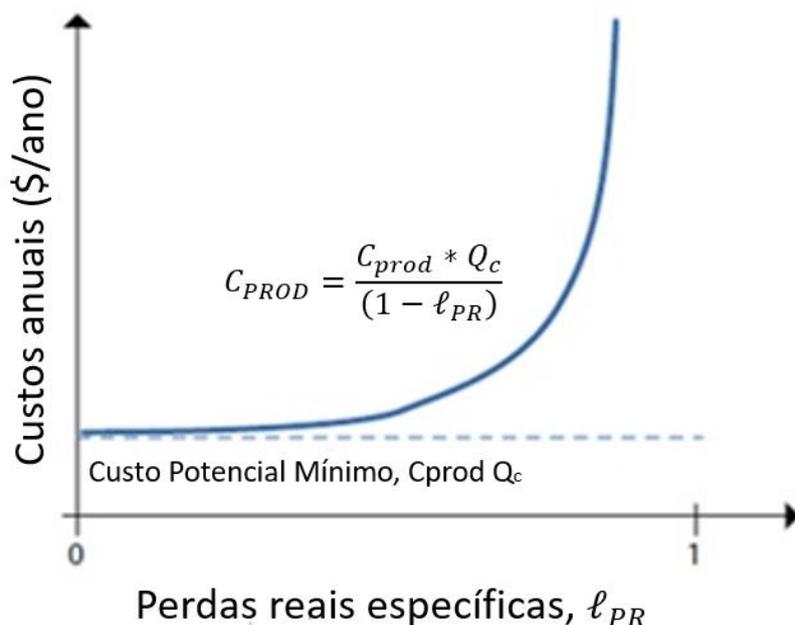
ℓ_{PR} – perdas reais adimensionais em (-)

Algumas interpretações

Se as perdas reais (ℓ_{PR}) forem zero, a produção estará no seu valor mínimo e corresponde à totalidade da água consumida. À medida que as perdas reais aumentam (ℓ_{PR}), os custos de produção de água aumentam também. Se as perdas reais (ℓ_{PR}) assumissem o valor de 1, a totalidade da água seria perdida, e os custos de produção seriam infinitos. Esta afirmação é consistente com a premissa de que perdas reais elevadas implicam uma produção elevada e respectivos custos. Essa relação está ilustrada no gráfico a seguir.

Note-se que o potencial mínimo de custos de produção depende apenas do volume consumido pelos usuários e pelos custos de produção unitários que assume um valor diferente e individual em cada município distinto.

Figura 10 – Custos da produção de água em função de perdas reais (Figura 8 Wyatt)



Obtenção e origem dos dados

Em seguida se fazem algumas considerações sobre a obtenção e a origem de dados relacionados.

Tabela 5 - Notas - dados para o custo de produção de água

Variável	Obtenção de dados e origem deles
<p>C_{prod} – é custo unitário de produção de água em (R\$/m³), que inclui produtos químicos, energia, compra de água, e demais custos de curto prazo para a produção de água</p>	<p>Idealmente o prestador de serviço tem uma contabilidade separada e distingue custos de produção e distribuição de água dos custos do serviço de esgotamento sanitário. Os melhores dados seriam os do prestador de serviço.</p> <p>Idealmente o numerador deste custo unitário contém apenas despesas de produção (ou aquisição) da água fornecida ao sistema e o denominador deve constar o volume correspondente, isto é a produção + importação - exportações (ou simplesmente água entrada no sistema).</p> <p>A dificuldade em obter este custo unitário é justamente a consistência dos dados entre si, isto é do numerador e denominador.</p> <p>Em ausência dos melhores dados pode-se usar aproximações com base no SNIS.</p> <p>Não é correto utilizar IN026 - Despesa de exploração por m³ faturado. É necessário um indicador, cujo denominador seja água produzida – exportada + importada, isto é a água fornecida ao sistema que inclua as perdas.</p> <p>Também não devem ser incluídos nestes custos de produção os que não são variáveis em função da perda, como despesa com pessoal, fiscais, tributárias, etc. A rigor, os custos que têm relação direta são energia elétrica (FN013), produto químico (FN011) e água importada (FN020).</p>

Q_c - volume de água efetivamente consumido no ano 0	Este valor deve ser estimado da melhor maneira possível, incluindo os volumes micromedidos, as submedições, os relativos a usos fraudulento, clandestino relativos ao ano em análise.
--	---

Componente 2 – Custos anualizados de expansão do sistema

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão 2020 e versão atual

Conceitualmente existem algumas evoluções entre as versões 2010, 2020 e a atual.

- Em relação aos modelos de 2020 e 2010, a versão atual inclui os volumes relacionados com fraudes, e clandestinos (através das perdas aparentes atuais (ℓ_{PA0}) nos custos de expansão. No modelo de 2010, esses volumes estavam implícitos e não estavam tão evidentes.
- Nos modelos de 2020 e 2010 a capacidade a expandir (Q_{exp}) equivalia ao volume consumido no ano 0 (Q_{c0}) e as respectivas perdas reais (L_{PR}). Na versão atual a capacidade de expansão atende não só aos consumos efetivos (Q_{c0}), mas também fatores de ponta (sazonalidade anual) e um sobredimensionamento para maior resiliência para secas. O cálculo do volume (Q_{exp}) ficou mais sofisticado comparando com a versão de 2010 e com a versão de 2020.
- A capacidade a expandir (Q_{exp}) ficou indexada ao volume consumido (Q_{c0}). Em uma versão intermediária estava indexada ao volume medido (Q_m). Nesse sentido as perdas aparentes atuais (ℓ_{PA0}) em (%) são em relação ao volume consumido
- Essa indexação ao volume consumido e não ao medido também afetou o modo de cálculo do tempo até que a expansão seja necessária (t). O cálculo de (t) ficou mais preciso comparando com a versão de 2010 e com a versão de 2020.

Houve maior detalhamento nos seguintes itens:

- As variáveis de tempo (t e z_{exp}) ficaram mais claras na versão atual em relação à versão de 2020 e 2010. Antes eram valores genéricos, agora têm uma figura que ajuda a distinguir melhor as diferenças entre um em outro.
- Os coeficientes de custos construção relativamente à expansão do sistema (b) e (k) em 2010 eram valores típicos mundialmente. Na versão de 2020 tinham uma derivação complexa a partir da Nota Técnica SNSA n.º 492/2010 do Ministério das Cidades. Na versão de 2021 foram derivados de modo mais simples e são valores da realidade brasileira das 5 regiões.

Na parte de modelagem (relevante na PARTE 3 do presente guia) ocorreram modos diferentes de auferir os valores de t, E

- Na versão 2020 associou-se aos estudos da ANA sobre garantia hídrica dos municípios o tempo (t) necessário para realizar uma expansão do sistema e estimar a capacidade instalada (E). Na versão atual procedeu-se ao contrário: associou-se uma capacidade instalada à variável (E) e com isso descobriu-se o tempo (t) até uma expansão ser necessária.
- Para auferir os coeficientes de custos construção relativamente à expansão do sistema k e b usou-se um modelo mais fácil. Os valores de k e de b continuam sendo auferidos com base na Nota Técnica SNSA n.º 492/2010 do Ministério das Cidades. A versão atual ficou mais simples na explicação e na sua aplicação que a versão de 2020.

Processo para calcular os custos anualizados de expansão

Os custos de capital relativos à expansão do sistema compõem 6 passos de cálculo:

- 1) Apuramento da capacidade instalada face ao consumo
- 2) Tempo até ser necessária a expansão (anos);

- 3) Definição da capacidade de produção a expandir (m³/dia);
- 4) Custo de capital futuro para expansão (R\$);
- 5) Cálculo a valor presente (R\$);
- 6) Anualização do custo equivalente de valor presente (R\$).

Se o analista estiver aplicando o modelo em um sistema de abastecimento para qual já existe um projeto de expansão definido e conhece a capacidade da ampliação (m³/dia), o respectivo custo (R\$) pode passar diretamente ao passo 3. O passo 1 e 2 são mais úteis quando se está realizando estudos regionais ou nacionais e é necessária uma abordagem mais genérica.

Passo 1 – Apuramento da capacidade instalada face ao consumo

Em primeira instância é necessário saber a capacidade instalada do sistema produtor (e do manancial) face ao consumo de água. Com a seguinte equação é possível apurar a capacidade instalada.

Equação 54 – Razão da capacidade instalada face ao consumo

$$E = \frac{C_{inst}}{Q_{c0} * k_1}$$

Onde:

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

Q_{c0} – Volume consumido no ano 0 (1000 m³/ano)

k_1 – fator de ponta diário (geralmente 1,2 podendo chegar a 2)

Note que o valor k_1 é um coeficiente que torna o sistema mais resiliente à riscos de falta de água em situações de seca e pode ser usado de acordo com a percepção de risco do analista.

Passo 2 - Tempo até ser necessária a expansão

Com base na capacidade instalada do sistema produtor se estima o tempo em anos até que a ampliação e expansão do sistema seja necessária. Esse tempo também considera necessidades futuras usando a taxa de crescimento populacional.

Equação 55 – Tempo até ser necessária a expansão (Wyatt 2020, fórmula evoluída, mas equivalente à 19 de Wyatt, 2010)

$$t = \frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})G}$$

Onde:

t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (- geralmente 1,2 podendo chegar a 2)

l_{pr} – perdas reais em relação à água produzida (%)

G – taxa de crescimento populacional (-)

Note que se as perdas reais forem baixas ($l_{pr} \downarrow$), o tempo até que seja necessária uma ampliação da capacidade do sistema vai ser longo (\uparrow), mas se as perdas reais forem elevadas ($l_{pr} \uparrow$) urge uma ampliação e o tempo para realizar a expansão é reduzido (\downarrow). Se as perdas reais (l_{pr}) tenderem para zero (0), o tempo de expansão será $\left[\frac{E-1}{G}\right]$. A equação inclui as perdas

aparentes (ℓ_{PA}), isto é, perdas de submedição, fraudes, usos clandestinos e outros, porque esses consumos são também necessidades que precisam de ser atendidas.

Derivação da equação do tempo até à expansão

O presente subcapítulo explica detalhadamente a derivação da equação do tempo (Equação 55).

O momento de expansão terá de ocorrer o mais tardar quando o volume produzido é igual à capacidade instalada. Caso contrário, haverá falta d'água.

Equação 56 – Condição limite que determina o tempo de expansão do sistema

$$t (Q_P = C_{inst})$$

Onde:

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

C_{inst} – Capacidade de produção de água instalada atualmente (m^3/dia)

Q_P – Água produzida (m^3/dia)

Prestadores de serviço que prezam por maior garantia do abastecimento de água antecipam a expansão do sistema utilizando um fator de segurança para atender às maiores demandas do sistema (k_1):

Equação 57 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema

$$t (k_1 * Q_P = C_{inst})$$

Onde:

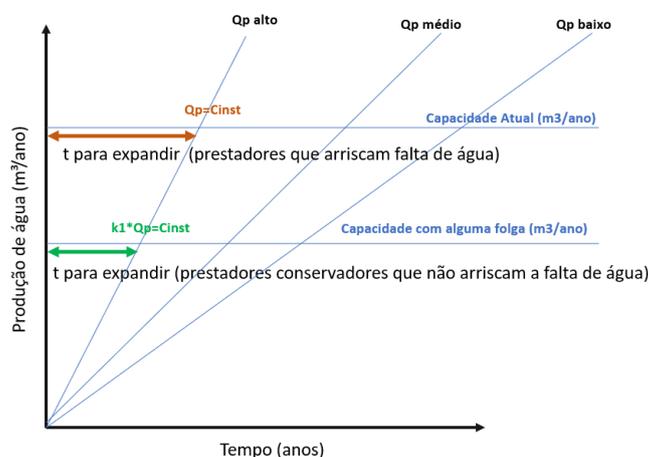
t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (- geralmente 1,2 podendo chegar a 2)

C_{inst} – Capacidade de produção de água instalada atualmente (m^3/dia)

Q_P – Água produzida (m^3/dia)

A seguinte figura mostra o momento necessário (t) para realizar a expansão do sistema. Diante de uma capacidade de produção de água instalada (C_{inst}), o tempo necessário para expandir o sistema (t) está em um futuro mais próximo, caso o volume de produção atual for alto (Q_p). Se for baixo a expansão pode ser adiada (t maior). Ou seja, caso o volume de produção atual (Q_p) estiver próximo da capacidade de produção instalada (C_{inst}), o tempo para a expansão do sistema é menor. Se o volume de produção atual for pequeno em relação à capacidade instalada, o tempo para expansão do sistema é maior.



Sabendo que a água produzida se compõe da consumida e da perdida (equivalente à Equação 2), se pode expressar a produção de água em função do tempo de dois modos, conforme a taxa de crescimento populacional.

Equação 58 – Composição de água produzida

$$Q_p = Q_c + L_{pr}$$

Os dois modos referem-se ao uso taxas de crescimento populacional lineares ou exponenciais. Usar um ou outro modo depende da origem da taxa de crescimento que se vai inserir no modelo.

Tempo de expansão usando taxa de crescimento da população linear

Na seguinte equação se expressou a parcela do volume consumido em função do tempo.

Equação 59 – Água produzida em função do tempo – crescimento linear

$$Q_p(t) = Q_{c0}(1 + t * G) + L_{pr}$$

Equivalente a

$$Q_p(t) = Q_{c0}(1 + t * G) + \left(\frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} - Q_{c0} \right)$$

Onde:

Q_p – Água produzida (m³/ano)

Q_{c0} – Água consumida atualmente no ano 0 (m³/ano)

t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)

G – taxa de crescimento populacional (-)

l_{pr} – Perdas reais (-)

Tendo a expressão da água produzida em função do tempo (Equação 59), ela pode ser inserida na condição descrita na Equação 56:

Equação 60 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema, isolando água produzida

$$Q_p(t) = \frac{C_{inst}}{k_1}$$

Equivalente a

$$Q_{c0} * (1 + t * G) + \frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} - Q_{c0} = \frac{C_{inst}}{k_1}$$

Equivalente a

$$Q_{c0} * (1 + t * G) = \frac{C_{inst}}{k_1} - \frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} + Q_{c0}$$

Equivalente a

$$1 + t * G = \frac{C_{inst}}{k_1} * \frac{1}{Q_{c0}} - \frac{1}{(1 - l_{pr})} + 1$$

Tendo em conta a relação da capacidade instalada (C_{inst}) e água consumida (Q_{c0}) conforme (Equação 54) se pode substituir pela variável (E) ficando:

$$t * G = \frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})}$$

Por fim, o tempo assume a seguinte expressão com uma taxa de crescimento linear, que corresponde à equação 19 no documento de Wyatt 2010, porém com uma folga (k_1) para reduzir riscos de desabastecimento.

Equação 61 – tempo até ser necessária a expansão – com crescimento linear (variação da equação 19 Wyatt 2010)

$$t = \frac{\frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})}}{G}$$

Onde:

t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (- geralmente 1,2 podendo chegar a 2)

l_{pr} – perdas reais em relação à água produzida (%)

G – taxa de crescimento populacional (-)

Tempo de expansão usando taxa de crescimento da população exponencial

Se a taxa de crescimento populacional for exponencial, então o tempo assume a seguinte derivação:

Equação 62 – Água produzida em função do tempo – crescimento exponencial

$$Q_p(t) = Q_{c0} * (1 + G)^t + L_{pr}$$

Equivalente a

$$Q_p(t) = Q_{c0} * (1 + G)^t + \left(\frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} - Q_{c0} \right)$$

Tendo a expressão da água produzida em função do tempo (Equação 59), ela pode ser inserida na condição descrita na Equação 56:

Equação 63 – Condição conservadora para determinar o tempo de expansão do sistema, isolando água produzida

$$Q_p(t) = \frac{C_{inst}}{k_1}$$

Equivalente a

$$Q_{c0} * (1 + G)^t + \frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} - Q_{c0} = \frac{C_{inst}}{k_1}$$

Equivalente a

$$Q_{c0} * (1 + G)^t = \frac{C_{inst}}{k_1} - \frac{Q_{c0}}{(1 - l_{pr})} + Q_{c0}$$

Equivalente a

$$(1 + G)^t = \frac{C_{inst}}{k_1} * \frac{1}{Q_{c0}} - \frac{1}{(1 - l_{pr})} + 1$$

Tendo em conta a relação da capacidade instalada (C_{inst}) e água consumida (Q_{c0}) conforme (Equação 54) se pode substituir pela variável (E) ficando:

$$(1 + G)^t = \frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})} + 1$$

Por fim, o tempo assume a seguinte expressão com uma taxa de crescimento exponencial, que corresponde à equação 19 no documento de Wyatt 2010, porém com uma folga (k_1) para reduzir riscos de desabastecimento.

Equação 64 - tempo até ser necessária a expansão - com crescimento exponencial

$$t = LOG \left[\left(\frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})} + 1 \right); base (1 + G) \right]$$

Onde:

t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (- geralmente 1,2 podendo chegar a 2)

l_{pr} – perdas reais em relação à água produzida (%)

G – taxa de crescimento populacional (-)

Passo 3 - Definição da capacidade de produção a aumentar

Um nível reduzido de perdas reais significa que o sistema poderá postergar os investimentos de expansão ou pelo menos poderá realizar uma expansão menor e assim terá também custos de capital menores.

A capacidade de produção de água da expansão (Q_{exp}) depende de uma série de fatores, incluindo:

- capacidade de produção atualmente instalada;
- uso total da água;
- taxa de crescimento populacional;
- tempo até a expansão;
- nível de perda real;
- perda aparente (devido à submedição do uso da água); e
- fator de resiliência climático desejado para enfrentar secas.

Basicamente, a capacidade de produção do sistema a expandir no futuro, será maior se as demandas de água forem elevadas em relação à capacidade instalada atual, isto é, com altos padrões de consumos de água haverá altos níveis de perda de água, alto crescimento populacional e um longo período até à próxima a expansão planejada (z_{exp}). O tempo até à expansão (t) também depende dos fatores mencionados entre outros.

A Figura 11 abaixo apresenta os diversos parâmetros desde a demanda de água medida até à capacidade necessária de produção de água.

Note que a seguinte parcela está integrada na Equação 65 e corresponde à água a produzir. A quantidade de fraudes e submedição tem de estar dentro de (Q_c) e afeta também a necessidade de expansão. Mais consumos fraudulentos e clandestinos também encurtam o tempo necessário para expandir.

$$\frac{Q_c}{1 - \ell_{PR}}$$

Passo 4 - Custo de capital futuro para expansão

A seguinte equação estima o custo de capital futuro para realizar os investimentos de expansão do sistema:

Equação 66 - Custo de capital futuro para expansão (traduzida 18 de Wyatt, 2010)

$$F_{exp} = k(Q_{exp})^b$$

Onde:

F_{exp} – custo futuro de expansão do sistema de produção de água em (R\$) (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro)

k – coeficiente de custo em (R\$/m³/dia)

b – fator de economia de escala (-) tipicamente entre 0,4 e 0,8

Q_{exp} – Capacidade de produção da expansão (m³/dia)

O período de projeto (z_{exp}) é baseado em cálculos e práticas de engenharia padrão, variando de 5 a 30 anos. Em sua maioria, o período ideal de projeto (z_{exp}) depende do tipo de infraestrutura, especificamente às economias associadas de fator de escala b . Por exemplo, as expansões de capacidade de produção que utilizam séries de poços terão um curto período de projeto (z_{exp}), porque possuem baixas economias de escala (b elevados entre 0,70 - 0,85). Em outras palavras, há pouca vantagem econômica em adicionar um poço grande em comparação com uma série de novos poços incrementais sucessivamente. Por outro lado, grandes captações de água superficial e estações de tratamento têm economias de escala muito maiores (b baixos entre 0,40 e 0,65), por isso é economicamente vantajoso nessas situações realizar uma expansão de grande capacidade, com um período de projeto mais longo (z_{exp}).

Na pág. 120 do presente documento fazem-se considerações sobre o coeficiente de custo (k) e (b) Considerações do custo de capital futuro para expansão e a economia de escala.

Passo 5 - Cálculo do valor presente

A seguinte equação calcula o valor presente dos custos futuros de capital, usando a taxa de retorno e o tempo necessário até à expansão.

Equação 67 - Valor presente do custo de expansão (traduzida 20 de Wyatt, 2010)

$$VP = F_{exp}(1 + r)^{-t}$$

Onde:

VP – valor presente do custo futuro de expansão sistema em (R\$)

F_{exp} – custo futuro de expansão do sistema de produção de água em (R\$/ano) (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro)

r – taxa de retorno (-)

t – tempo até que a ampliação seja necessária em (anos)

Passo 6 - Anualização do custo equivalente de valor presente

Por fim, calcula-se o custo anual para valor presente dos custos futuros de capital. Nesta conversão se usa o fator de recuperação do capital que depende de taxas de juros e do período para o qual é anualizado. No presente modelo é assumido que o período coberto pela expansão corresponde à vida útil da infraestrutura.

Equação 68 – Fator de recuperação do capital (traduzida e corrigida - 21 de Wyatt, 2010)

$$FRC_{expansão} = \frac{r(1+r)^{z_{exp}}}{[(1+r)^{z_{exp}} - 1]}$$

Onde:

$FRC_{expansão}$ – Fator de recuperação do capital das infraestruturas de expansão (-)

r – taxa de retorno (-)

z_{exp} – período relativo à expansão futura (-) tipicamente de 5 a 30 anos

O valor para a taxa de retorno corresponde ao custo de oportunidade ou de capital, portanto ao retorno expectável em projetos similares, que vão desde fontes de capital privado de longo prazo, títulos, taxas de empréstimos concessionárias do governo ou agências internacionais de financiamento do desenvolvimento. Uma taxa de juros mais alta, r , levará a um fator de recuperação de capital mais elevado, enquanto um período de projeto mais longo, z , levará a um fator de recuperação do capital (FRC) mais baixo.

Função dos custos anualizados de expansão do sistema

Os custos de capital, isto é, os custos de investimentos podem ser expressos em função das perdas reais, conforme a seguinte equação.

Equação 69 – Custos anualizados de expansão do sistema

$$C_{exp} = FRC * VP$$

Para que as perdas reais fiquem visíveis na fórmula a equação assume a seguinte configuração:

Equação 70 – Custos anualizados de expansão do sistema (traduzida 22 de Wyatt, 2010 e ajustada para 2021)

$$C_{exp} = FRC_{exp} * F_{exp} (1+r)^{-\frac{\frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1-l_{PR})}}{G}}$$

Onde:

C_{exp} – custo anualizado de expansão do sistema de produção de água (R\$)

FRC_{exp} – fator de recuperação do capital de expansão (-)

F_{exp} – custo futuro de expansão sistema de produção de água em (R\$/ano) (produção e ampliação de rede / aumento de diâmetro)

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

l_{PR} – perdas reais adimensionais (-)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (-)

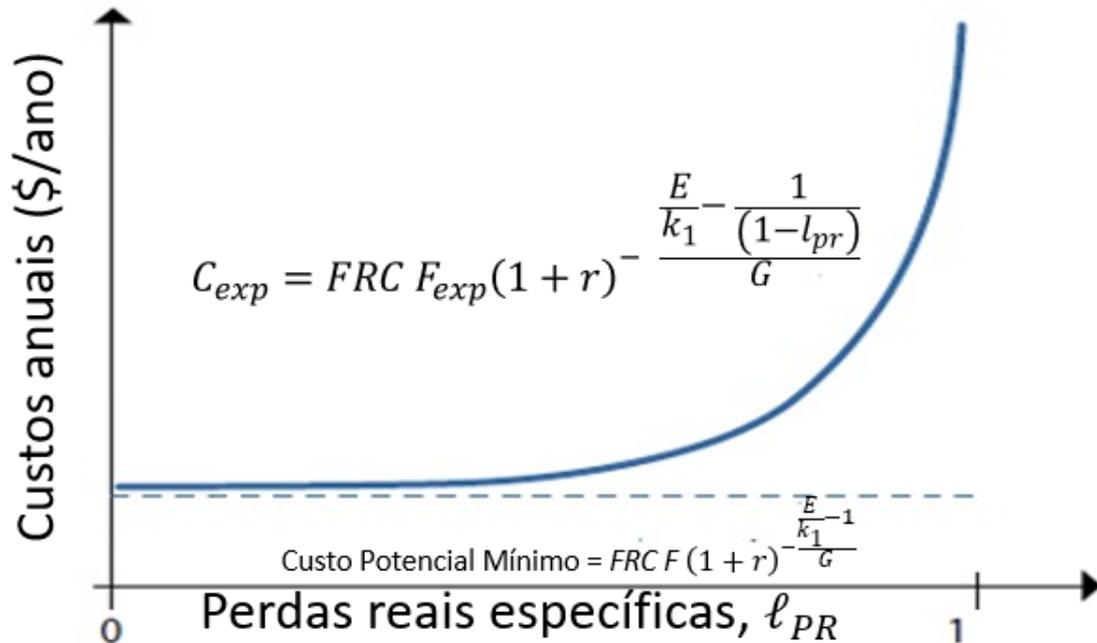
G – taxa de crescimento populacional (-)

O expoente desta equação é o tempo (t) até que a expansão seja necessária, porém é apresentada deste modo para evidenciar a sua dependência das perdas reais.

A forma desta função está mostrada na próxima Figura. Se l_{PR} é zero (0) o custo anualizado de expansão da capacidade está no seu mínimo, porque a expansão só será necessária bem distante no tempo. Se as perdas reais (l_{PR}) aumentarem, o tempo até uma ampliação ser

necessária diminuiu e a expansão tem de ser antecipada, onde os impactos nos respectivos custos atualizados aumentam.

Figura 12 – Custos anualizados de capital (de expansão do sistema) em função de perdas reais (Figura 9 Wyatt)



Juntando os 5 passos acima referidos relativas aos custos anualizados é possível obter uma só, a Equação 71. Nessa fórmula se minimiza os custos para encontrar o nível ótimo de l_{PR} , idealmente com o solver do excel ou macro e programação assistida.

Equação 65 - Volume de expansão $Q_{exp} = z_{exp} * \frac{Q_c}{1-l_{PR}} * (1+G) * f_r * f_p$

Equação 66 – Custo de capital futuro para expansão (traduzida 18 de Wyatt, 2010) $F_{exp} = k(Q_{exp})^b$

Equação 55 – Tempo até ser necessária a expansão (Wyatt 2020, fórmula evoluída, mas equivalente à 19 de Wyatt, 2010) $t = \frac{\frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1-l_{pr})}}{G}$

Equação 67 – Valor presente do custo de expansão (traduzida 20 de Wyatt, 2010) $VP = F_{exp}(1+r)^{-t}$

Equação 68 – Fator de recuperação do capital (traduzida e corrigida - 21 de Wyatt, 2010) $FRC = \frac{r(1+r)^{z_{exp}}}{[(1+r)^{z_{exp}} - 1]}$

Equação 70 – Custos anualizados de expansão do sistema (traduzida 22 de Wyatt, 2010 e ajustada para 2021)

$$C_{exp} = FRC * VP$$

Equação 71 - Custos anualizados de expansão do sistema - resumo da fórmula

$$C_{exp} = \frac{r(1+r)^{z_{exp}}}{[(1+r)^{z_{exp}} - 1]} * k \left[z_{exp} * \frac{Q_c}{1 - \ell_{PR}} * (1+G) * f_r * f_p \right]^b * (1+r)^{-\frac{E-1}{k_1(1-\ell_{PR})G}}$$

Onde:

r – taxa de retorno (-)

z_{exp} – período relativo à expansão (-)

k – coeficiente de custo (R\$/m³/dia)

b – fator de economia de escala (-)

Q_c – volume consumido no ano base 0 (m³/dia)

ℓ_{PA0} – perdas aparentes atuais adimensionais em relação à consumida (-)

ℓ_{PR} – perdas reais adimensionais (-)

G – taxa de crescimento populacional (-)

f_p - fator de ponta (tipicamente 1,2)

f_r - fator de resiliência

t - tempo até à expansão do sistema

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (-)

Note-se que nesta equação dos custos de expansão as perdas reais (ℓ_{PR}) têm uma entrada tripla.

Obtenção e origem dos dados

Em seguida se fazem algumas considerações sobre a obtenção e a origem de dados relacionados. A seguinte tabela resume todas as variáveis usadas no cálculo deste subcapítulo.

Tabela 6 - Notas - dados para o custo anualizado de capital futuro para expansão

Variável	Obtenção de dados e origem deles
r – taxa de retorno (-)	Deve ser usado o valor considerado adequado pelo prestador de serviço, regulador ou titular do serviço. Habitualmente são definidos pelo departamento de economia dessas entidades. Valores típicos são entre 7 e 12%
z_{exp} – período relativo à expansão (-)	A variação (5-30 anos) não foi muito influente nos resultados (nível ótimo de perdas reais), então um valor muito preciso não vai gerar maior confiabilidade do dado. Em zonas onde existe abundância hídrica o projeto tem vigências menores, sendo bem ajustado às necessidades presentes (poços por exemplo). Em zonas de maior seca as infraestruturas de captação de água costuma ser infraestruturas de maior porte (por exemplo barragens) e sua vigência mais longo, 30 ou 50 anos.
k – coeficiente de custo (R\$/m ³ /dia)	Este dado pode ser aplicado de forma genérica, isto é regional inferido em bases de dados de custos de projetos regionais (como descrito no capítulo em baixo (pág.120). Se o analista tiver acesso a projetos conhecidos de expansão, por exemplo o custo de um poço novo, da ampliação de uma adutora tronco,

de uma captação superficial pode omitir o cálculo de $(k(Q_{exp})^b)$ e usar diretamente o valor do projeto como F_{exp} .

b – fator de economia de escala (-) tipicamente entre 0,4 e 0,8

Este fator de economia de escala vem de fórmulas da engenharia econômica usadas no saneamento. A variação não tem sido muito influente nos resultados (nível ótimo de perdas reais), então um valor muito preciso não vai gerar maior confiabilidade do dado.

Se o analista tiver acesso a projetos conhecidos de expansão, por exemplo o custo de um poço novo, da ampliação de uma adutora tronco, de uma captação superficial pode omitir o cálculo de $(k(Q_{exp})^b)$ e usar diretamente o valor do projeto como F_{exp} .

Q_c – consumo no ano base 0 (m^3 /dia)

Este dado pode ser consultado no SNIS – AG010 - volume de água consumido ou na base de dados do prestador de serviço.

$$Q_c = \frac{Q_m}{(1 - \ell_{PA})}$$

ℓ_{PA} – perdas aparentes adimensionais

O analista deve estimar os usos não medidos em relação à de água consumida no usuário, nomeadamente perdas aparentes por submedição atuais (L_{sub0}), fraudes e clandestinos (L_{FFC0}).

G – taxa de crescimento populacional (-)

Este dado pode ser consultado no IBGE, planos municipais ou realizar estimativas que se considerem melhores.

f_p - fator de ponta (tipicamente 1, 2)

Este fator serve para acomodar consumos em dias de maior demanda em relação à média anual. Deve ser utilizado o habitual da região.

f_r - fator de resiliência

Este fator serve para acomodar excedente de capacidade de produção para enfrentar escassez hídrica face à demanda. Deve ser utilizado em função do risco percebido na região.

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

Se a capacidade instalada são $200m^3$ /dia e o consumo anual for $100m^3$ /dia (+ $50m^3$ /dia para cobrir os picos de sazonalidade e resiliência hídrica), a razão assume $200/150 = 1,33$. Existe uma capacidade ociosa teórica de 33% do sistema produtor, se não houvesse perdas reais.

Para efeitos de modelagem nacional foi necessário recorrer a estimativas explicadas com maior detalhe no capítulo (E) Capacidade instalada do sistema produtor na página 123.

t – tempo até que a ampliação seja necessária (anos)

Se o analista souber em quanto tempo pretende realizar a expansão do sistema, deve colocar esse valor.

Para efeitos de uma modelagem em nível nacional foi necessário recorrer a algoritmos que estimassem o tempo em cada município.

FRC_{exp} – Fator de recuperação do capital é a taxa de retorno (-)

Este valor é calculado em função de z_{exp} e de r . Não é um dado de entrada primário.

Componente 3 – Custos de controle de perdas reais de água

Nota comparativa das versões Wyatt 2010, versão 2020 e versão atual

Conceitualmente existem algumas evoluções entre as versões 2010, 2020 e a atual.

- A versão atual mantém a fórmula para calcular os custos do programa de controle de perdas reais (equação 25 Wyatt 2010), mas modificou o input dessa fórmula.
 - O modelo de 2010 não incluía custos de reposição da rede. Nesse sentido, no modelo de 2010 os custos do programa de perdas estavam subestimados.
 - A versão de 2020 incluía custos de reposição da rede (custos para repor um km completo, ou seja, a totalidade da rede) e dessa forma estava sobre estimados.
- A versão atual tem uma nova abordagem para auferir os C_{prrr} – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km) visando 4 atividades, nomeadamente a pesquisa de vazamentos ($C_{pesquisa}$), reparação de vazamentos em redes e ramais ($C_{reparação}$), a gestão de perdas ($C_{gestão}$) e a conservação e reposição da rede anualizado ($C_{conservação}$).

Houve maior detalhamento no modelo de 2010 usava um per capita único ao longo de todo o modelo, isto é, nas i) perdas por submedição, ii) volumes de produção, iii) controle de perdas reais). Não se distinguia entre o per capita auferido com medições no hidrômetro, volumes efetivamente consumidos, volumes com fraudes e clandestinos. O modelo atual distingue per capita dependendo para que efeitos se calcula.

Sem significância houve alteração por meio de uma simplificação das Equação 72 e da Equação 73, que antes continham dois elementos, nomeadamente N – número total de ligações (n^0) multiplicado por D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.) e atualmente usam M – comprimento da rede (km).

Processo para calcular os custos do controle de perdas reais

A seguinte equação calcula as perdas reais em função do período de pesquisa de vazamentos na totalidade da rede.¹⁷

Equação 72 – Perdas reais em função do período de pesquisa (traduzida 23 de Wyatt, 2010)

$$L_{PR} = M (\alpha + \beta P_s)$$

Onde:

L_{PR} – volume de água relativa a perdas reais (m^3 /dia)

M – comprimento da rede (km)

α – coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m^3 /km.dia)

β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m^3 /km.dia)

P_s – período para realizar uma pesquisa ativa à totalidade da rede (anos)

Beta (β) é um coeficiente positivo superior a zero.

Um beta (β) zerado significaria que a perda não aumentaria com o tempo e que bastaria consertar os vazamentos reportados e com isso exigindo investimento baixíssimo para controle das perdas.

Se beta fosse negativo significaria uma taxa natural de crescimento de perdas negativa, ou seja, as perdas reduziram sozinhas e o sistema se autorregeneraria, tal como faz um ser biológico.

¹⁷ Entre a Equação 72 e a Equação 73 existe um salto de raciocínio grande, que carece de alguma interpretação adicional que pode ser consultada em bibliografia de especialização.

A expressão acima pode ser convertida numa expressão de custos para o controle de perdas reais (ℓ_{PR}). Usando a equação 23 Wyatt (2010) pode ser resolvida para P_s em termos de L_{PR} e L_{PR} , que pode ser expresso em termos de número de ligações (N), per-capita (c_{ce}) e o número de pessoas por ligação (p) usando as equações 5 e 12 do Wyatt (2010).

Resulta a seguinte fórmula:

Equação 73 – Custo de controle de perdas reais (versão traduzida e corrigida 25 de Wyatt, 2010)

$$C_{PR} = \frac{C_{prrr} M \beta}{\left(\frac{c_c p}{D * 1000} * \frac{\ell_{PR}}{1 - \ell_{PR}} \right) - \alpha}$$

Onde:

C_{PR} – custo anual de controle de perdas reais de água (R\$/ano)

C_{prrr} – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)

D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.)

M – comprimento da rede (km)

c_c – per capita água consumida efetivamente (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.)

α – coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km.dia)

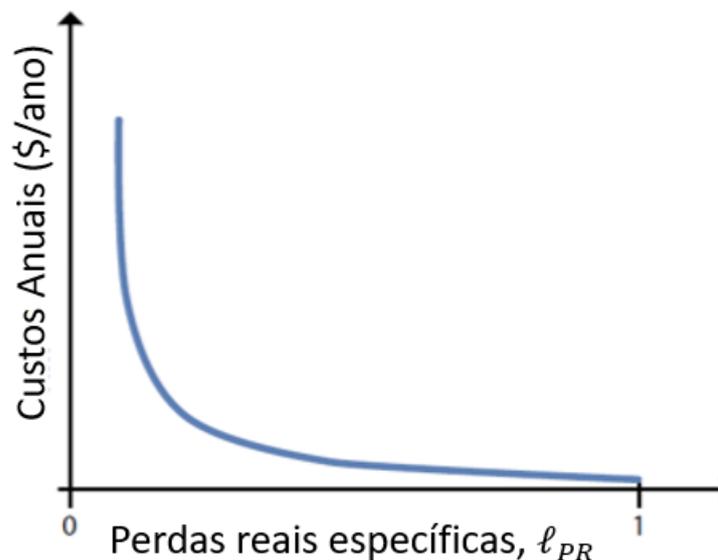
β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)

Anotação 5 sobre a correção da fórmula 25 da versão em inglês

Esta expressão complexa para o custo de controle de perdas reais está ilustrada na figura abaixo. Nota-se que quando ℓ_{PR} é baixo, a curva de custo aumenta de modo muito acentuado gerando um custo elevado. A linha assume um valor muito elevado para um valor baixo de ℓ_{PR} , que corresponde às perdas de água de base (*background*) não detectáveis e às perdas reportadas. (esta fórmula não é válida para valores ℓ_{PR} muito baixos, inferiores às perdas não detectáveis (*background losses*). Em termos matemáticos calcula valores, mas não são realistas. A fórmula não é válida abaixo de um certo ponto.

Se ℓ_{PR} é igual a 1, significa que toda a água está sendo perdida, e que o custo do programa de controle de perdas é mínimo.

Figura 13 – Custos do programa de controle de perdas reais em função de perdas reais (Figura 11 Wyatt)



Anotação 6 sobre a Inclusão de custos de reabilitação de rede no programa de controle de perdas

O estudo de Wyatt 2010 é explícito quando recomenda não considerar os custos de reposição da rede (material) para calcular o ℓ_{PR} . No entanto, em uma fase de revisão do modelo, considerou-se oportuno incluir os custos de material, tendo em conta que é uma medida de combate às perdas e de conservação da rede, pelo que o modelo teve uma variação em 2020. Esta variável (C_{prrr}) em (R\$/km) tem a seguinte expressão:

Equação 74 – Custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (sem equivalência Wyatt 2010)

$$C_{prrr} = C_{pesquisa} + C_{reparação} + C_{gestão} + C_{cra-conservação e reposição anualizado}$$

Onde:

- C_{prrr} – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)
- $C_{pesquisa}$ – custo de pesquisa de vazamentos (R\$/km)
- $C_{reparação}$ – custo de reparação de vazamentos (R\$/km)
- $C_{gestão}$ – custo associados à gestão de perdas (R\$/km)
- $C_{cra-conservação}$ – custo de conservação e reposição da rede anualizado (R\$/km)

Para as subparcelas recomenda-se utilizar as tabelas de custos das companhias, pois refletem melhor os custos locais. A maioria das companhias têm esses serviços terceirizados, então já existe uma composição própria de custos, que são os gastos efetivos, porém para ter uma ordem de grandeza podem e devem ser comparados com os custos do SINAPI.

Para manter as perdas estáveis e contrariar a taxa natural de crescimento de perdas, são realizadas atividades curto prazo ($C_{pesquisa} + C_{reparação} + C_{gestão}$) como atividades no longo prazo que mantenham o estado de conservação da rede ($C_{conservação e reposição anualizado}$), estas últimas necessitam de ser anualizadas para estarem na mesma unidade temporal (ano).

Para tal, o seu custo de conservação e reposição da rede deve ser anualizado com o fator de recuperação de capital (FRC) ao longo da sua vida útil (z_i). Assume-se que a reposição ocorre regularmente com a taxa de $(\frac{1}{z_i})$ ao ano, assim que que a rede estiver estabilizada em termos de perdas. Em um período de transição para o nível ótimo de perdas a reposição é mais intensiva sendo usado ($t_{xrepo_adicional}$).

Os custos anuais foram aumentados com um fator (f_g) para acomodar outros custos de conservação além da rede, nomeadamente a reposição de adutoras e conservação de tanques e reservatórios de água.

Equação 75 – Custo de conservação e reposição anualizada da rede

$$C_{cra} = FRC_{redes} * C_{repo} * t_{xrepo} * f_g$$

Onde:

- C_{cra} – custo anualizado de conservação e reposição (R\$/[km.ano])
- $C_{repo\ rede}$ – custo de reposição de rede (R\$/km)
- t_{xrepo} – taxa anual de reposição da rede (%)
- f_g – fator para incorporar adutoras e reservatórios (-) (tipicamente 1,2)

Para calcular a Equação 75 são necessários auferir a taxa anual de reposição e o fator de recuperação do capital indicadas em seguida.

Equação 76 – Taxa anual de reposição da rede

$$t_{xrepo} = \frac{1}{z_i} + t_{xrepo_adicional}$$

Onde:

t_{xrepo} – taxa anual de reposição da rede (%)

z_i – vida útil das redes (anos)

$t_{xrepo_adicional}$ – taxa anual de reposição da rede adicional para maior conservação (%)

A taxa de reposição da rede adicional é especialmente relevante no período de transição de perdas não sustentáveis para o período de manutenção do nível de perdas.

Equação 77 – Fator de recuperação do capital para redes

$$FRC_{rede} = \frac{r(1+r)^{z_i}}{[(1+r)^{z_i} - 1]}$$

Onde:

FRC_{rede} – Fator de recuperação do capital da rede (-)

r – taxa de retorno (-)

z_i – vida útil das redes (anos) tipicamente de 30 a 60 anos

Exemplo numérico – custo de conservação e reposição da rede anualizado (R\$/km)

A seguir é apresentado um exemplo numérico para o cálculo do $C_{Conservação}$ – custo de conservação e reposição da rede anualizado, cujos dados são:

r – taxa de retorno (7%)

z_i – vida útil das redes (40 anos)

$C_{repo\ rede}$ – custo de reposição de rede (200 000 R\$/km)

$t_{xrepo_adicional}$ – taxa anual de reposição da rede adicional para maior conservação (1%)

f_g – fator para incorporar adutoras e reservatórios (1,2)

$$C_{cra} = FRC_{redes} * C_{repo} * t_{xrepo} * f_g$$

$$C_{cra} = \frac{r(1+r)^{z_i}}{[(1+r)^{z_i} - 1]} * C_{repo} * \left[\frac{1}{z_i} + t_{xrepo_adicional} \right] * f_g$$

$$C_{cra} = \frac{0,07 (1 + 0,07)^{40}}{[(1 + 0,07)^{40} - 1]} * C_{repo} * \left[\frac{1}{40} + 0,01 \right] * 1,2$$

$$C_{cra} = 0,0750 * 200000 * \left[\frac{1}{40} + 0,01 \right] * 1,2 = 630 \text{ R\$/km}$$

Considerações sobre alfa e beta

Para determinar os coeficientes Alfa (perdas de base e vazamentos reportados) (α) e Beta (perdas de vazamentos não reportados) (β) é necessário categorizar as perdas em três tipologias, nomeadamente:

- Vazamentos de base ou inerentes;

- Vazamentos não reportados ou ocultos; e
- Vazamentos reportados, isto é, visíveis sem que haja uma pesquisa ativa.

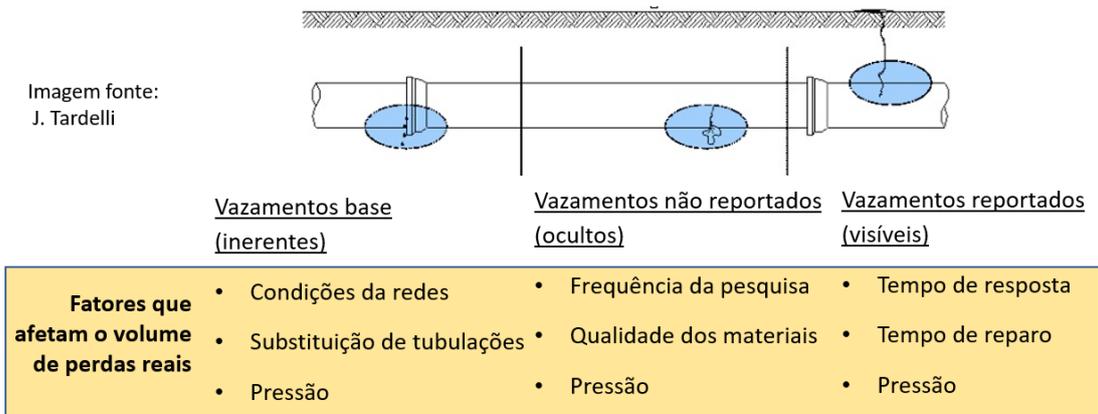


Figura 14 – tipologias de vazamentos (perdas reais de água)

Equação 78 – Alfa - coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados

$$\alpha = VB + VR$$

Onde

α - coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km.dia)

VB- perdas de base (m³/km.dia)

VR- perdas de vazamentos reportados (m³/km.dia)

Reduzir a pressão e intensificar atividades de conservação e substituição de redes reduz alfa.
Intensificar a pesquisa de vazamentos não tem impacto na redução de alfa.

Equação 79 – Beta - coeficiente de perdas de vazamentos não reportados

$$\beta = VNR$$

Onde

β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)

VNR – perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)

A inclinação de beta na Figura 15 representa o quanto os vazamentos não identificados aumentam em 1 ano. Reduzir a pressão e intensificar a pesquisa de vazamentos reduzem o beta.

Os coeficientes Alfa (α) e Beta (β) variam muito de sistema para sistema, e isso impacta bastante no nível econômico, dependendo de quanto é a perda detectável no sistema.

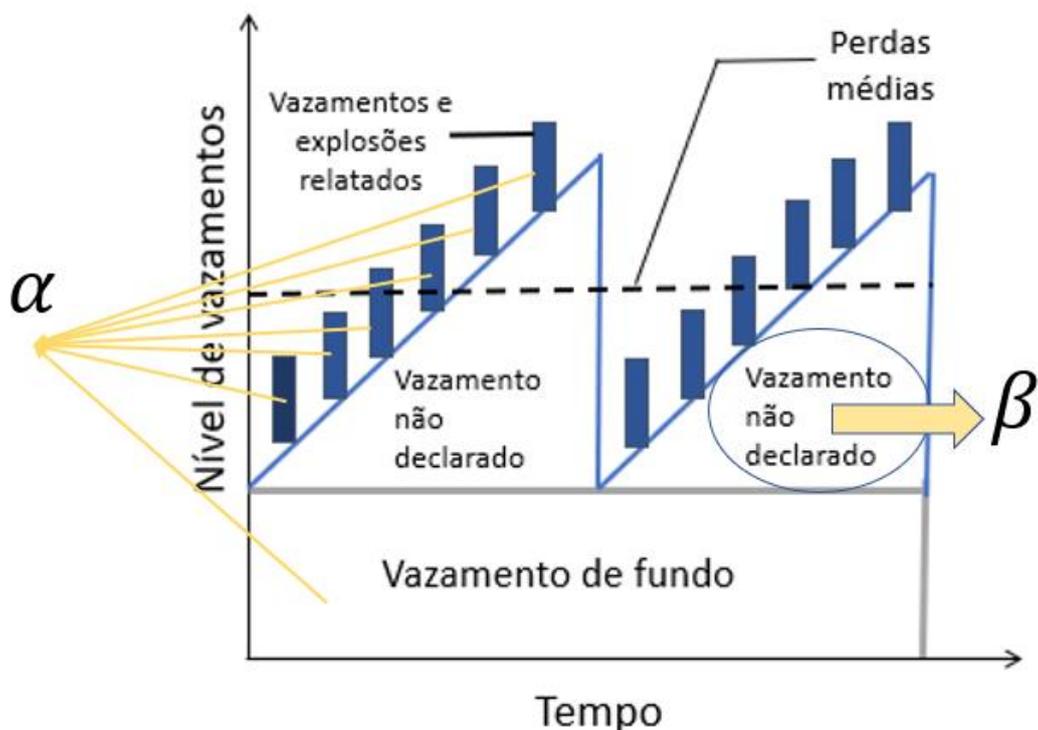


Figura 15 – Componentes de perdas reais (traduzido de Wyatt figura 10)

Ambos os coeficientes representam a situação atual da perda real em termos de potencial de redução. Se os vazamentos não reportados (β) forem maiores que as perdas de base e os reportados (α) ($\beta > \alpha$), maior é o potencial de redução de perdas.

Para determinar os alfas e betas nos sistemas é importante ter um balanço hídrico confiável para dar maior coerência ao modelo.

Obtenção e origem dos dados

Em seguida se fazem algumas considerações sobre a obtenção e a origem de dados relacionados.

Tabela 7 – Notas – dados para o custo de controle de perdas reais

Variável	Obtenção de dados e origem deles
$C_{pesquisa}$ – custo de pesquisa de vazamentos na rede e ramais (R\$/km)	Recomenda-se utilizar as tabelas de custos das companhias, pois refletem melhor os custos locais. Caso não disponha de informações pode ser obtido no SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil por semelhança a outros serviços. Serviço de topografia /km por exemplo (cód. SINAPI: 78472).
$C_{reparação}$ – custo de reparação de vazamentos na rede (R\$/km)	Recomenda-se utilizar valores históricos recentes ocorridos companhias, pois refletem melhor os custos locais e a frequência de vazamentos. Caso não disponha de informações pode inferir com base no SINAPI e frequências típicas de vazamentos por km.

<p>$C_{gest\tilde{a}o}$ – custo associados à gestão de perdas (R\$/km)</p>	<p>Recomenda-se utilizar valores históricos recentes ocorridos companhias relativos a, manutenção de válvulas redutoras de pressão; verificações de válvulas de expulsão de ar; Manutenção de válvulas e gestão de DMC; manutenção de Macro medidores; sensores de pressão; do funcionamento de SCADA; atualização de software de perdas; capacitação de recursos humanos em perdas;entre outros.</p>
<p>D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.) N – número total de ligações (nº) p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/ligação) c_c – consumo médio per capita efetivo (l/hab.dia)</p>	<p>Melhor informação disponível no prestador ou SNIS.</p>
<p>α- coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km.dia) β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)</p>	<p>Alfa e Beta influenciam bastante no resultado, porque representam a situação atual da perda real em termos de potencial de redução (se beta for maior que alfa, maior o potencial). Para isso é importante ter um balanço hídrico confiável do sistema, para o modelo ficar coerente.</p> <p>Na falta de dados mais específicos, podem ser estimados a partir de uma consideração das perdas por (l./lig/dia).</p> <p>Quanto maior a perda, maior a parcela de vazamentos que pode ser reduzida com aumento das ações de controle da perda.</p> <p>Localmente poderão ser pesquisados estes coeficientes, porém para aplicação em escala se poderá usar valores obtidos por via de regressão (linear ou potência, ou outra). Na página 134 explica-se a abordagem usada na modelagem nacional (α ; β) Considerações sobre os coeficientes de perdas de base e vazamentos reportados (alfa e beta)</p>

O nível econômico ótimo de perdas reais em (%)

Para encontrar o nível ótimo de perdas reais em percentagem da produção pode-se derivar a função do resultado financeiro (Equação 24) em relação a ℓ_{PR} . O nível ótimo ocorre quando essa derivada é igual a zero. Apenas as variáveis custo de produção unitário, custo de capital e perdas reais contêm ℓ_{PR} , então os resultados são:

Equação 80 – Condição do nível econômico de perdas reais (traduzida 32 de Wyatt, 2010)

$$0 = 0 - \left[\left(\frac{d C_{PROD}}{d \ell_{PR}} \right) + \left(\frac{d C_{exp}}{d \ell_{PR}} \right) + \left(\frac{d C_{PR}}{d \ell_{PR}} \right) \right]$$

Onde:

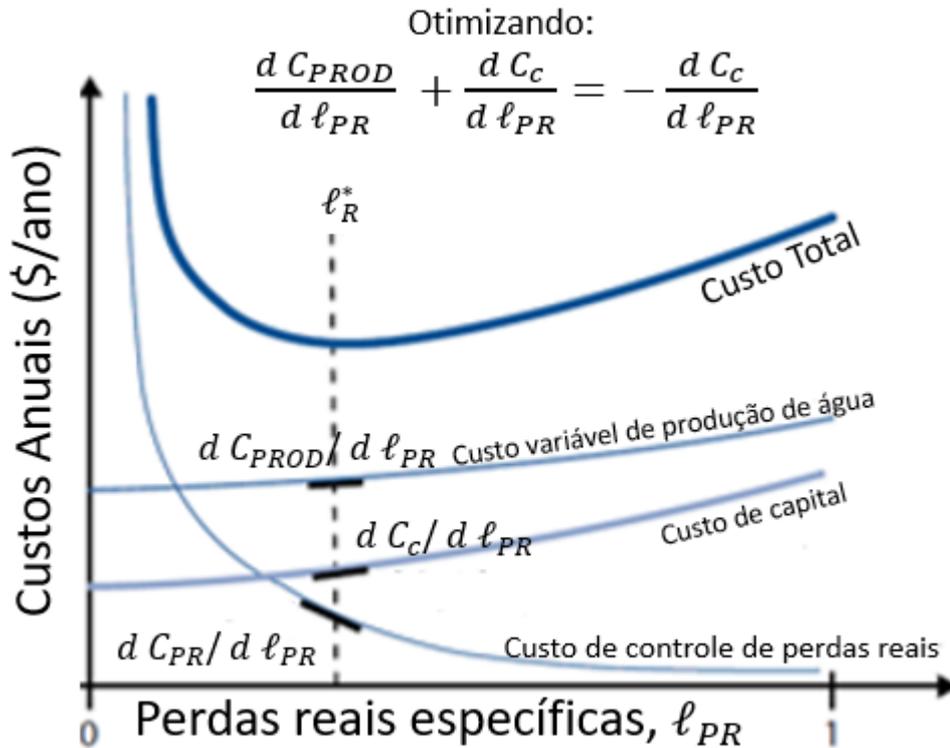
C_{PROD} – custo de produção de água anual (R\$/ano)

C_{exp} – custo anualizado de expansão do sistema (R\$/ano)

C_{PR} – custo anual de controle de perdas reais de água em (R\$/ano)

Os primeiros dois termos entre parênteses vão aumentar ℓ_{PR} , enquanto o terceiro termo vai reduzir conforme mostrado no seguinte gráfico:

Figura 16 – Condição ótima de perdas reais (Figura 14 Wyatt)



Esta é uma fórmula complexa que requer uma solução numérica. Os autores optaram por realizar uma macro no EXCEL, em vez de derivar as funções.

Para quem analisar um sistema individualmente, uma alternativa é montar uma tabela com várias linhas para a perda e 3 colunas para cada uma das curvas. Uma quarta coluna faz a soma dos 3 custos e o nível econômico é determinado pelo ponto mínimo da curva de soma. Assim é possível elaborar o gráfico para cada caso, como ilustrado na Figura 16 – Condição ótima de perdas reais (Figura 14 Wyatt).

Os três termos são:

Equação 53 – Custos de produção de água em termos de perdas reais

$$C_{PROD} = \frac{C_{prod} * Q_c}{(1 - \ell_{PR})}$$

Equação 71 - Custos anualizados de expansão do sistema – resumo da fórmula

$$C_{exp} = \frac{r(1+r)^{z_{exp}}}{[(1+r)^{z_{exp}} - 1]} * k * \left[z_{exp} * \frac{Q_c}{1 - \ell_{PR}} * (1+G) * f_r * f_p \right]^b * (1+r)^{-\frac{E}{k_1} \frac{1}{(1-\ell_{PR})G}}$$

Equação 73 – Custo de controle de perdas reais (versão traduzida e corrigida 25 de Wyatt, 2010)

$$C_{PR} = \frac{C_{prrr} M \beta}{\left(\frac{C_c p}{D} * \frac{\ell_{PR}}{1 - \ell_{PR}}\right) - \alpha}$$

Onde:

C_{prod} – custo unitário de produção de água em (R\$/m³), que inclui produtos químicos, energia, compra de água, e demais custos de curto prazo para a produção de água

N – número total de ligações (nº)

c_c – consumo médio per capita efetivo (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

ℓ_{PR} - perdas reais adimensionais (-)

z – período relativo à expansão (anos)

r – taxa de retorno (-)

k – coeficiente de custo em (R\$/m³/dia)

G – taxa de crescimento populacional (-)

Q_c – consumo no ano base 0 (m³/ano)

b – fator de economia de escala (-)

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

C_{prrr} – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)

M – comprimento da rede (km)

D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.)

β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m³/km.dia)

α – coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m³/km.dia)

O nível econômico ótimo de perdas reais em (l/lig.dia)

Note que o cálculo das perdas reais (l/lig.dia) passa por determinar o volume econômico de perdas, estando necessariamente relacionado com a unidade (% de produzido) em um momento prévio.

Tendo presente a Equação 11, o volume de perdas reais é definido pela seguinte equação:

Equação 81 - Volume de perdas reais (equivalente à equação 3 Wyatt)

$$L_{PR} = \ell_{PR} * Q_P$$

Onde:

L_{PR} volume de perdas reais de água (m³/ano)

ℓ_{PR} perdas reais adimensionais em (-)

Q_P água produzida (m³/ano)

Usando a Equação 17, que relaciona o volume produzido (Q_p) com o consumido efetivamente (Q_c) obtemos a expressão do volume de perdas reais:

Equação 82 - Volume de perdas reais

$$L_{PR} = \ell_{PR} * \frac{Q_c}{(1 - \ell_{PR})}$$

Para converter em (l/lig.dia) se divide pelo número de ligações, 365 dias e se multiplica por 1000 para obter a unidade em litros conforme segue:

Equação 83 – Nível econômico de perdas reais (l/lig.dia)

$$L_{PR}(l/lig. dia) = \ell_{PR} * \frac{Q_c}{(1 - \ell_{PR})} * \frac{1000}{365 * N}$$

Onde:*

L_{PR} – volume de perdas reais de água (l/lig.dia)

ℓ_{PR} – perdas reais adimensionais (-)

Q_c - volume de água efetivamente consumido, seja de modo fraudulento, clandestino, ou medido por hidrômetro (m³/ano)

N – número total de ligações (nº)

Exemplo numérico – o nível econômico ótimo de perdas reais

A seguir é apresentado um exemplo numérico, sendo que na parte 2 do guia realizam-se mais considerações e análises de sensibilidade do modelo.

Tabela 8 – Dados usados para cálculo de perdas reais – Exemplo numérico – Município B (Arquivo: exemplos numéricos perdas aparentes e reais)

Variável	Valor	unidade
Q_c – água consumida (m ³ /ano)	180.000.000	m ³ /ano
C_{prod} – custo unitário de produção de água	0,47	R\$/m ³
G – taxa de crescimento populacional	0,011	(-)
z_{exp} – período relativo à expansão	15	anos
f_p - fator de ponta	1,2	(-)
f_r - fator de resiliência	1,3	(-)
k – coeficiente de custo	220.000	R\$/m ³ .dia
b – fator de economia de escala	0,5	(-)
E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente	1,6	(-)
r – taxa de retorno	7	%
M – comprimento da rede (km)	9.000	km
N – número total de ligações (ativas)	681.440	lig.
C_c –per capita (l/hab.dia)	170	l/hab.dia
p – Pessoas por ligação	4,35	peessoas/ligação
C_{prrr} – custo das atividades e investimentos para controle de perdas	1.950	R\$/km
D – comprimento da rede de distribuição por ligação	0,0124	km/lig
α - coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados	5,11	(m ³ /km.dia)
β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados	9,06	(m ³ /km.dia)

As três equações relativamente a i) custos de produção de água, ii) custos anualizados de expansão do sistema e iii) custos do programa do controle de perdas reais, são calculadas isoladamente em função do nível de perdas reais.

Custos de produção de água

Foi utilizada a Equação 53, deixando apenas como incógnita o nível de perdas ótimo (ℓ_{PR}).

$$C_{PROD} = \frac{C_{prod} * Q_c}{(1 - \ell_{PR})}$$

Ao substituir na equação os valores da tabela, a conta se reduz a:

$$C_{PROD} = \frac{0,47 * 180.000.000}{(1 - l_{PR})} = \frac{84.600.000}{(1 - l_{PR})} = 100.355.872 \text{ (para 15,7 \% de lpr)}$$

Custos anualizados de expansão do sistema

Para obter o volume de expansão foi utilizada a Equação 65 e deixando apenas como incógnita o nível de perdas ótimo (l_{PR}).

$$Q_{exp} = z_{exp} * \frac{Q_c}{1 - l_{PR}} * (1 + G) * f_r * f_p$$

$$Q_{exp} = 15 * \frac{180.000.000}{365} * (1 + 0,011) * 1,2 * 1,3 = 13.839.458 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ (para 15,7\% de lpr)}$$

Usando a Equação 66.

$$F_{exp} = k(Q_{exp})^b$$

$$F_{exp} = 220.000 * (13.839.458)^{0,5} = 818.431.282 \text{ (para 15,7\% de lpr)}$$

Usando a Equação 55.

$$t = \frac{\frac{E}{k_1} - \frac{1}{(1 - l_{pr})}}{G}$$

$$t = \frac{\frac{1,6}{1,2} - \frac{1}{(1 - l_{pr})}}{0,011} = 13,4 \text{ anos (para 15,7\% de lpr)}$$

Usando a Equação 67

$$VP = F_{exp}(1 + r)^{-t}$$

$$VP = 818.431.282 * (1 + 0,07)^{-\frac{\frac{1,6}{1,2} - \frac{1}{(1 - l_{pr})}}{0,011}} = 331.175.171 \text{ (para 15,7\% de lpr)}$$

Usando a Equação 68

$$FRC_{expansão} = \frac{r(1 + r)^{z_{exp}}}{[(1 + r)^{z_{exp}} - 1]}$$

$$FRC_{expansão} = 0,1098 = \frac{0,07 * (1 + 0,07)^{15}}{[(1 + 0,07)^{15} - 1]}$$

Usando a Equação 69

$$C_{exp} = FRC * VP$$

$$C_{exp} = 0,1098 * 818.431.282 * (1 + 0,07)^{-\frac{1,6}{1,2} \frac{1}{(1-l_{pr})}} = 36.361.254 \text{ (para 15,7\% de } l_{pr}\text{)}$$

Custos do programa do controle de perdas reais

Foi utilizada a Equação 73 deixando apenas como incógnita o nível de perdas ótimo.

$$C_{PR} = \frac{C_{pr} M \beta}{\left(\frac{c_c p}{D * 1000} * \frac{l_{PR}}{1 - l_{PR}}\right) - \alpha}$$

$$C_{PR} = \frac{1.938 * 9.196 * 9,06}{\left(\frac{0,167 * 4,35}{0,0124} * \frac{l_{PR}}{1 - l_{PR}}\right) - 5,11} = 26.577.018 \text{ (para 15,7\% de } l_{pr}\text{)}$$

O nível econômico ótimo de perdas reais

Sendo que os 3 componentes (custos de produção, custos de expansão do sistema e custos do programa de controle de perdas) são determinadas pelo nível de perdas, é necessário encontrar o valor que minimize a soma das três variáveis.

Se o analista estiver computando o nível de perdas reais ótimo para um único sistema poderá realizar à mão, fazendo aproximações e iterações até encontrar o valor mínimo.

Para replicar este cálculo inúmeras vezes recomenda-se, realizar por meio de uma macro no EXCEL.

A seguinte tabela apresenta 7 tentativas de valores de perdas reais para achar o custo mais baixo de todos. O nível de perdas reais que causa menos custos é de 15,7%. Note que para ser um valor válido o custo do programa de controle de perdas tem de ser positivo (repare no caso de 8%).

Tabela 9 - Iterações até chegar ao nível

Nível de perdas reais (% de produzido)	7,0%	10,0%	13,0%	15,7%	17,0%	20,0%	25,0%
Custos de produção (R\$)	90.967.742	94.000.000	97.241.379	100.355.872	101.927.711	105.750.000	112.800.000
Custos de atualizados de expansão (R\$)	17.493.638	22.168.901	28.539.912	36.361.254	41.081.335	55.249.419	95.267.870
Custos programa de perdas (R\$)	- 253.645.643	105.442.948	41.953.236	26.577.018	22.428.403	16.257.320	10.784.355
Custos do nível de perdas totais (R\$)	- 145.184.263	221.611.849	167.734.527	163.294.144	165.437.448	177.256.740	218.852.224

Com a Equação 83 converte-se o nível econômico de perdas reais (%) em (l/lig.dia).

$$L_{PR}(\text{l/lig. dia}) = l_{PR} * \frac{Q_c}{(1 - l_{PR})} * \frac{1000}{365 * N_{ativas}}$$

$$L_{PR} = 0,157 * \frac{180.000.000}{(1 - 0,157)} * \frac{1000}{365 * 681.440} = 135 \text{ l./lig.dia}$$

O conceito de patamar econômico

Em muitos sistemas a curva de excedente financeiro e de custos é bastante achatada em torno do nível ótimo ($l_{pa_ótimo}$) e ($l_{pr_ótimo}$). Isso significa que um pouco mais ou um pouco menos de perdas tem pouco impacto nos custos.

Nesse sentido, se os sistemas estiverem ainda inferiores a 5% dos seus custos mínimos, é possível afirmar que os referidos sistemas se encontram em um patamar considerado econômico. Tendo até 5% de custos a mais do ótimo, o prestador pode estar com um nível de perdas superior ou inferior ao ponto ótimo, isto é, na curva de custos estar do lado direito ou esquerdo do ponto ótimo.

A diferença entre esses dois pontos da curva é definida no presente estudo como o **patamar econômico de perdas com 5% de tolerância**.

Equação 84 - Amplitude econômica de perdas reais para 5% de tolerância de custos

$$\theta_{r5} = l_{pr5\ sup} - l_{pr5\ inf}$$

Onde:

θ_{r5} – amplitude do patamar econômico com tolerância 5% em (%)

$l_{pr5\ sup}$ – nível superior de perdas reais para 5% mais de custos em (%)

$l_{pr5\ inf}$ – nível inferior de perdas reais para 5% mais de custos em (%)

Municípios com uma amplitude estreita de θ_{r5} necessitam de maior atenção no controle de perdas. Municípios com maior amplitude no patamar econômico podem manter seus custos baixos tendo mais margem nas opções: i) expandir o sistema, ii) produzir mais ou iii) reduzir perdas de água.

Em seguida se apresentam exemplos gráficos do patamar econômico nas perdas por submedição e nas reais.

Figura 17 - Exemplo de patamar econômico nas perdas por submedição

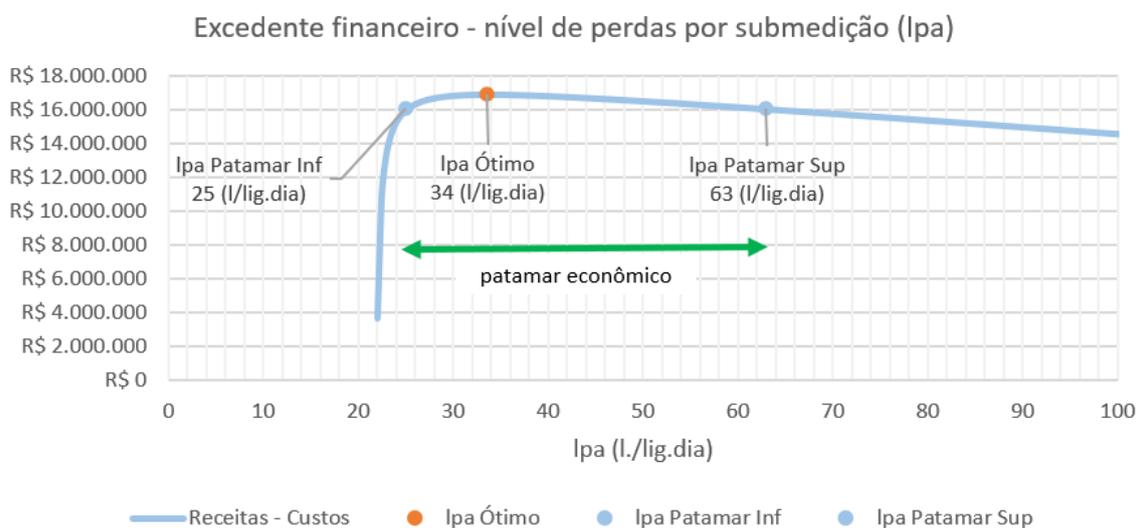
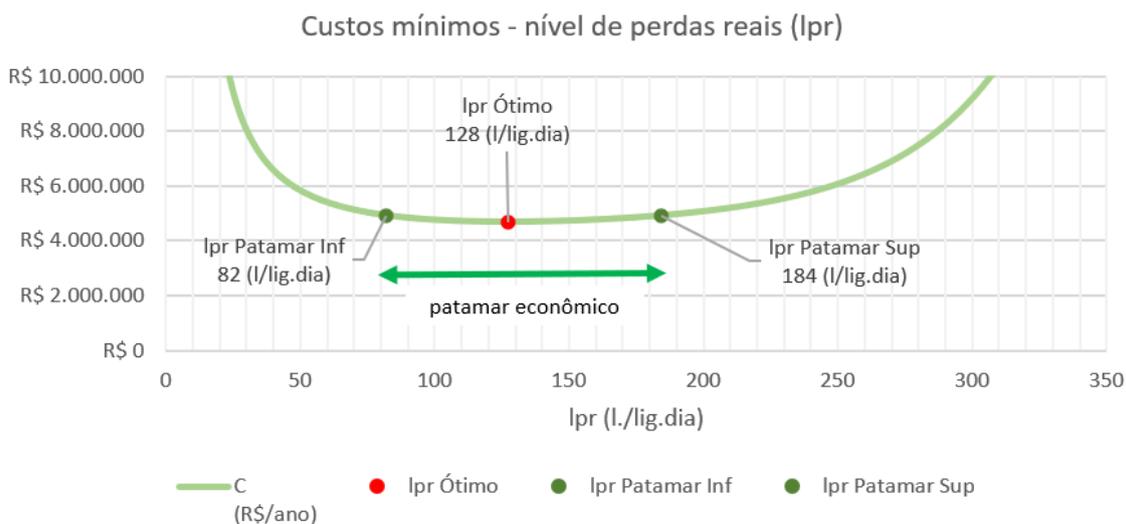


Figura 18 – Exemplo de patamar econômico nas perdas reais



Priorização de sistemas no combate às perdas

Este capítulo destina-se a municípios e companhias de saneamento que gerenciam mais que um sistema de abastecimento.

Em capítulos anteriores se identificou o nível mais econômico de perdas, nas suas componentes reais e aparentes. Esse é o ponto que menos onera a tarifa e no qual a companhia deveria operar o sistema.

No entanto, se um município ou companhia necessitar priorizar em qual sistema deve realizar o controle de perdas, pode iniciar pelos que mais oneram os custos da companhia, ou seja, iniciar por aqueles sistemas onde é mais oneroso estar fora no nível econômico.

Esses sistemas se caracterizam por terem custos elevados e patamares econômicos com uma amplitude estreita.

A priorização para o combate a perdas reais ou aparentes pode ser feita em conformidade com o custo que os desvios representam. Sistemas de abastecimento onde os desvios causam maiores custos deveriam ser priorizados.

Equação 85 – Custo por desvio da perda ótima real

$$\text{Custo por desvio da perda real ótima} = \frac{\text{Custo}_{Ipr^*}}{\theta_{r5}}$$

Onde:

θ_{r5} é a amplitude do patamar econômico com tolerância 5% em (%) de perdas reais

Custo_{Ipr^*} são os custos do nível de perda ótima (R\$%) de perdas reais

Equação 86 – Custo por desvio da perda ótima comercial

$$\text{Custo por desvio da perda comercial ótima} = \frac{\text{Exc}_{Ipc^*}}{\theta_{c5}}$$

Onde:

θ_{c5} é a amplitude do patamar econômico com tolerância 5% em (%) de perdas aparentes

Exc_{ipc^*} é o excedente financeiro ótimo (R\$%) de perdas aparentes

Validade e revisão do nível econômico

Este subcapítulo inclui três parcelas. Faz considerações sobre i) a validade do nível econômico de perdas, ii) a necessidade de revisão periódica desse nível e iii) as unidades a serem utilizadas.

Considerações sobre a validade do nível econômico de perdas

Wyatt afirma na pág. 6 do seu trabalho de 2010, que apesar de o modelo ser genérico, ele não é muito sensível a certas variáveis, sendo assim podem ser usados parâmetros padrão, obtendo um resultado aceitável. Ajustes específicos a países ou localidades irão melhorar a precisão do modelo.

A intermitência do abastecimento deturpa todos os índices técnicos e econômicos do sistema, sendo uma condição prévia para a análise do nível ótimo de perdas a operação em pleno abastecimento (ou pelo menos muito próximo do pleno abastecimento).

Se um sistema está com intermitência por fragilidade hídrica ou falta de investimentos na infraestrutura, os maiores esforços devem ser feitos para a solução definitiva dos problemas do abastecimento. Quando isso ocorrer, estariam mais satisfatórias as condições para a análise e a busca do valor ótimo de perdas.

Assim, tendo em conta essa premissa, devem ser feitas considerações sobre as bases de informação e sua precisão. O ideal é possuir informações com a maior qualidade possível, de modo que o modelo tenha maior adesão à realidade. Recomenda-se realizar análises de sensibilidade para cenários onde:

- todos os coeficientes utilizados nas fórmulas são desfavoráveis gerando o limite superior de perdas econômico;
- todos os coeficientes utilizados nas fórmulas são favoráveis gerando o limite inferior de perdas econômico;
- uso de um misto de coeficientes mais prováveis nas fórmulas gerando o nível esperado de perdas econômico.

Com base nesses cálculos o analista poderá afirmar que o nível econômico se encontra entre x e y, e se espera que seja z.

Reavaliação e revisão do nível econômico

O nível econômico de perdas varia pouco com alterações nos dados de entrada, porém é relevante recalcular ciclicamente. A seguir são listadas algumas situações que afetam o nível econômico de perdas e que devem ser consideradas, desde que sejam significativas:

- Sempre que houver dados mais confiáveis (por exemplo quando há uma melhoria na nota das informações de acordo com a metodologia preconizada no ACERTAR¹⁸);
- Mudança nas tarifas e alterações regulatórias;
- Aumento na taxa de cobertura de coleta de esgoto, pois as receitas unitárias por hidrômetro instalado aumentam, baixando o nível econômico de submedição;
- Alterações do preço de custos de construção / mão de obra;
- Situações de escassez hídrica ou previsão de escassez hídrica;
- Novos estudos e projetos que determinem melhor os custos previstos de expansão do sistema;

¹⁸ <http://www.acertarbrasil.com/>

- Alterações tecnológicas significativas, tais como melhoria do parque de hidrômetros com melhor medição;
- Alterações na capacidade instalada de produção de água;
- Alterações na pressão média de abastecimento da rede;
- Modificações no consumo da população (migrações, entrada ou saída de indústrias, crescimento populacional);
- Atualização de inflação.

Assim as metas devem ser recalculadas, e revalidadas com alguma frequência. Se recomenda uma confirmação das metas com uma frequência entre 1 a 4 anos para captar as alterações vegetativas que ocorreram no sistema.

Para um contrato entre prestador e titular do serviço se recomenda explicitar que a meta deva ser reconfirmada com uma periodicidade de 4 anos para ajustar à evolução da rede e seus usuários.

As unidades das metas e valores de referência

Para efeitos de cálculos econômicos é relevante ter presente as perdas em %, porém no momento de traduzir isso em uma meta para um prestador, esse valor deve ser apenas orientativo e a real meta deve ser traduzida em:

- *água não faturada (l/lig.dia);*
- *perdas reais (l/lig.dia);*
- *perdas aparentes (l/lig.dia);*

Esses níveis devem ser acompanhados de mais informações, tanto para o ano base como para o ano meta:

- *Volume de perdas reais (m³);*
- *Volume de perdas aparentes (m³);*
- *Ligações (n^o);*
- *Comprimento de rede de distribuição (km);*
- *população abastecida (hab.);*
- *per capita (l/hab.dia);*
- *Economias com medição individualizada (n^o) (quando aplicável)*
- *densidade de ligações (lig/km de rede de distribuição).*

Conforme o trabalho de Wyatt 2010, pág. 4 e 5: *“Usar o indicador de água não faturada [ou IN49 perdas de água] como uma percentagem de água de entrada no sistema [ou de água produzida] para comparar locais diferentes ou tendências em séries temporais só é exato se o consumo permanecer inalterado, e isso raramente ocorre”.*

Existem situações em que o consumo altera o nível de perdas (%) de modo notório tais como: restrições no consumo (crise hídrica), entrada ou saída do sistema de grandes consumidores (hotéis, indústrias) etc., mas as alterações nos comportamentos de consumidores menos notórios como, por exemplo, a adesão paulatina de máquinas de lavar roupa, tecnologias mais ou menos intensivas no uso da água, geram mudanças mais vegetativas, que também influenciam no nível de perdas (%), mascarando assim uma melhoria ou agravamento no desempenho hídrico.

Por isso a IWA abandonou o indicador água não faturada em função do volume de entrada no sistema. A IWA recomenda o uso de vários indicadores chave: água não faturada, perdas reais, perdas aparentes, todos medidos em l/lig.dia. Para perdas reais a IWA recomenda o uso de (m³/km de rede/dia).

Outro indicador importante nas discussões de perdas de água é a densidade de ligações (lig./km de rede de distribuição) ou o seu inverso: (comprimento de rede / lig).

PARTE 2 – ENSAIO DO MODELO EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Nos capítulos a seguir são descritos os ensaios realizados no modelo abordando o nível ótimo de perdas aparentes (Capítulo 9) e perdas reais (Capítulo 10). Ambos os capítulos realizam uma análise de abrangência nacional, com considerações sobre os dados introduzidos no modelo e análises dos resultados, incluindo uma análise por variável e por região geográfica. Segue também um olhar mais detalhado sobre casos isolados e como lidar com a incerteza dos valores.

4. Nível ótimo de perdas aparentes

Este subcapítulo está dividido nos 3 tipos de perdas aparentes, isto é, a submedição, a fraudes, usos clandestinos. O tema de fraudes e usos clandestinos é abordado de modo mais superficial. As perdas por submedição têm análises mais completas.

O seguinte histograma resume as várias componentes das perdas aparentes (submedição, fraudes, falhas de cadastro-clandestinos) obtidos nos subcapítulos seguintes para os municípios brasileiros.

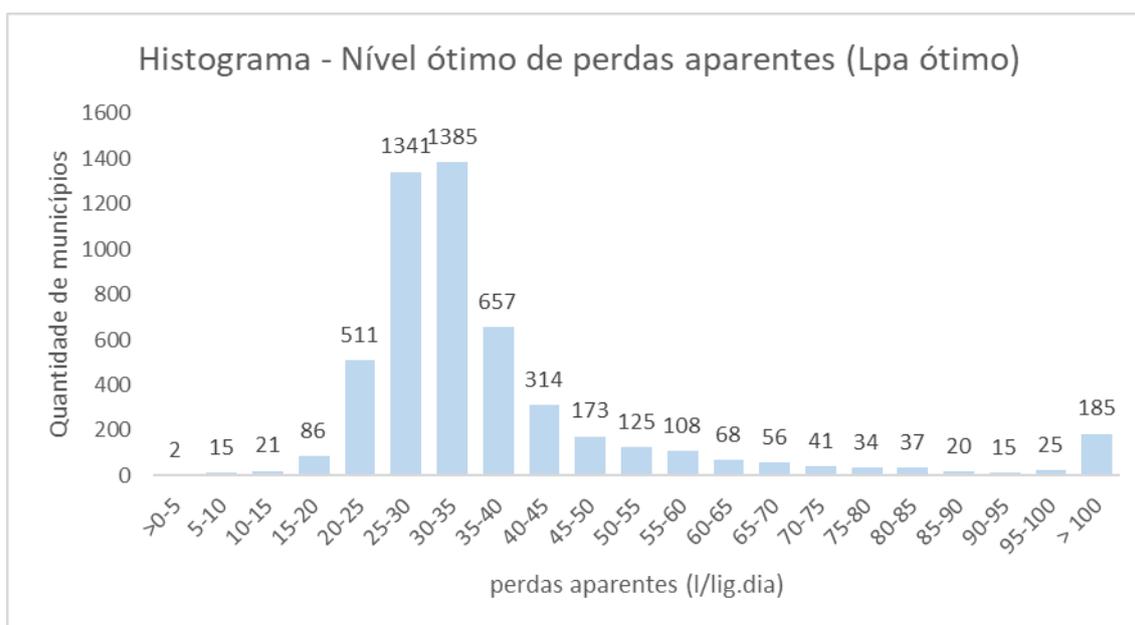
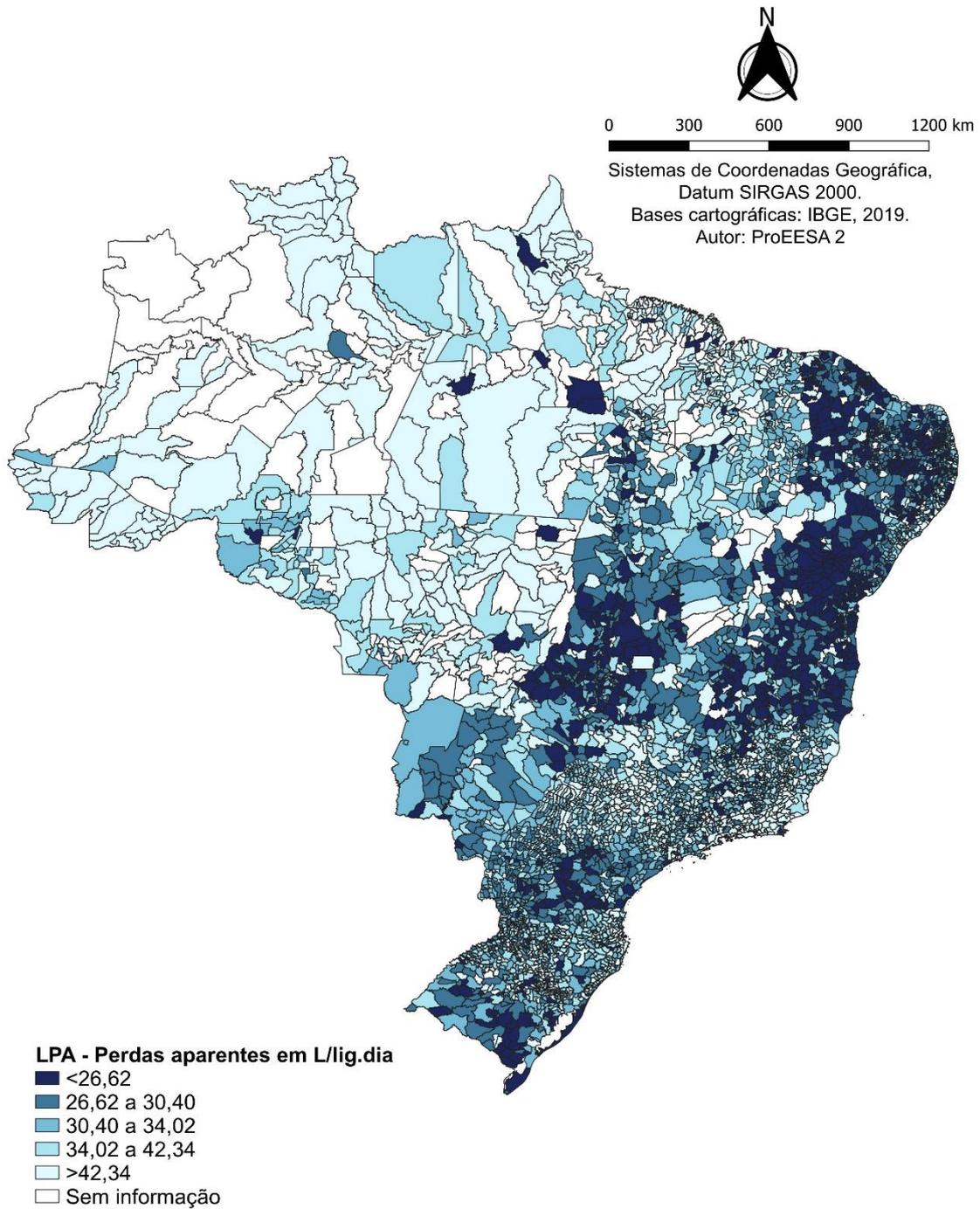


Gráfico 1 – Histograma do nível ótimo de perdas aparentes nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)



Mapa 1 - nível ótimo de perdas aparentes nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019) (l/lig.dia)

Perdas aparentes por submedição

Inputs no modelo

Variações espaciais das variáveis de perdas por submedição

A seguinte tabela apresenta as diferenciações locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes.

Salienta-se Receita (R\$) e Volume de água consumido (m³) é um par de valores que tem de ser consistente entre si. A tarifa média deve obtida usando o volume que gera receitas e em situações ideais corresponde à água medida.

Com as receitas (R\$) disponíveis no SNIS, é possível calcular uma tarifa média para a água consumida, porém é preciso ajustar à definição das receitas. As receitas necessitam de ser divididas pela

$$\begin{aligned} & \text{Água consumida (AG010)} + \text{Água exportada (AG019)} \\ & + \text{Esgoto coletado (sem dados no SNIS)} \end{aligned}$$

O per capita embasa no volume de água consumido (m³). O valor mais aproximado que se dispõe no SNIS é

$$(\text{Água consumida (AG010)} - \text{Água exportada (AG019)})$$

Não foi usada a opção de recorrer a AG011 volume de água faturado porque em muitos municípios se faturam 10m³ embora o consumo tenha sido inferior e para o cálculo do Nível econômico são necessários volumes consumidos efetivamente no município.

Não foi usado a variável a AG008 volume de água micromedida porque a água não micromedida também gerou receitas, que determinou a tarifa média.

Tabela 10 - Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes

Variável	Diferenciação	Comentários
T – Tarifa Unitária “líquida – livre de impostos” (R\$/m ³)	Municipal	<p>Valor calculado com base dados do SNIS de acordo com a seguinte expressão:</p> <p>Usando os dados do SNIS se pode usar a seguinte aproximação:</p> $T = \left(\frac{FN002}{AG010 \times 1000} + \frac{FN003}{AG010 \times 1000 * \frac{ES001^*}{AG001^*}} \right) * tx$ <p><u>Para quem não tem serviço de esgoto, foi só usada a tarifa de água. Nos resultados finais isso significa que o nível econômico de perdas por submedição é mais exigente do que o calculado.</u></p> $T = \left(\frac{FN002}{AG010 \times 1000} \right) * tx$ <p>Onde:</p> <ul style="list-style-type: none">• FN002 – receita operacional direta de água – Valor faturado anual decorrente da prestação do serviço de abastecimento de água, resultante exclusivamente da aplicação de tarifas e/ou taxas, excluídos os valores decorrentes da venda de água exportada no atacado (bruta ou tratada)• FN003 – receita operacional direta de esgoto – Valor faturado anual decorrente da prestação do serviço de esgotamento sanitário, resultante exclusivamente da

		<p>aplicação de tarifas e/ou taxas, excluídos os valores decorrentes da importação de esgotos</p> <ul style="list-style-type: none"> • AG010 – volume de água consumido (1000m³/ano), (que inclui a água exportada) • N_a – AG001 – População com serviço de água (hab.) • N_e – ES001 – População com serviço de esgotamento sanitário (hab.) • Tx = 0,65 é um fator para converter em “tarifa líquida”, ou seja, o valor que efetivamente fica no caixa da companhia após o pagamento de impostos e taxas sobre o faturamento, tendo em conta as variações entre os estados.
H – Custo médio da substituição de hidrômetros	Estadual	<p>Uso das bases de dados de preços do SINAPI para a troca de hidrômetros.</p> <p>Considerou-se o custo dos hidrômetros na seguinte proporção:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 90% de 1,5 m³/hora • 8% de 3,0 m³/hora • 2% de 5 m³/hora <p>Preço de hidrômetro em cada estado * (1+BDI)</p>
BDI - Benefícios e Despesas Indiretas	Nacional	31,9%
s – Inclinação negativa da linha de precisão de medição de hidrômetros	Nacional	Na aplicação se utilizou-se a submedição anual de 1% ao ano.
c_{CH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)	Municipal	<p>Valor obtido com base dados do SNIS</p> $c_{CH} = \frac{AG010 - AG019}{AG001^*} \times \frac{1.000.000}{365}$ <p>(1 - ℓ_{sub0})</p> <p>Sendo que AG001 habitantes é a média do valor do ano e o ano anterior.</p> <p>O fato de inserir “AG010 - Volume de água consumido “nesta variável assume que o prestador de serviço reportou ao SNIS o volume micro medido.</p> <p>Para efeitos desta modelagem o AG010 é um proxy do consumo medido. Municípios com elevados consumos irregulares (fraudes, clandestinos) deverão ajustar os dados de entrada adequadamente.</p>
ℓ_{sub0} – submedição em hidrômetros no ano 0 (% do volume consumido)	Nacional	<p>No presente estudo se usou 12%, que pretende incorporar a submedição atual por suas diversas razões para efeitos de estimar melhor o volume efetivamente consumido.</p> <p>(Na versão de 2020 esta variável tinha o nome de f_0 – submedição no ano atual ano 0.)</p>
ℓ_{inevit} – submedição em hidrômetros tecnicamente inevitável (% do volume consumido)	Nacional	<p>No presente estudo se usou 4% que inclui a submedição de hidrômetros no estado de condição novo assim como regimes de abastecimento de baixas vazões por conta do uso de hidrômetros velocimétricos.</p> <p>(Na versão de 2020 esta variável assumiu diversos nomes f_{id} – f ideal ou antigo f_1.)</p>
P – Pessoas por ligação (hab./lig)	Municipal	<p>Valor calculado com base dados do SNIS de acordo com a seguinte expressão:</p> <p>AG001*/AG002*</p>

		<p>AG001* - População total atendida com abastecimento de água/ AG002* - Quantidade de ligações ativas de água</p> <p>* utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo ou seja</p> $[(AG001+AG001A)/2] / [(AG002+AG002A)/2]$ <p>Note-se que tem menos precisão usar a população reportada a 31.12 do ano de referência. Para ser mais representativo o valor anual deve-se usar a média entre dois anos consecutivos. O SNIS calcula do seguinte modo a melhor estimativa do ano (AG001+AG001A)/2.</p>
N_{ati} – número total de ligações ativas (nº)	Municipal	<p>Valor calculado com base dados do SNIS de acordo com a seguinte informação:</p> $[(AG002+AG002A)/2]$ <p>AG002* – Quantidade de ligações ativas de água</p>

Salienta-se que Receita (R\$) e Volume de água consumido (m³) é um par de valores que tem de ser coerente entre si. Isto é, a tarifa média deve ser obtida usando o volume que gera receitas e em situações ideais corresponde à água medida.

Com as receitas (R\$) reportadas ao SNIS, é possível calcular uma tarifa média para a água consumida, porém é preciso ajustar os volumes à definição das receitas. As receitas necessitam de ser divididas pela

$$\begin{aligned} & \text{Água consumida (AG010)} + \text{Água exportada (AG019)} \\ & + \text{Esgoto coletado (sem dados no SNIS)} \end{aligned}$$

O per capita embasa no volume de água consumido (m³). O volume mais aproximado¹⁹ que se dispõe para esses efeitos no SNIS é

$$(\text{Água consumida (AG010)} - \text{Água exportada (AG019)})$$

Não se recorreu a AG011 volume de água faturado porque em muitos municípios se faturam 10m³ embora o consumo tenha sido inferior e para o cálculo do nível econômico são necessários volumes consumidos efetivamente no município (balanço de massas e não volumes para efeitos contabilísticos) .

Não foi usado a variável AG008 - volume de água micromedida porque o volume que não foi micromedido também gerou receitas, e influiu na determinação da tarifa média. Usar apenas a água micromedida eliminaria a coerência do par de valores Receitas – Volumes. Infelizmente a maioria das companhias de saneamento não tem 100% de hidrometração. Assim, quase sempre uma parcela do consumo é estimado.

A seguir descreve-se o raciocínio para estimar as variações interestaduais utilizadas:

(H) – Considerações estaduais do custo médio de substituição de hidrômetros

O custo médio de substituição de hidrômetros é o resultado da composição de custos de materiais (como o próprio hidrômetro) e mão-de-obra, envolvendo planejamento, execução e acompanhamento dos serviços de troca.

¹⁹ Conforme cálculo SNIS de IN022- Consumo médio percapita de água

Naturalmente, esta composição pode variar significativamente em função da natureza do operador ou do programa de troca.

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção – SINAPI, realizado pela Caixa Econômica Federal, é um sistema de referências oficiais de custos para avaliação e financiamentos de obras e serviços empreendidos pelo Governo Federal. Traz, entre suas composições de custos, os itens abaixo que podem servir de referência geral para estimativa de custos de troca de hidrômetros:

Tabela 11 – Referência geral para estimativa de custos de troca de medidores - exemplo

Código SINAPI	Descrição	Valores para São Paulo em R\$ (out/2019)
95673	hidrômetro DN 20 (½), 1,5 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	104,61
95674	hidrômetro DN 20 (½), 3,0 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	110,95
95675	hidrômetro DN 25 (¾), 5,0 m³/h fornecimento e instalação. Af_11/2016	135,42

Fonte: Relatório de Insumos e Composições – OUT/19 – COM DESONERAÇÃO – São Paulo

Os valores atualizados no tempo e regionalmente para estas composições, por estado da federação, podem ser encontrados na página oficial do sistema SINAPI: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>

Adicionalmente, os valores dos insumos que compõem estas composições podem ser atualizados conforme valores efetivamente licitados/contratados em cada localidade ou por modelo/tecnologia de hidrômetro, além de outros serviços interligados. Para tanto, as estruturas a seguir revelam os itens que compõem a relação básica empregada pela SINAPI:

Tabela 12 – Composição dos insumos para troca de Composição 95673 – Hidrômetro DN 20 (½”), 1,5 m³/h

Composição 95673 – Hidrômetro DN 20 (½”), 1,5 m³/h – fornecimento e instalação. Af_11/2016			
Código	Descrição	Unidade	Quantidade
3148	fita veda rosca em rolos de 18 mm x 50 m (l x c)	AS	0,0159
12769	Hidrômetro unijato, vazão máxima de 1,5 m³/h, de ½”	AS	1,0000
88248	auxiliar de encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,4546
88267	encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,4546

Fonte: Catálogo de Composições Analíticas julho/2019²⁰

Tabela 13 – Composição dos insumos para troca de Composição 95674 – hidrômetro DN 20 (½”), 3,0 m³/h

Composição 95674 – hidrômetro DN 20 (½”), 3,0 m³/h – fornecimento e instalação. Af_11/2016			
Código	Descrição	Unidade	Quantidade
3148	fita veda rosca em rolos de 18 mm x 50 m (l x c)	AS	0,0159
12773	Hidrômetro unijato, vazão máxima de 3,0 m³/h, de ½”	AS	1,0000

²⁰ Catálogo de Composições Analíticas Julho/2019. Itens e Coeficientes (arquivo Excel). Publicado em 16 de agosto de 2019 / Formato xls / 7142 Kb - http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-catalogo-de-composicoes-analiticas/CATALOGO_COMPOSICOES_ANALITICAS_EXCEL_07_2019.xls

88248	auxiliar de encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,4546
88267	encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,4546

Fonte: Catálogo de Composições Analíticas julho/2019²¹

Tabela 14 – Composição dos insumos para troca de Composição 95675 – hidrômetro DN 25 (¾”), 5,0 m³/h

Composição 95675 – hidrômetro DN 25 (¾”), 5,0 m³/h – fornecimento e instalação. Af_11/2016

Código	Descrição	Unidade	Quantidade
3148	fita veda rosca em rolos de 18 mm x 50 m (l x c)	AS	0,0198
12774	Hidrômetro unijato, vazão máxima de 5,0 m ³ /h, de ¾”	AS	1,0000
88248	auxiliar de encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,5259
88267	encanador ou bombeiro hidráulico com encargos complementares	H	0,5259

Fonte: Catálogo de Composições Analíticas julho/2019²²

Para efeitos de ensaio do modelo em nível nacional selecionaram-se os custos dos hidrômetros relativos ao segundo semestre de 2019. Para compor o preço do hidrômetro médio se usou as seguintes proporções, que se pressupôs ser a frequência nos municípios:

Tabela 15 – Proporção de hidrômetros para definir o preço médio

Código SINAPI	Descrição	Valores para São Paulo em R\$ (out/2019)
95673	hidrômetro DN 20 (½), 1,5 m ³ /h fornecimento e instalação. Af_11/2016	90% dos hidrômetros
95674	hidrômetro DN 20 (½), 3,0 m ³ /h fornecimento e instalação. Af_11/2016	8% dos hidrômetros
95675	hidrômetro DN 25 (¾), 5,0 m ³ /h fornecimento e instalação. Af_11/2016	2% dos hidrômetros

Os valores que compõem H, assim como o próprio H para cada estado pode ser consultado no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 46 na página 177.

Para tentar quantificar todos os custos relacionados com a gestão do parque de hidrômetros, poderia ser acrescentado os itens adicionais de custos como os de análise do parque de medidores para definição de trocas, acompanhamento posterior das trocas, análise em bancada dos desvios dos medidores removidos, testes de ensaio de recebimento de medidores novos, reposição de lacres, entre outros.

Outputs do modelo

Os seguintes valores (l/lig.dia) referem-se às perdas por submedição ótimas derivadas a partir da combinação da Equação 36 com a Equação 10:

²¹ Catálogo de Composições Analíticas Julho/2019. Itens e Coeficientes (arquivo Excel). Publicado em 16 de agosto de 2019 / Formato xls / 7142 Kb - http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-catalogo-de-composicoes-analitic/CATALOGO_COMPOSICOES_ANALITICAS_EXCEL_07_2019.xls

²² Catálogo de Composições Analíticas Julho/2019. Itens e Coeficientes (arquivo Excel). Publicado em 16 de agosto de 2019 / Formato xls / 7142 Kb - http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-catalogo-de-composicoes-analitic/CATALOGO_COMPOSICOES_ANALITICAS_EXCEL_07_2019.xls

$$l_{sub_ótimo} = l_{evit_ótimo} + l_{inevit}$$

Na qual

$$l_{evit_ótimo} = \left[\frac{H s}{\left(2 T c_{cH} p \frac{365}{1000} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Onde

$l_{sub_ótimo}$ - perdas por submedição ótimas, isto é, econômicas (% do volume consumido)

l_{sub_inevit} - perdas por submedição inevitáveis (% do volume consumido)

$l_{evit_ótimo}$ - perdas por submedição evitáveis ótimas, isto é, econômicas (% do volume consumido)

H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro).

s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano)

T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m³)

c_{cH} – per capita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (l/hab.dia)

p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)

O gráfico 2 apresenta para os municípios brasileiros o nível ótimo de perdas por submedição,

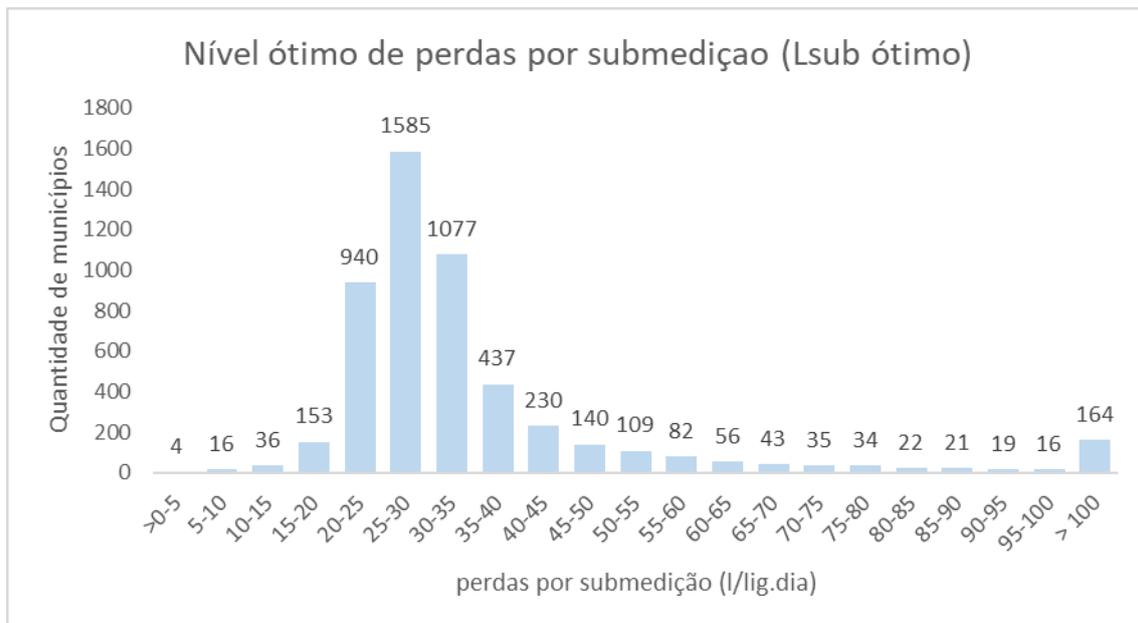


Gráfico 2 - Histograma do nível ótimo de perdas por submedição nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)

Para a maioria dos municípios o nível ótimo de perdas aparentes está entre 20 e 35 l/lig.dia. Alguns municípios apresentam valores extremamente elevados ou baixos (superior a 100 l/lig.dia, ou inferior a 10 l/lig.dia) que resultam de situações, onde a relação entre os dados que foram utilizados no modelo, isto é, os dados reportados ao SNIS podem conter inconsistências.

O seguinte gráfico pretende dar uma percepção da dispersão dos níveis ótimos por região. Nos municípios da Região Norte a mediana do nível ótimo é de 36 l/lig.dia e pode assumir valores

mais heterogêneos (caixa maior). Na Região Nordeste a mediana é de 26 l/lig.dia e os valores são mais homogêneos (caixa mais estreita).

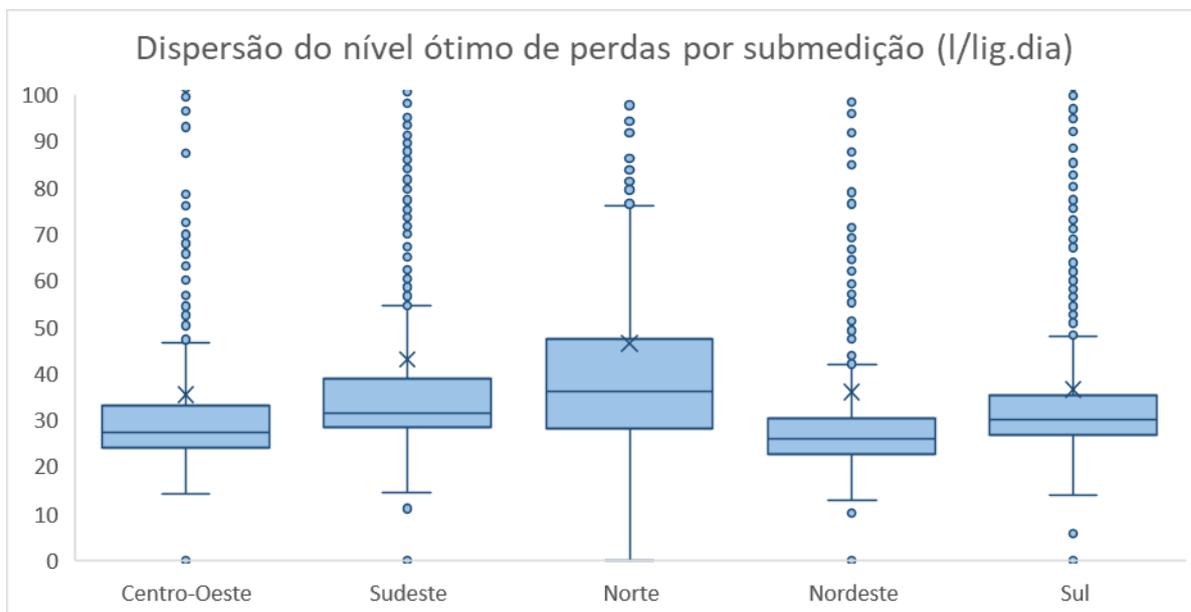


Gráfico 3 - Dispersão do nível ótimo de perdas por submedição nos estados brasileiros (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)

Sensibilidade e incerteza na definição da meta de perda por submedição

Neste subcapítulo analisa-se quanto uma variável influi no resultado final de perdas por submedição ótima. Pretende-se identificar quão sensível o modelo é a essa variável para que se possa investir e pesquisar com mais acurácia as variáveis que influenciam mais o resultado.

Para tal, recorreu-se ao conceito de elasticidade, que é o tamanho do impacto que a alteração em uma variável (ex.: tarifa ou custo médio do hidrômetro) exerce sobre o nível ótimo de perdas por submedição.

Elasticidade das variáveis

A elasticidade é definida pela seguinte equação:

Equação 87 - Elasticidade de perdas por submedição

$$\varepsilon_{lp_c, y} = \frac{\frac{lp_{sub_1} - lp_{sub_{base}}}{lp_{sub_{base}}}}{y_1 - y_{base}} = \frac{\frac{\Delta lp_{sub}}{lp_{sub_{base}}}}{\frac{\Delta y}{y_{base}}} = \frac{\Delta lp_{sub}}{\Delta y} * \frac{y_{base}}{lp_{sub_{base}}}$$

Onde:

lp_{sub} – é o nível ótimo de perdas por submedição (-).

y – é a variável que se pretende testar

Na Equação 36 – Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis (traduzida 31 de Wyatt, 2010), todas as variáveis têm a mesma elasticidade entre si quando estão no numerador (H; s) influenciado de modo positivo ou quando estão no denominador (T; c; p), onde influenciam de modo negativo. O nível de submedição inicial também influencia positivamente. Na tabela a seguir aumentou-se todas as variáveis para o dobro do valor, e na tabela seguinte reduziu-se os valores para a metade.

Se a tarifa unitária duplicar o nível ótimo de perdas aparentes vai reduzir 1,4% o nível econômico das perdas por submedição. Os testes foram executados e os resultados encontram-se na seguinte tabela:

Tabela 16 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas por submedição (L_{sub}) ao duplicar os dados de input (arquivo: Elasticidade)

Variável	valor base (x)	variação (%) de x	variação de x (x1)	delta x	novo nível l_{p_sub} ótimo (y1) (eq 37)	delta y (lsub)	Elasticidade
H – Custo médio da substituição de hidrômetros	135	200%	270	135	10,51%	1,9%	0,152
s – Inclinação negativa da linha de precisão de medição de hidrômetros	1%	200%	2%	1%	10,51%	1,9%	0,152
T - Tarifa unitária líquida - livre de impostos (R\$/m³)	1,94	200%	3,87	1,94	7,25%	-1,4%	0,107
c_ch – percapita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/pessoa/dia)	0,082	200%	0,163	0,082	7,25%	-1,4%	0,107
P – Pessoas por ligação (hab./lig)	5,54	200%	11,08	5,54	7,25%	-1,4%	0,107
L_{inevit}	4%	200%	8%	4%	12,60%	4,0%	0,317
Nível de perdas por submedição ótimo (%)	8,60%	(coluna CP)					
Nível de perdas por submedição ótimo (l/lig.dia)	38,82 l/lig.dia	(coluna CQ)					

Tabela 17 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas por submedição (L_{sub}) ao reduzir para metade os dados de input (arquivo: Elasticidade)

Variável	valor base (x)	variação percentual de x	variação de x (x1)	delta x	novo nível l_{p_sub} ótimo (y1) (eq 37)	delta y (lsub)	Elasticidade
H – Custo médio da substituição de hidrômetros	135	50%	68	-68	7,25%	-1,4%	0,214
s – Inclinação negativa da linha de precisão de medição de hidrômetros	1%	50%	1%	-1%	7,25%	-1,4%	0,214
T - Tarifa unitária líquida - livre de impostos (R\$/m³)	1,94	50%	0,97	-0,97	10,51%	1,9%	0,303
c_ch – percapita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m³/pessoa/dia)	0,082	50%	0,041	-0,041	10,51%	1,9%	0,303
P – Pessoas por ligação (hab./lig)	5,54	50%	2,77	-2,77	10,51%	1,9%	0,303
L_{inevit}	4%	50%	2%	-2%	6,60%	-2,0%	0,317
Nível de perdas por submedição ótimo (%)	8,60%	(coluna CP)					
Nível de perdas por submedição ótimo (l/lig.dia)	38,82 l/lig.dia	(coluna CQ)					

O aumento ou redução das variáveis tem o seguinte efeito no nível econômico de perdas aparentes:

Tabela 18 – Influência positiva e negativa das variáveis no nível de perdas por submedição

Variáveis	Baixam o nível econômico de perdas por submedição em %	Elevam o nível econômico de perdas por submedição em %
(Assinaladas em cor azul na Tabela 19) H – custo médio de substituição de hidrômetros, incluindo materiais, custos de mão de obra (R\$ / hidrômetro). s – inclinação da linha de precisão de medição (%/ano) l_{inevit} – perdas de água por submedição inevitáveis (%)	Quando são baixos, reduzem o nível econômico 	Quando são elevados, sobem o nível econômico 

(Assinaladas em cor laranja na Tabela 19)	Quando são elevados reduzem o nível econômico 	Quando são baixos, elevam o nível econômico 
T – tarifa unitária (ou receita unitária) (R\$/m ³) c _{CH} – consumo médio per capita efetivo (l/hab.dia) p – número médio de pessoas por ligação (pessoas/lig)		

Os diversos municípios encontram-se em situações distintas, sendo que a elasticidade das variáveis não é necessariamente da mesma dimensão em todos os casos.

Intervalo de incerteza

Após verificar a elasticidade procedeu-se à definição dos intervalos de incerteza dos valores. É natural existir maior certeza em alguns valores e em outros menos, por existirem lacunas de conhecimento sobre essas variáveis.

A seguinte tabela traz limites dentro dos quais se considera que deva estar o valor real de cada variável. O processo o consenso para os limites deve ser encontrado entre as partes ao estabelecer metas para perdas aparentes:

Tabela 19 – Intervalos de incerteza para determinar o intervalo das perdas aparentes ótimo (arquivo: Elasticidade)

Variável	valores que favorecem uma perda de submedição mais elevada		valor base (x)	valores que favorecem uma perda de submedição mais baixa	
	variação percentual de x	variação de x (x1)		variação percentual de x	variação de x (x1)
H – Custo médio da substituição de hidrômetros	110%	149	135	90%	122
s – Inclinação negativa da linha de precisão de medição de hidrômetros	110%	0,01	1%	90%	0,01
T - Tarifa unitária líquida - livre de impostos (R\$/m ³)	90%	1,74	1,94	110%	2,13
c _{CH} – percapita efetivamente consumido que passou por hidrômetro (m3/pessoa/dia)	85%	0,069	0,082	115%	0,094
P – Pessoas por ligação (hab./lig)	85%	4,71	5,54	115%	6,37
L _{inevit}	115%	0,046	4%	85%	0,034
Nível de perdas por submedição ótimo	10,88%	(coluna CP)	8,60%		6,83%
	49,09 l/lig.dia	(coluna CQ)	38,82 l/lig.dia		30,84 l/lig.dia

Tendo em conta os limites de incerteza superiores e inferiores de cada variável, o nível de perdas por submedição deve encontrar-se entre 6,83% e 10,88%.

Esse intervalo limita as possibilidades e coloca fronteiras do economicamente viável. À medida que surgir mais conhecimento e certeza sobre os valores, se recomenda ir reduzindo o intervalo.

Outra comparação que se pode fazer o intervalo de incerteza da Tabela 19 com o intervalo do patamar econômico.

O patamar econômico para uma tolerância de 2,5% é de 6,40% - 13,10%.

O patamar econômico para uma tolerância de 5% é de 5,90% - 15,80%.

Se conclui que é recomendável avaliar níveis de perdas por submedição mediante um intervalo correspondente a um patamar econômico que permita absorver as incertezas dos dados.

Perdas aparentes por fraude

Inputs no modelo

Se lembra que o analista ao replicar o modelo poderá usar informações que melhor espelham a realidade local usando a abordagem descrita no capítulo relativo ao Componente 2 – O nível econômico de fraudes (página 62). Essa abordagem em cima é mais completa e inclui elementos para determinar o nível econômico de fraudes.

Os dados incluídos no modelo não é o nível econômico, mas sim, próximo do desejável.

O modelo aplicado aqui pode estar subestimado para municípios onde o nível de fraudes é significativo. Embora estejamos realizando algum erro em relação a diversas situações, não queremos deixar omitir esta parcela. Para efeitos do modelo nacional foram usados os seguintes dados.

Os dados que incluímos no modelo não é o nível econômico, mas sim o estado atual, que na maioria dos casos é inferior ao econômico.

Variações espaciais das variáveis de perdas aparentes por fraude

A seguinte tabela apresenta as diferenciações locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes por fraude usadas na combinação da Equação 49 Equação 50 e Equação 51.

Tabela 20 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para as variáveis de perdas aparentes por fraude

Variável	Diferenciação	Comentários
N_{tot} – Número total de ligações	Municipal	Diferente das utilizados nas perdas por submedição, pois inclui as ligações não ativas que estão sujeitas a fraude. AG021 - Quantidade de ligações totais de água dp SNIS
f_i – Fator de irregularidade (-) (por exemplo 1,5)	Nacional	Foi utilizado 1,5. Se assume que o consumo em uma ligação irregular é 1,5 superior ao de uma ligação regular.
N_p – Ligações pesquisadas (lig.)	Municipal	0,7% das N_{tot} – Ligações totais (lig.)
$f_{p.d}$ – Fraudes pesquisadas e detectadas (fraudes/ 1000 lig.)	Nacional	0,003 - Foi utilizado 3 fraudes/ 1000 lig.
F_{pd} – Fraudes pesquisadas e detectadas (lig.)		$F_{pd} = f_{p.d} * N_p$
t_{ex} – Taxa de fraudes não detectadas e que foram pesquisadas (-)	Nacional	0,05, isto é 5 em 100 fraudes pesquisadas não são detectadas.
v_m – volume médio consumido em ligação regular (m ³ /lig.mês)	Municipal	$v_m = \frac{Q_m}{N * 12}$

Output do modelo

Os seguintes valores referem-se a perdas por fraude (m³/ano) conforme a Equação 50 devidamente convertidos em (l/lig.dia).

Para a maioria dos municípios o nível de fraudes está abaixo de 2l/lig.dia. A mediana são 1,63 l/lig.dia. (Foi mantida a mesma escala dos histogramas anteriores no eixo X para evidenciar que o volume de perdas por fraudes utilizado neste modelo é inferior a 5 l/lig.dia para a maioria dos municípios analisados)

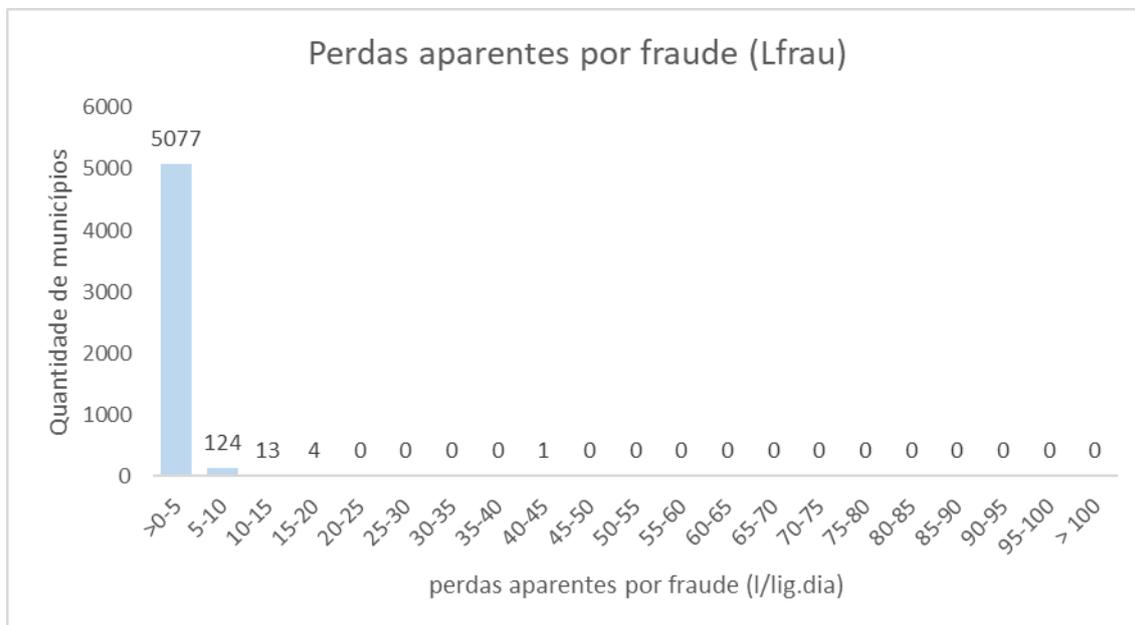


Gráfico 4 - Dispersão do nível perdas por fraude resultantes dos dados usados no modelo (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)

Perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos

Sempre existirão alguns usos clandestinos. O ideal é que sejam nulos e que a situação fundiária esteja regularizada.

Para efeitos do modelo nacional usou-se que 0,25% da água consumida no sistema de distribuição em análise, isto é:

$$L_{cc} = 0,0025 * (AG010 - AG019)$$

Onde

AG010 - Volume de água consumido (m³/ano)

AG019 - Volume de água tratada exportado (m³/ano)

O valor é discricionário, podendo ser utilizado outro. Tendo em conta aspectos locais individuais de cada município, será mais fácil estimar esta parcela. Apesar de ser pouco significativa no resultado para o modelo nacional considerou-se importante não omitir totalmente e considerar algo nesta parcela.

Então os dados incluídos no modelo não é o nível econômico, mas sim, próximo do desejável.

Input do modelo

A seguinte tabela apresenta as diferenciações locais para as perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos:

Tabela 21 - Estimativas locais, para perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos

Variável	Diferenciação	Comentários
----------	---------------	-------------

L_{cc} – Volume de perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos	Municipal	0,25% da água consumida no SNIS Outro referencial também poderia ser igualmente válido para esta estimativa. $L_{cc} = 0,0025 * (AG010 - AG019) * 1000$ AG010 – Volume de água consumido SNIS (1000m ³ /ano) AG019 - Volume de água tratada exportado (m ³ /ano)
--	-----------	---

Output do modelo

Os seguintes valores referem-se a perdas aparentes relativos a falhas de cadastro e usos clandestinos (m³/ano) devidamente convertidos em (l/lig.dia).

Para a maioria dos municípios o nível de fraudes está abaixo de 1 l/lig.dia. A mediana são 0,86 l/lig.dia.

(Foi mantida a mesma escala dos histogramas anteriores no eixo X para evidenciar que o volume de perdas por falhas de cadastro e ligações clandestinas utilizado neste modelo é inferior a 5 l/lig.dia para a maioria dos municípios analisados)

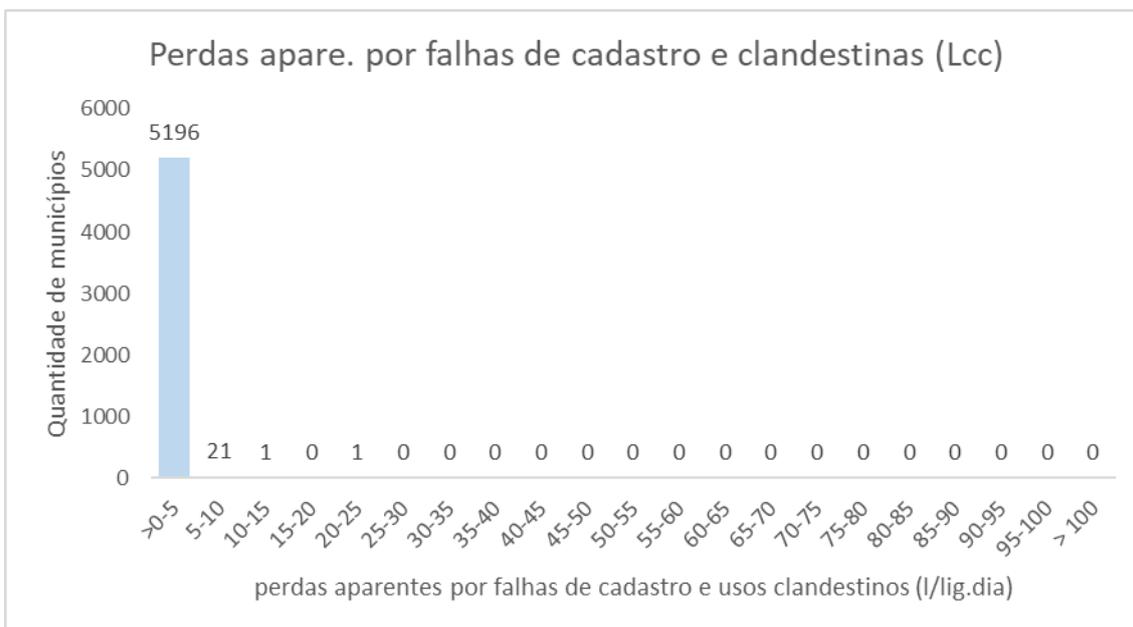


Gráfico 5 – Dispersão do nível perdas aparentes relativas a falhas de cadastro e usos clandestinos resultantes dos dados usados no modelo (Tamanho da amostra 5219, ano 2019)

5. Nível ótimo de perdas reais

Inputs no modelo

Variações espaciais das variáveis de perdas reais

As seguintes três tabelas apresentam as diferenciações locais, estaduais, regionais e nacionais das variáveis usadas para calcular as três componentes das perdas reais econômicas:

Tabela 22 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos de produção

Variável	Diferenciação	Comentários
C_{prod} – custo unitário de produção de água em (R\$/m ³)	Municipal	$C_{prod} = \frac{(FN011 + FN013) * \left(\frac{AG028}{AG028 + ES028} \right) + FN20}{(AG006 + AG018) \times 1000}$ <p>Onde:</p> <p>FN011: Despesa com produtos químicos R\$/ano FN013: Despesa com energia elétrica R\$/ano FN020: despesa com água importada (bruta ou tratada) AG006: Volume de água produzido (1.000 m³/ano) AG018: Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano) AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano) ES028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos (1.000 kWh/ano)</p> <p>Maiores explicações sobre esta opção se encontram em baixo.</p>
Q_c - água efetivamente consumida no ano (m ³ /ano)	municipal	$Q_c = Q_m + L_{PA0}$ <p>Q_m - volume de água medido (AG010) (m³/ano) L_{PA0} - volume de água relativo a perdas aparentes atuais (m³/ano)</p>
L_{PA0} – perdas aparentes atuais (m ³ /ano)	nacional	$L_{PA0} = L_{Sub0} + L_{fraude} + L_{CC}$ <p>Onde:</p> <p>$L_{Sub0} = 12\% * Q_c H$ $L_{CC} = 0,0025 * (AG010 - AG019)$ $L_{fraude} = v_m * f_i * [(F_{pd} * 6) + (F_{tot} - F_{pd}) * 12]$</p>

Tabela 23 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos de expansão

Variável	Diferenciação	Comentários
r – taxa de retorno (-)	Nacional	7% - Igual para todos os municípios
z_{exp} – período relativo à expansão (anos)	Regional	Centro Oeste 15 Nordeste 25 Norte 15 Sudeste 15 Sul 15
G – taxa de crescimento populacional (-)	Estadual	Cálculo embasado no IBGE conforme nota explicativa em baixo. (página 128)
E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)	Municipal	Cálculo embasado em algoritmo e interpretação sobre classificação da ANA e taxa de crescimento populacional conforme nota explicativa em baixo.
(Variável que deriva neste modelo de E) t – tempo até que seja necessária uma expansão do sistema (anos)	Municipal	Cálculo conforme Equação 55 Erro! Fonte e referência não encontrada. na página 74.

		Caso resultem tempos negativos, ou seja, a expansão já deveria ter ocorrido, colocou-se 1 ano. A expansão é imediatamente necessária.
k – coeficiente de custo em (R\$/m ³ /dia) b – fator de economia de escala (-)	Regional	Derivado da Nota técnica 492/2010 SNSA Ministério das Cidades, conforme explicado mais em baixo.
f_r - fator de resiliência	Regional	Foram assumidos valores de 1 para regiões húmidas, 1,3 para regiões intermédias e para 1,6 regiões secas, isto é: Centro Oeste 1,4 Nordeste 1,6 Norte 1 Sudeste 1,3 Sul 1,3
Q_c – Volume consumido ano base 0 (m ³ /dia)	Municipal	Ou $Q_c = Q_m + L_{PA0}$ $Q_c = \frac{AG010 - AG019}{365} * 1000$ $(1 - \ell_{PA0})$ AG010 – Volume de água consumido (1000m ³) AG019 – Volume de água exportado (1000m ³)
k_1 – Coeficiente do dia de maior consumo (-)	Nacional	1,2 para acomodar variações diárias em relação ao valor médio anual.
t – tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos)	Municipal	Foi utilizada a Equação 55, porém quando o tempo de expansão dava negativo (ou seja, a expansão já deveria ter ocorrido no passado) colocou-se 1 ano.

Tabela 24 – Estimativas locais, estaduais, regionais e nacionais para a componente de custos do programa de controle de perdas

Variável	Diferenciação	Comentários
N_{ati} – número total de ligações ativas (nº)	Municipal	Valor calculado com base dados do SNIS de acordo com a seguinte informação: [[AG002+AG002A)/2] AG002* – Quantidade de ligações ativas de água
M – comprimento da rede (km)	Municipal	AG005* ou AG005_med - Extensão da rede de água no ano anterior ao de referência (km) [[AG005+AG005A)/2] AG005 - Extensão da rede de água AG005A - Extensão da rede de água no ano anterior ao de referência.
P – Pessoas por ligação (pessoas/ligação)	Municipal	AG001 – População total atendida com abastecimento de água/AG002 – Quantidade de ligações ativas de água [[AG001+AG001A)/2]/ [(AG002+AG002A)/2]

c_c – per capita água consumida efetivamente (l/hab.dia)	municipal	$c_c = \frac{Q_c}{AG001med * 365 * 1000}$ <p>Onde:</p> $Q_c = Q_m + L_{PA0}$ <p>Q_c - água efetivamente consumida (m³/ano) L_{PA0} - volume de água relativo perdas aparentes atual (m³/ano)</p> <p>AG001*: média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo - População total atendida com abastecimento de água no ano anterior ao de referência (hab.)</p>
D – comprimento da rede de distribuição por ligação (km/lig.)	Municipal	<p>Usando o SNIS pode se usar</p> $[(AG005+AG005A)/2] / [(AG021+AG021A)/2]$ <p>AG005 - Extensão da rede de água (km) AG005A - Extensão da rede de água no ano anterior ao de referência (km) AG021 - Quantidade de ligações totais de água AG021A - Quantidade de ligações totais de água no ano anterior ao de referência.</p> <p>Se usa o valor médio entre dois anos para ser mais representativo do ano.</p>
z_i – vida útil das redes (anos)	Nacional	Foi colocado 40 anos para todos os municípios.
G – taxa de crescimento populacional (-)	Estadual	Cálculo embasado no IBGE conforme nota explicativa em baixo.
r – taxa de retorno (-)	Nacional	Igual em todos os municípios – 7%
α - coeficiente de perdas de base e vazamentos reportados (m ³ /km.dia) e β – coeficiente de perdas de vazamentos não reportados (m ³ /km.dia)	Municipal	<p>Cálculo embasado em equação relacionada com o nível de perdas por ligação conforme nota explicativa em baixo.</p> $\alpha = 0,1654 * IN050 + 1,4253$ $\beta = 0,5137 * IN050 - 2,3828$ <p>Onde:</p> <p>IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m³/km.dia)</p>
C_{pr} – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)	Municipal	$C_{pesquisa} + C_{reparação} + C_{gestão} + C_{conservação\ e\ reposição\ anualizado}$
$C_{pesquisa}$ – custo de pesquisa de vazamentos na rede (R\$/km)	Municipal	Valor auferido com base no SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil conforme nota explicativa abaixo. Também se utilizou a densidade de ligações e o comprimento de rede para cada município, o que fez com que este valor fosse de âmbito municipal e não estadual.
$C_{reparação}$ – custo de reparação de vazamentos na rede (R\$/km)	Estadual	Valor auferido com base no SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil e frequências típicas de

		vazamentos por km conforme nota explicativa abaixo.
$C_{gest\tilde{a}o}$ – custo associados à gestão de perdas (R\$/km)	Nacional	Valor auferido com em estimativas conforme nota explicativa abaixo
$C_{conserva\tilde{c}\tilde{a}o}$ – custo de conservação e reposição da rede anualizado (R\$/km)	Estadual	Valor auferido com base no SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de custos e índices da Construção Civil, vidas úteis da rede e taxa de retorno conforme nota explicativa abaixo.
(variável indireta que entra nos custos de conservação e reposição da rede) BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, que inclui impostos, juros, lucros etc (%)	Nacional	31,9% na presente modelagem

Em seguida descreve-se o raciocínio para estimar as variações interestaduais e inter-regionais utilizadas:

(Cprod) Considerações sobre o custo de produção

Para aferir este custo pretende-se um numerador e denominador o mais consistente possível entre si, isto é que os custos de produção correspondam aos volumes utilizados na rede de distribuição.

Os seguintes dados disponíveis no SNIS sobre custos que podem ser colocados no numerador, no entanto incluem despesas com serviços de esgotamento sanitário pelo que é necessário um ajuste para tentar excluí-las:

- FN011: Despesa com produtos químicos R\$/ano
- FN013: Despesa com energia elétrica R\$/ano

O fator de exclusão de custos de esgotamento sanitário assume a seguinte equação:

Equação 88 - fator de exclusão de custos de esgotamento sanitário

$$f_{excESG} = \left(\frac{AG028}{AG028 + ES028} \right)$$

Onde:

f_{excESG} – fator de exclusão de custos de esgotamento sanitário

AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano)

ES028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos (1.000 kWh/ano)

A água correspondente a esses custos é a produzida e a importada.

- AG006: Volume de água produzido (1.000 m³/ano)
- AG016: Volume de água bruta importado (1.000 m³/ano)
- AG017: Volume de água bruta exportado (1.000 m³/ano)
- AG018: Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano)

Assim, o custo unitário de produção de água para o modelo utilizado foi calculado da seguinte forma:

Equação 89 – Custos unitários de produção de água usados no modelo

$$C_{prod} = \frac{(FN011 + FN013) * \left(\frac{AG028}{AG028 + ES028} \right) + FN20}{(AG006 + ((AG016)) + AG018) \times 1000}$$

Onde:

FN011: Despesa com produtos químicos R\$/ano

FN013: Despesa com energia elétrica R\$/ano

FN020: despesa com água importada (bruta ou tratada)

AG006: Volume de água produzido (1.000 m³/ano)

((AG016: Volume de água bruta importado (1.000 m³/ano)))

AG018: Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano)

AG028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1.000 kWh/ano)

ES028: Consumo total de energia elétrica nos sistemas de esgotos (1.000 kWh/ano)

Apesar de existir a variável AG016: Volume de água bruta importado (1.000 m³/ano) no glossário ela não existe na série histórica do SNIS 2019 pelo que por efeitos práticos foi retirado da fórmula.

(z exp) período relativo à expansão

Apesar de estudos de expansão de grandes sistemas serem projetados para um horizonte de 30-40 anos, habitualmente a expansão ocorre em etapas de 10-15 anos. Em sistemas pequenos 10-15 anos também é habitual.

Assim, para o presente modelo foi usado 15 anos para as regiões Centro Oeste, Sudeste, Sul e Norte. O Nordeste, sendo uma região com disponibilidade hídrica mais escassa, aumentou-se o período de projeto para 25 anos.

(k) e (b) Considerações do custo de capital futuro para expansão e a economia de escala (Nova abordagem 2021)

Na presente modelagem incorporam-se coeficientes de custo de expansão do sistema k e b individualmente para cada região, considerando assim as assimetrias regionais dos custos das infraestruturas de abastecimento de água.

Esses coeficientes foram multiplicados pelos volumes de expansão de cada município na equação correspondente.

Para estimar os coeficientes mencionados foram utilizados os dados da Nota técnica nº 492/2010 da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do antigo Ministério das Cidades, que contempla referências de custos para sistemas de abastecimento de água em R\$ por habitante, segmentado por faixas de número de domicílios e região do país.

A Nota Técnica de nº 492/2010 apresenta várias tabelas, tendo como pressuposto um número de habitantes por domicílio (hab./dom.) em cada região. Se usaram as seguintes seis da referida Nota Técnica relativamente a custos de captação, estações elevatórias, adução, tratamento e reservação.

Tabela 25 – Referências de custos de expansão tabelas da Nota técnica 492/2010 SNSA.

1. REFERÊNCIAS DE CUSTOS – ABASTECIMENTO DE ÁGUA (2008)

Tabela 1.1 - Referência de Custo para Captação

INDICADOR	ESPECIFICAÇÃO	R\$/HABITANTE					ATENDIMENTO Demanda por Intervenção/SAA
		C Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	
		3,1 hab/dom	3,3 hab/dom	3,5 hab/dom	3,0 hab/dom	2,9 hab/dom	Número de domicílios
IAA_C1	Custo unitário de Captação, por habitante como ocupante domiciliar/familiar (PNAD-IBGE, 2008); relacionado ao número de famílias atendidas. Excluídos Reservatórios de Regularização e Barragens de qualquer porte.	75,00	77,00	50,00	98,00	71,00	1.000 < D < 2.000
		60,00	63,00	36,00	45,00	RB	2.001 < D < 4.000
		37,00	40,00	26,00	42,00	95,00	4.001 < D < 10.000
		31,00	34,00	17,00	40,00	RB	10.001 < D < 20.000
		25,00	27,00	12,00	50,00	RB	20.001 < D < 34.000
		19,00	22,00	11,00	50,00	RB	34.001 < D < 64.000

Tabela 1.2 - Referência de Custo para Estação Elevatória

INDICADOR	ESPECIFICAÇÃO	R\$/HABITANTE					ATENDIMENTO Demanda por Intervenção/SAA
		C Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	
		3,1 hab/dom	3,3 hab/dom	3,5 hab/dom	3,0 hab/dom	2,9 hab/dom	Número de domicílios
IAA_C2	Custo unitário de Estação Elevatória – EE, por habitante como ocupante domiciliar/familiar (PNAD-IBGE, 2008); relacionado ao número de famílias atendidas.	110,00	45,00	63,00	50,00	108,00	1.000 < D < 2.000
		70,00	28,00	54,00	33,00	RB	2.001 < D < 4.000
		40,00	21,00	31,00	29,00	RB	4.001 < D < 10.000
		28,00	18,00	21,00	25,00	RB	10.001 < D < 20.000
		19,00	14,00	15,00	13,00	RB	20.001 < D < 34.000
		13,00	12,00	11,00	11,00	RB	34.001 < D < 64.000

Tabela 1.3 - Referência de Custo para Adução

INDICADOR	ESPECIFICAÇÃO	R\$/HABITANTE					ATENDIMENTO Demanda por Intervenção/SAA
		C Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	
		3,1 hab/dom	3,3 hab/dom	3,5 hab/dom	3,0 hab/dom	2,9 hab/dom	Número de domicílios
IAA_C3	Custo unitário de Adução por habitante como ocupante domiciliar/familiar (PNAD-IBGE, 2008) relacionado ao número de famílias atendidas. Considera: vazão máxima diária; perda física de 25% e per capita de consumo de 125 l/dia (SNIS/2007)	156,00	170,00	71,00	145,00	RB	1.000 < D < 2.000
		116,00	34,00	59,00	32,00	RB	2.001 < D < 4.000
		80,00	37,00	49,00	48,00	RB	4.001 < D < 10.000
		54,00	30,00	38,00	58,00	RB	10.001 < D < 20.000
		40,00	45,00	33,00	75,00	RB	20.001 < D < 34.000
		34,00	59,00	27,00	100,00	RB	34.001 < D < 64.000

Tabela 1.5 - Referência de Custo para Estação de Tratamento

INDICADOR	ESPECIFICAÇÃO	R\$/HABITANTE					ATENDIMENTO Demanda por Intervenção/SAA
		C Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	
		3,1 hab/dom	3,3 hab/dom	3,5 hab/dom	3,0 hab/dom	2,9 hab/dom	Número de domicílios
IAA_C5	Custo unitário de Tratamento ETA por habitante obtido como ocupante familiar (IBGE, 2008) relacionado ao número de famílias atendidas. Cotejo com Manuais Técnicos	320,00	101,00	50,00	110,00	RB	1.000 < D < 2.000
		210,00	90,00	50,00	70,00	RB	2.001 < D < 4.000
		85,00	70,00	63,00	70,00	RB	4.001 < D < 10.000
		75,00	70,00	63,00	70,00	RB	10.001 < D < 20.000
		67,00	70,00	63,00	70,00	52,00	20.001 < D < 34.000
		60,00	60,00	63,00	70,00	RB	34.001 < D < 64.000

Tabela 1.6 - Referência de Custo para Reservação

INDICADOR	ESPECIFICAÇÃO	R\$/HABITANTE					ATENDIMENTO Demanda por Intervenção/SAA
		C Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	
		3,1 hab/dom	3,3 hab/dom	3,5 hab/dom	3,0 hab/dom	2,9 hab/dom	Número de domicílios
IAA_C6	Custo unitário de Reservação por habitante como ocupante domiciliar (IBGE, 2008) relacionado ao número de famílias atendidas.	52,00	55,00	46,00	174,00	RB	1.000 < D < 2.000
		48,00	50,00	43,00	111,00	RB	2.001 < D < 4.000
		45,00	47,00	41,00	44,00	RB	4.001 < D < 10.000
		29,00	40,00	34,00	25,00	RB	10.001 < D < 20.000
		26,00	30,00	26,00	15,00	RB	20.001 < D < 34.000
		24,00	24,00	23,00	12,00	RB	34.001 < D < 64.000

Com base nessa Nota relacionou-se o custo de expansão do sistema (R\$) com a capacidade de produção (m³/dia) do seguinte modo:

- 1) Com base nos domicílios (1ª e 2ª coluna da tabela em baixo) (e habitantes por domicílio (3ª coluna) e per capita (5ª coluna)) inferiu-se sobre o consumo diário (6ª coluna);
- 2) Se consideraram as perdas reais (25%) indicadas na nota técnica (correspondente à 7ª coluna);
- 3) E com ambos os dados anteriores se obteve a demanda do sistema produtivo de água (m³/dia) (8ª coluna);
- 4) Os custos de expansão do sistema²³ correspondem a soma das componentes de i) captação, ii) estação elevatória, iii) adução, iv) estação de tratamento, v) reservação²⁴ constantes nas tabelas acima da nota técnica. (9ª coluna);
- 5) O custo anterior foi atualizado para o ano de 2019 (10ª coluna) e por fim
- 6) multiplicado pelos habitantes (4ª coluna) para obter o custo da expansão em (R\$) para esse intervalo de população, domicílios ou consumo (11ª coluna).

Tabela 26 – Custos de expansão para as cinco regiões– derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA.

CENTRO OESTE										
Domicílios	domicílios médios	hab./domicílio	habitantes	percapita (l/hab.dia)	Consumo (m3/dia)	Perdas reais (m3/dia)	demanda de água na rede (m3/dia)	Custo unitário (NT2011; preços 2008) (R\$ /hab.)	Atualização com inflação 11 anos para 2019 (taxa em cima) (R\$ /hab.)	Custo 2019 (R\$)
de 1000 a 2000	1500	3,1	4650	137,5	639	160	799	R\$ 687	R\$ 1.247	R\$ 5.799.031
de 2001 a 4000	3000	3,1	9300	137,5	1279	320	1.598	R\$ 480	R\$ 871	R\$ 8.103.449
de 4000 a 10000	7000	3,1	21700	137,5	2984	746	3.730	R\$ 265	R\$ 480	R\$ 10.419.123
de 10001 a 20000	15000	3,1	46500	137,5	6394	1.598	7.992	R\$ 203	R\$ 368	R\$ 17.093.214
de 20000 a 34000	27000	3,1	83700	137,5	11509	2.877	14.386	R\$ 164	R\$ 298	R\$ 24.918.107
de 34000 a 64000	49000	3,1	113925	137,5	20886	5.222	26.108	R\$ 138	R\$ 251	R\$ 28.539.336

Nordeste										
Domicílios	domicílios médios	hab./domicílio	habitantes	percapita (l/hab.dia)	Consumo (m3/dia)	Perdas reais (m3/dia)	demanda de água na rede (m3/dia)	Custo unitário (NT2011; preços 2008) (R\$ /hab.)	Atualização com inflação 11 anos para 2019 (taxa em cima) (R\$ /hab.)	Custo 2019 (R\$)
de 1000 a 2000	1500	3,3	4950	137,5	681	170	851	R\$ 430	R\$ 780	R\$ 3.859.349
de 2001 a 4000	3000	3,3	9900	137,5	1361	340	1.702	R\$ 240	R\$ 436	R\$ 4.313.126
de 4000 a 10000	7000	3,3	23100	137,5	3176	794	3.970	R\$ 192	R\$ 348	R\$ 8.030.202
de 10001 a 20000	15000	3,3	49500	137,5	6806	1.702	8.508	R\$ 172	R\$ 312	R\$ 15.455.369
de 20000 a 34000	27000	3,3	89100	137,5	12251	3.063	15.314	R\$ 171	R\$ 310	R\$ 27.657.922
de 34000 a 64000	49000	3,3	121275	137,5	22234	5.558	27.792	R\$ 165	R\$ 300	R\$ 36.324.610

Norte										
Domicílios	domicílios médios	hab./domicílio	habitantes	percapita (l/hab.dia)	Consumo (m3/dia)	Perdas reais (m3/dia)	demanda de água na rede (m3/dia)	Custo unitário (NT2011; preços 2008) (R\$ /hab.)	Atualização com inflação 11 anos para 2019 (taxa em cima) (R\$ /hab.)	Custo 2019 (R\$)
de 1000 a 2000	1500	3,5	5250	137,5	722	180	902	R\$ 257	R\$ 467	R\$ 2.449.278
de 2001 a 4000	3000	3,5	10500	137,5	1444	361	1.805	R\$ 221	R\$ 400	R\$ 4.202.847
de 4000 a 10000	7000	3,5	24500	137,5	3369	842	4.211	R\$ 190	R\$ 344	R\$ 8.427.932
de 10001 a 20000	15000	3,5	52500	137,5	7219	1.805	9.023	R\$ 156	R\$ 283	R\$ 14.867.216
de 20000 a 34000	27000	3,5	94500	137,5	12994	3.248	16.242	R\$ 136	R\$ 247	R\$ 23.330.092
de 34000 a 64000	49000	3,5	128625	137,5	23581	5.895	29.477	R\$ 124	R\$ 224	R\$ 28.836.204

Sudeste										
Domicílios	domicílios médios	hab./domicílio	habitantes	percapita (l/hab.dia)	Consumo (m3/dia)	Perdas reais (m3/dia)	demanda de água na rede (m3/dia)	Custo unitário (NT2011; preços 2008) (R\$ /hab.)	Atualização com inflação 11 anos para 2019 (taxa em cima) (R\$ /hab.)	Custo 2019 (R\$)
de 1000 a 2000	1500	3	4500	137,5	619	155	773	R\$ 490	R\$ 889	R\$ 4.002.712
de 2001 a 4000	3000	3	9000	137,5	1238	309	1.547	R\$ 236	R\$ 428	R\$ 3.847.505
de 4000 a 10000	7000	3	21000	137,5	2888	722	3.609	R\$ 211	R\$ 383	R\$ 8.043.545
de 10001 a 20000	15000	3	45000	137,5	6188	1.547	7.734	R\$ 206	R\$ 373	R\$ 16.786.884
de 20000 a 34000	27000	3	81000	137,5	11138	2.784	13.922	R\$ 216	R\$ 391	R\$ 31.686.774
de 34000 a 64000	49000	3	110250	137,5	20213	5.053	25.266	R\$ 237	R\$ 430	R\$ 47.432.136

²³ Embora disponíveis na nota técnica não foram usados os custos de rede de distribuição e ramais de ligação, pois não são custos relativos à capacidade de expansão do sistema produtivo de água.

²⁴ Apenas foi considerado 50% dos custos da reserva. Se houver mais perdas de água não significa que é necessária uma duplicação da reserva.

Sul										
Domicílios	domicílios médios	hab./domicílio	habitantes	percapita (l/hab.dia)	Consumo (m ³ /dia)	Perdas reais (m ³ /dia)	demanda de água na rede (m ³ /dia)	Custo unitário (NT2011; preços 2008) (R\$/hab.)	Atualização com inflação 11 anos para 2019 (taxa em cima) (R\$/hab.)	Custo 2019 (R\$)
de 1000 a 2000	1500	2,9	4350	137,5	598	150	748	R\$ 521	R\$ 946	R\$ 4.114.080
de 2001 a 4000	3000	2,9	8700	137,5	1196	299	1.495	R\$ 236	R\$ 428	R\$ 3.719.255
de 4000 a 10000	7000	2,9	20300	137,5	2791	698	3.489	R\$ 264	R\$ 479	R\$ 9.728.496
de 10001 a 20000	15000	2,9	43500	137,5	5981	1.495	7.477	R\$ 206	R\$ 373	R\$ 16.227.321
de 20000 a 34000	27000	2,9	78300	137,5	10766	2.692	13.458	R\$ 198	R\$ 359	R\$ 28.072.080
de 34000 a 64000	49000	2,9	106575	137,5	19539	4.885	24.423	R\$ 237	R\$ 430	R\$ 45.851.065

Dispondo do custo de expansão do sistema (R\$) (11ª coluna) com a capacidade de produção (m³/dia) (8ª coluna) para 7 tamanhos calculou-se o k e o b com uma regressão de potência. Os resultados podem ser visualizados no seguinte gráfico e tabela.

Tabela 27 – fator de economia de escala (b) por região – derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA

Região	k	fator de economia de escala (b)
Centro Oeste	233727	0,4767
Nordeste	27579	0,7023
Norte	17802	0,7314
Sudeste	16232	0,7808
Sul	21506	0,7505

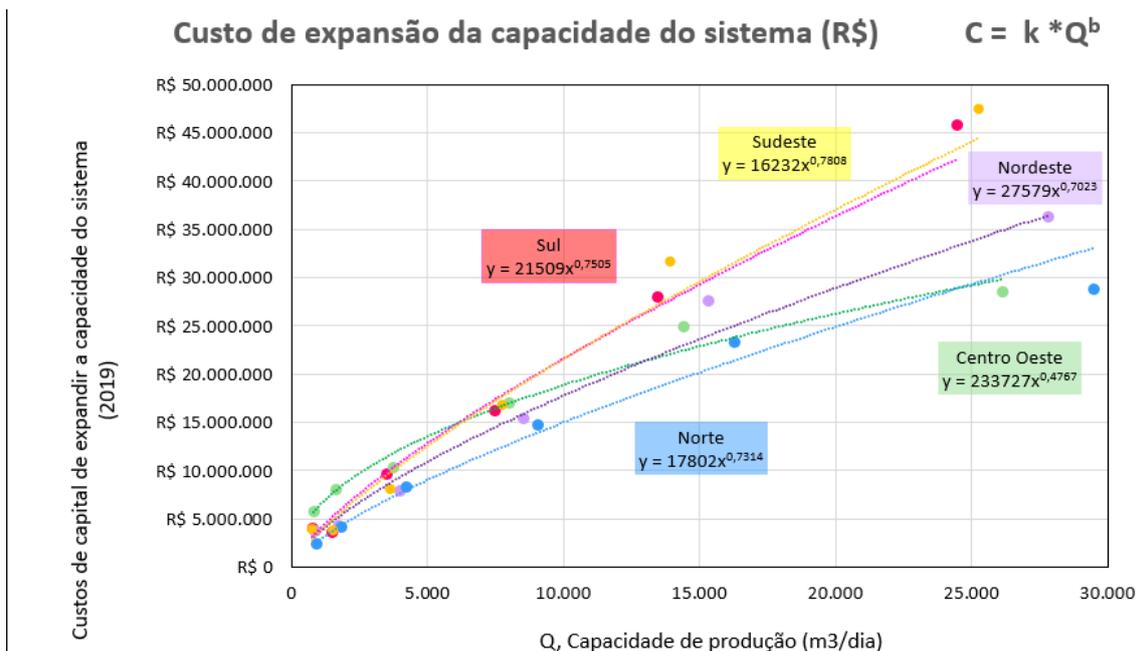


Gráfico 6 – Custo de expansão (k) e fator de economia de escala (b) por região – derivação da Nota técnica 492/2010 SNSA

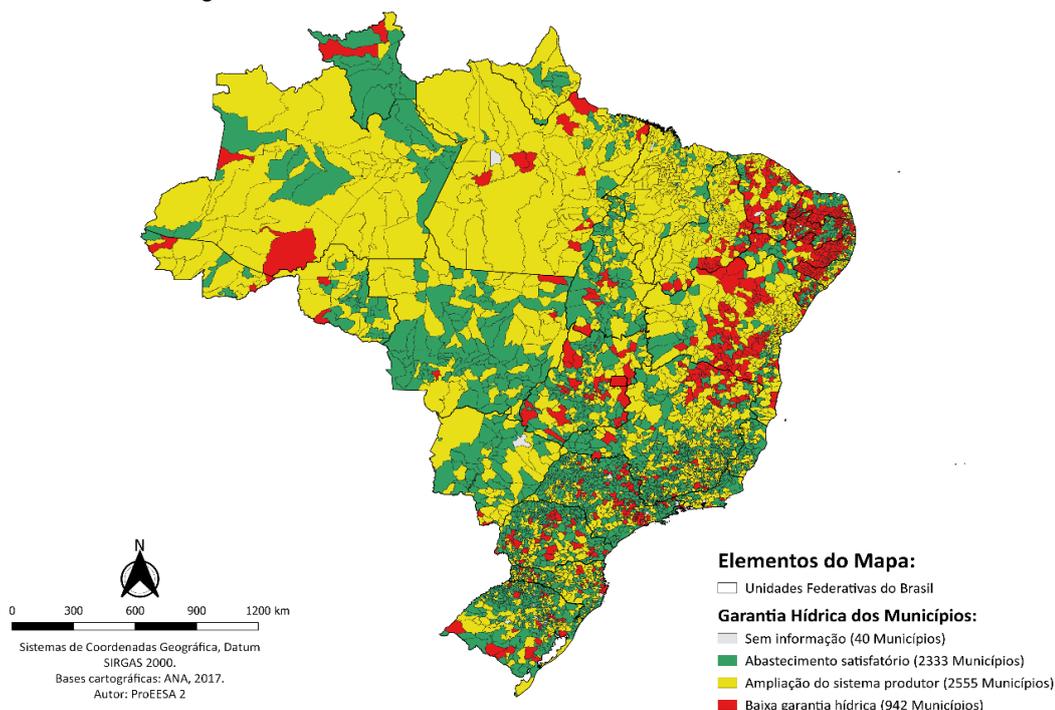
(E) Capacidade instalada do sistema produtor

Como comentário prévio, chama-se a atenção para o par de valores capacidade instalada (C_{inst}) e o tempo até à expansão (t). Este par de valores precisa de coerência entre si. Diferentes modos de apurar a capacidade instalada impacta no tempo necessário até à expansão, em particular quando se usa coeficientes de maior consumo (k1) ou fatores para acomodar resiliência a secas e reservas que se queira ter em conta.

Para alimentar o modelo com a capacidade instalada dos sistemas produtores dos municípios no Brasil, utilizou-se a melhor informação disponível. Para tal se recorreu ao Atlas Brasil: Abastecimento de Água Panorama Nacional da Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape 2010²⁵, o qual avalia os sistemas produtores, através do Grau de Atendimento da Demanda (GAD).

Nele avaliam-se as condições do manancial e do sistema produtor para atender às demandas hídricas urbanas para o ano 2015 (na perspectiva de 2010). As sedes municipais foram classificadas da seguinte maneira:

- **Requer novo manancial:** sedes em que o estudo do Atlas identificou a necessidade de um novo manancial, ou sede em que o abastecimento se encontra em racionamento, colapso ou alerta;
- **Requer ampliação sistema:** sedes que o Atlas apontou a necessidade de ampliação de unidades do sistema produtor;
- **Abastecimento satisfatório:** sedes que não apresentam criticidade no seu abastecimento e qualificadas como satisfatórias pelo trabalho do Atlas Brasil, ou seja, quando nem o manancial nem a infraestrutura hídrica existente apresentavam obstáculos ao atendimento das demandas de água atual e futura.



Mapa 2 – Brasil – municípios necessidades de ampliação do sistema produtor (fonte ANA Atlas 2010)

O mapa apresentado mais acima também pode ser representado conforme o gráfico abaixo:

²⁵ Disponível em <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf> (consulta em 20.12.2020)

Sedes urbanas com Abastecimento Satisfatório e com Necessidade de Investimentos, por Estado - 2015



Gráfico 7 - Sedes urbanas com Abastecimento Satisfatório e com necessidades de investimento por estado - 2015 - fonte ANA - Diagnóstico do abastecimento urbano (Vol 1 página 46)

A avaliação da ANA acima descrita foi interpretada do seguinte modo para efeitos de uso no modelo²⁶:

Equação 90 - Grau de atendimento da demanda (interpretação da tabela ANA)

$$GAD_{\text{sistema produtor (tabela)}} = \frac{DD}{CA} (GAD \text{ tabela})^{27}$$

Um exemplo de aplicação é

$$GAD_{\text{sistema produtor (tabela)}} = \frac{100 \text{ demanda}}{200 \text{ capacidade}} = 0,5 = \text{bom grau de atendimento}$$

Onde:

GAD - Grau de relação entre a demanda e a capacidade instalada (-)

DD - Menor valor entre as capacidades das principais unidades constituintes do sistema produtor (captação, elevatórias, adutoras e estações de tratamento de água) (1000 m³/ano)

CA - Demanda urbana das sedes municipais que deve ser atendida pelo sistema de produção (1000 m³/ano)

DHSE - Disponibilidade hídrica superficial efetiva assumida como vazão efetivamente disponível para as captações de abastecimento público (1000 m³/ano)

²⁶ Esta interpretação difere da equação publicada no Atlas página 48, pois na tabela não existem valores negativos, então depreende-se que a fórmula não usou o (-1) conforme está publicado.

²⁷ A ANA também calcula um GAD do Manancial, porém não foi considerado diretamente no presente cálculo.

Para efeitos da modelagem e das simulações dos municípios brasileiros, foi utilizada uma tabela com o Grau de atendimento da demanda (GAD) para cada sistema produtores, onde constam os seguintes valores de GAD:

- valores numéricos maiores que zero (entre 0,0119 e 227,76);
- ND (valor não numérico);
- <1 (valor não numérico);
- >>1 (valor não numérico).

Para as situações em que a informação do GAD do sistema produtor não é numérica, foram adotados valores substitutivos:

1. Sistemas produtores com valor GAD <1 foram substituídos por 0,8;
2. Sistemas produtores com valor GAD >>1 foram substituídos por 2,5;
Quando existiam diversos sistemas produtores em um município utilizou-se a média do GAD dos vários sistemas.²⁸
3. Sistemas produtores com valores numéricos de GAD ausentes (estados de TO e RR) ou que apresentaram erro no cálculo da média, utilizou-se os seguintes valores:
GAD = 0,8 para “Abastecimento Satisfatório”;
GAD = 1,5 para “Requer Novo Manancial” ou “Requer Ampliação do Sistema”.

A interface com o modelo ocorre através da seguinte equação

Equação 91 – Relação entre o Grau de atendimento da demanda (GAD – ANA) e a capacidade instalada e a demanda usada para o modelo

$$\frac{1}{GAD} = U = \frac{C_{inst}}{Q_p}$$

Onde:

U – relação entre a capacidade instalada e a demanda (-)

C_{inst} – Capacidade instalada (1000 m³/ano)

Q_p – Volume produzido (1000 m³/ano)

A Equação 91 permite inferir sobre a capacidade instalada, necessária para o modelo:

$$C_{inst} = U * Q_p$$

Com um valor numérico da capacidade instalada (C_{inst}) para cada município é possível deduzir a sua relação com o volume consumido (E) necessária para o modelo. Nesse sentido inseriu-se a expressão anterior na seguinte equação:

$$E = \frac{C_{inst}}{Q_{c0} * k_1}$$

Resultando na seguinte expressão de E:

²⁸ Os autores estão cientes que este cálculo é uma fragilidade. Deveria ser usada a média ponderada entre os sistemas produtores, no entanto, sem a informação da capacidade produzida de cada um dos sistemas não foi possível ponderar pelo que se utilizou a média.

$$E = \frac{U * Q_p}{Q_{c0} * k_1}$$

Onde:

E – razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (-)

U – relação entre a capacidade instalada e a demanda (-)

Q_p – Volume produzido (1000 m³/ano)

Q_{c0} – Volume consumido (1000 m³/ano)

k_1 – fator de ponta diário (-)

Para efeitos de uma análise intermediária, os valores da relação entre a capacidade instalada e a demanda (U) e a razão da capacidade de produção de água instalada em relação à água consumida presentemente (E) utilizados no modelo, têm a seguinte dispersão:

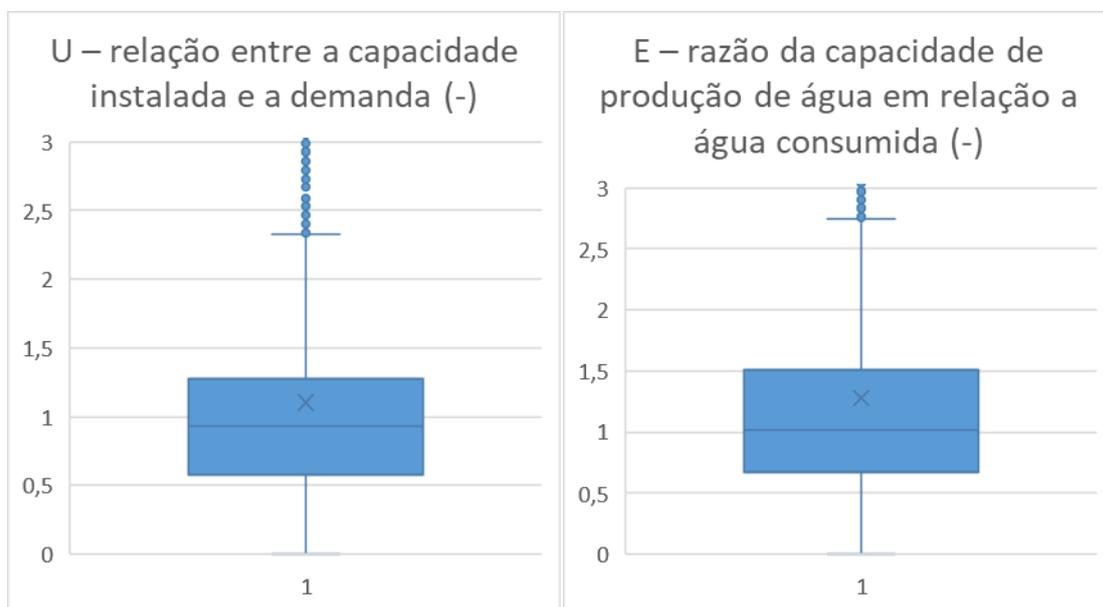


Gráfico 8 – Dispersão de valores de U e de E dos municípios utilizados no modelo.

(t) tempo necessário até à expansão do sistema

Dispondo de (E) e (G) se pode aplicar a Equação 55 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** sobre – Tempo até ser necessária a expansão (Wyatt 2020, fórmula evoluída, mas equivalente à 19 de Wyatt, 2010) – e permite auferir o tempo necessário até que a ampliação seja necessária (anos) (t).

No cálculo do tempo até ser necessária a expansão acresce a seguinte condicionante para não ter um tempo negativo. Um tempo até à expansão negativo significa que ela já deveria ter ocorrido no passado para dar a segurança hídrica aos usuários.

Equação 92 – Condicionante para a validade de tempo até à expansão do sistema (t)

$$\text{se } t \leq 1, \text{ assume } 1$$

(G) – Considerações estaduais sobre a taxa de crescimento populacional

Para efeitos de cálculo da taxa de crescimento estadual foram usadas as “Projeções da População do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade: 2010-2060 (Tabelas – 2018)”²⁹.

Apesar das tabelas conterem projeções de 2010 a 2060, para o modelo usou-se apenas o período de 2010 – 2038 para auferir G – a taxa de crescimento populacional. Calculou-se a taxa de crescimento interanual e foi feita uma média desse período das taxas interanual, de acordo com a seguinte equação:

²⁹ Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados> e atualizado em 23/05/2019.

Equação 93 – Taxa de crescimento populacional usada no modelo para cada estado

$$G_{estado} = \frac{\sum_{i=2010}^{n=2038} \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i}}{2038 - 2010}$$

Onde:

G_{estado} – taxa de crescimento populacional (-)

P_i – população nesse estado no ano i (hab.)

As taxas de crescimento estaduais utilizadas no modelo podem ser consultadas no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 48 - Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão – valores estaduais na página 178.

(fr) e (fp ou k1) Considerações sobre o fator de resiliência

Para o presente modelo foi usado um fator de ponta diário de 1,2 e para efeitos de resiliência climática se distinguiu entre as regiões. Assim a região Norte, em um contexto de sem secas para efeitos de abastecimento urbano tem um fator de 1, e à região Nordeste foi atribuído um fator de 1,6 para maior resiliência. É uma decisão do analista adequar o fator de resiliência. Os fatores usados nas demais regiões podem ser consultadas na tabela em baixo.

Tabela 28 – fator de resiliência (fr) por região

Região	fator de ponta diário (fp ou k1)	fator de resiliência climática (fr)
Norte	1,2	1
Nordeste	1,2	1,6
Centro Oeste	1,2	1,4
Sudeste	1,2	1,3
Sul	1,2	1,3

(C_{pesquisa}) – Considerações estaduais sobre de pesquisa de vazamentos (R\$/km)

Para estimar o custo de mão de obra para pesquisa de vazamentos, se recorreu-se ao SINAPI para cada estado da federação. No entanto, como não existe cotação para esse tipo de serviço na base de dados, utilizaram-se os custos de serviços de topografia, que podem se assemelhar, pois incluem valores de uso de veículo e técnicos trabalhando em vias públicas (cód. SINAPI: 78472). Cada município, ao incluir seus dados no modelo, deve substituir os custos de pesquisa por valores mais próximos aos reais.

Uma diferença do serviço de pesquisa de vazamentos e o de topografia é que o primeiro é parcialmente noturno e o serviço de topografia é diurno, sendo assim multiplicou-se o valor do SINAPI de topografia por um fator de 1,4, porque os serviços noturnos têm uma remuneração superior.

Em prestadores que realizam o serviço totalmente noturno se poderia aumentar o fator (para 1,8 por exemplo) mas atualmente a maioria dos serviços de pesquisa de vazamentos são diurnos, devido a questões de segurança e custos de hora extra. O serviço noturno é realizado somente em locais muito movimentados e barulhentos durante o dia, pelo que foi adotado o fator 1,4.

Nacionalmente os serviços de topografia variam nos estados entre 270 e 430 R\$/km. Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados na Tabela 49 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 1.

Equação 94 – Custos de pesquisa de vazamentos na rede (R\$/km de tubulação pesquisada)

$$C_{\text{pesquisa}} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{km de rede}} \right) = \frac{C_{\text{pesquisa de tubulação}} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{km de tub}} \right) * (M + l_{\text{ramal}} * N)}{M}$$

C_{pesquisa} – Custo de pesquisar vazamentos na rede de água – Tubulação e ramais (R\$ / km de rede)

$C_{\text{pesquisa de tubulação}}$ – Custo de pesquisar vazamentos na rede de água – Tubulação (R\$ / km de rede)

M – comprimento da rede de água (km)

l_{ramal} – comprimento médio ramal (km) (20³⁰ m ou 0,02km na presente modelagem)

N – Número de ramais (ligações totais) (-)

Se calcula o custo de pesquisa de tubulação da seguinte forma:

Equação 95 – Custos de pesquisa de vazamentos na tubulação (R\$/km de tubulação pesquisada)

$$C_{\text{pesquisa de tubulação}} = C_{\text{topografia}} * f_{\text{tpn}} * (1 + BDI)$$

Onde:

$C_{\text{pesquisa de tubulação}}$ – custo de pesquisa de vazamentos (R\$/km)

f_{tpn} – fator de trabalhos parcialmente noturnos (-) (1,4)

$C_{\text{topografia}}$ – custo de topografia de rede (R\$/km)

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, que inclui impostos, juros, lucros etc (%)

Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 49 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 1 na página 179.

($C_{\text{reparação}}$) - Considerações estaduais sobre custo de reparação de vazamentos

Este custo é estimado em 3 passos para chegar ao C_{rep} – custo de reparação de vazamentos na unidade (R\$/km).

Passo 1 – Estimativas de custos de reparação de vazamentos em rede

Para estimar o custo de reparação de vazamentos, se recorreu-se ao SINAPI para cada estado da federação. Assumiram-se custos de colocação de rede corresponde à reparação da rede para uma extensão de 2,5m e Benefícios e Despesas Indiretas.

A seguinte tabela mostra os itens necessários para reparar um metro de rede no estado de São Paulo.

Tabela 29 - Custo de rede no estado de São Paulo – para efeitos de reparação e reposição (fonte https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664)

SINAPI-CÓDIGO	SINAPI – COMPOSIÇÃO	SINAPI-UNI.	SINAPI 01/2020 – SP – NÃO DESENERADO
72918	escavação mecânica de vala em material 2ª. categoria de 4,01 até 6,00 m de profundidade com utilização de escavadeira hidráulica	m ³	R\$13,78
97128	assentamento de tubo de PVC DEFOFO ou PRFV ou RPVC para rede de água, DN 200 mm, junta elástica	m	R\$9,27

³⁰ Prestadores que tenham outros valores que se ajustem mais à sua realidade devem usar esses (7 a 9 metros por exemplo)

	integrada, instalado com nível alto de interferências (não inclui fornecimento). Af_11/2017		
93361	reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência. Af_04/2016	m³	R\$13,57
97822	reconstrução de pavimento com tratamento superficial triplo, com emulsão asfáltica rr-2c, com capa selante. Af_01/2018	m²	R\$18,57
9829	tubo PVC DEFOFO, jei, 1 mpa, dn 200 mm, para rede de água (nbr 7665)	m	R\$147,46
	TOTAL	m	R\$202,65

Em seguida considerou-se o comprimento típico para reparar um vazamento e os Benefícios e Despesas Indiretas.

Equação 96 – Custos de reparação de vazamento em rede (R\$/vazamento)

$$C_{reparação_rede} = C_{reposição\ da\ rede} * l_{vaz_rede} * (1 + BDI)$$

Onde:

$C_{reparação_rede}$ – custo de reparação de um vazamento na rede (R\$/vazamento)

$C_{reposição\ da\ rede}$ – custo de reposição da rede (R\$/m)

l_{vaz_rede} – comprimento médio de tubulação para reparar um vazamento (m) (2,5m/vazamentos na presente modelagem)

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, que inclui impostos, juros, lucros etc (%)

Para o estado de São Paulo segue um exemplo de cálculo:

$$C_{reparação} = \frac{212,26R\$}{m} * 2,5m * (1 + 0,29) = 684,64 \frac{R\$}{vazamento} em\ rede$$

Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 51 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 3 na página 181.

Passo 2 – Estimativas de custos de reparação de vazamentos em ramais

Para estimar o custo de reparação de vazamentos em ramais, recorreu-se ao SINAPI para cada estado da federação e os respectivos custos de colocação de um ramal predial. Auferiu-se um custo unitário de 24.96 R\$ para o ano de 2018 com a seguinte composição no estado de São Paulo:

A seguinte tabela mostra os itens necessários para reparar um metro de ramal no estado de São Paulo.

Tabela 30 – itens e quantidades necessárias para reparar um metro de ramal (fonte SINAPI)

74253/1	RAMAL PREDIAL EM TUBO PEAD 20MM – FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, ESCAVAÇÃO E REATERRO	M	
9813	TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), PE-80, DE = 20 MM X 2,3 MM DE PAREDE, PARA LIGACAO DE AGUA PREDIAL (NBR 15561)	M	1,0000000
88267	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0400000

88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0400000
93358	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF 03/2016	M3	0,1800000
96995	REATERRO MANUAL APILOADO COM SOQUETE. AF 10/2017	M3	0,1800000

Para o estado de São Paulo a composição do ramal predial (SINAPI 12/2018, código 74253/1 não desonerado) assume 27,74 R\$. Em seguida considerou-se o comprimento típico do ramal e os Benefícios e Despesas Indiretas.

Equação 97 – Custos de reparação de vazamento em ramal (R\$/vazamento)

$$C_{reparação_ramal} = C_{reposição\ de\ ramal} * l_{vaz_ramal} * (1 + BDI)$$

Onde:

$C_{reparação_ramal}$ – custo de reparação de um vazamento em ramal (R\$/vazamento)

$C_{reposição\ de\ ramal}$ – custo de reposição do ramal (R\$/m)

l_{vaz_ramal} – comprimento médio ramal (m) (20³¹ m na presente modelagem)

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, que inclui impostos, juros, lucros etc (%)

Para o estado de São Paulo segue um exemplo de cálculo:

$$C_{reparação_ramal} = \frac{27,55\$}{m} * 20m * (1 + 0,29) = 710,79 \frac{R\$}{vazamento} em\ ramal$$

Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 50 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 2 na página 180.

Passo 3 – Fusão de custos de reparação de vazamentos em rede e ramais e transformação para (por km)

Neste passo ocorre uma fusão dos dois custos unitários de reparação de rede e de ramais (R\$/vazamento) e se converte para a unidade (R\$/km). Para tal é necessário ter uma indicação da ocorrência de vazamentos por km de rede.

A seguinte tabela apresenta ocorrências típicas de vazamentos e a frequência usada na presente modelagem.

Tabela 31 – Ocorrências típicas de vazamentos em rede e ramais

Ocorrências típicas de vazamentos	Comprimento médio de rede com um vazamento (km)	Frequência usada (vazamento/km de rede)
1 vazamento na rede em cada 10 a 20 km de rede	15	0,066
1 vazamento em ramal em cada 2 a 3 km de rede	2,5	0,400

Essas frequências foram combinadas com os custos de reparação através da seguinte equação:

Equação 98 – Transformação de custos de reparação de rede (por vazamento) em (por km)

$$C_{rep} = C_{reparação_rede} * F_{rede} + C_{reparação_ramal} * F_{ramal}$$

³¹ Prestadores que tenham outros valores que se ajustem mais à sua realidade devem usar esses (7 a 9 metros por exemplo)

Onde:

C_{rep} – custo de reparação de vazamentos (R\$/km)

$C_{reparação_rede}$ – custo de reparação de rede (R\$/vazamento reparado)

F_{rede} – frequência de vazamentos na rede (ocorrência de vazamento /km de rede)

$C_{reparação_ramal}$ – custo de reparação de ramal de ligação (R\$/ligação reparada)

F_{ramal} – frequência de vazamentos nos ramais (ocorrência de vazamento /km de rede)

Para o estado de São Paulo segue um exemplo de cálculo:

$$C_{rep} = 684,64 \text{ R\$/vaz} * \frac{1 \text{ vaz.}}{15 \text{ km de rede}} + 710,79 \text{ R\$/vaz} * \frac{1 \text{ vaz.}}{2,5 \text{ km de rede}} = 329,96$$

Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 50 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 2 na página 180.

($C_{gestão}$) - Considerações sobre custos de gestão de perdas

Embora seja difícil estimar custos de atividades de curto prazo, elas devem ser tidas em conta. Para efeitos da presente modelagem usou-se 200R\$/km.

Estas atividades por serem de curto prazo não necessitam de ser anualizadas, pois constituem valores anuais. Essas atividades são:

- Manutenção de válvulas redutoras de pressão;
- Verificações de válvulas de expulsão de ar;
- Manutenção de válvulas e gestão de DMC;
- Manutenção de Macro medidores;
- Manutenção de Sensores de pressão;
- Manutenção e verificação do funcionamento de SCADA;
- Atualização de software de perdas;
- Capacitação de recursos humanos em perdas;
- Entre outros.

(C_{cra}) - Considerações sobre custos conservação e reposição de rede anualizado

Na presente modelagem usou-se para o cálculo do $C_{Conservação}$ – custo de conservação e reposição da rede anualizado, os seguintes dados na equação composta pela Equação 75, Equação 76 e Equação 77:

Equação 99 – Custo de conservação e reposição anualizada da rede integral (com variáveis primárias)

$$C_{cra} = \frac{r(1+r)^{z_i}}{[(1+r)^{z_i} - 1]} * C_{reporrede} * \left[\frac{1}{z_i} + t_{xreporadicional} \right] * f_g * (1 + BDI)$$

Onde:

C_{cra} – custo anualizado de conservação e reposição (R\$/[km.ano])

t_{xrepor} – taxa anual de reposição da rede (%)

r – taxa de retorno (%)

z_i – vida útil das redes (anos)

$C_{reporrede}$ – custo de reposição de rede (R\$/km) conforme (convertendo R\$/m em R\$/km).

$t_{xreporadicional}$ – taxa anual de reposição da rede adicional para maior conservação (1%)

f_g – fator para incorporar adutoras e reservatórios (1,3)

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas, que inclui impostos, juros, lucros (%)

Os valores utilizados para cada estado poderão ser consultados no Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo na Tabela 51 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 3 na página 181.

(α ; β) Considerações sobre os coeficientes de perdas de base e vazamentos reportados (alfa e beta)

Regressão utilizada para estimar alfa e beta

O alfa e beta usados no presente modelo derivam de estudos da Sanepar no qual se correlaciona com o IN050 - Índice bruto de perdas lineares ($m^3/km.dia$). A amostra do estudo são 64 casos.

A todos os municípios que reportam ao SNIS, aplicou-se uma regressão linear auferida pela Sanepar com base em amostra de municípios estudados. No caso de o valor de um determinado município gerar um valor negativo (ou muito baixo) considera-se que haja algum dado de entrada errado por exemplo, o volume produzido deve ser maior do que o informado, talvez por alguma falha de macromedição (assim a perda é maior do que o calculado e beta deveria ser maior). Nesses casos assumiu-se o beta como 0,1 que já é um valor suficientemente baixo e quase zero. Se usássemos 0,001 considera-se que reduziria demasiado muito o custo de controle, gerando resultado incoerentes.

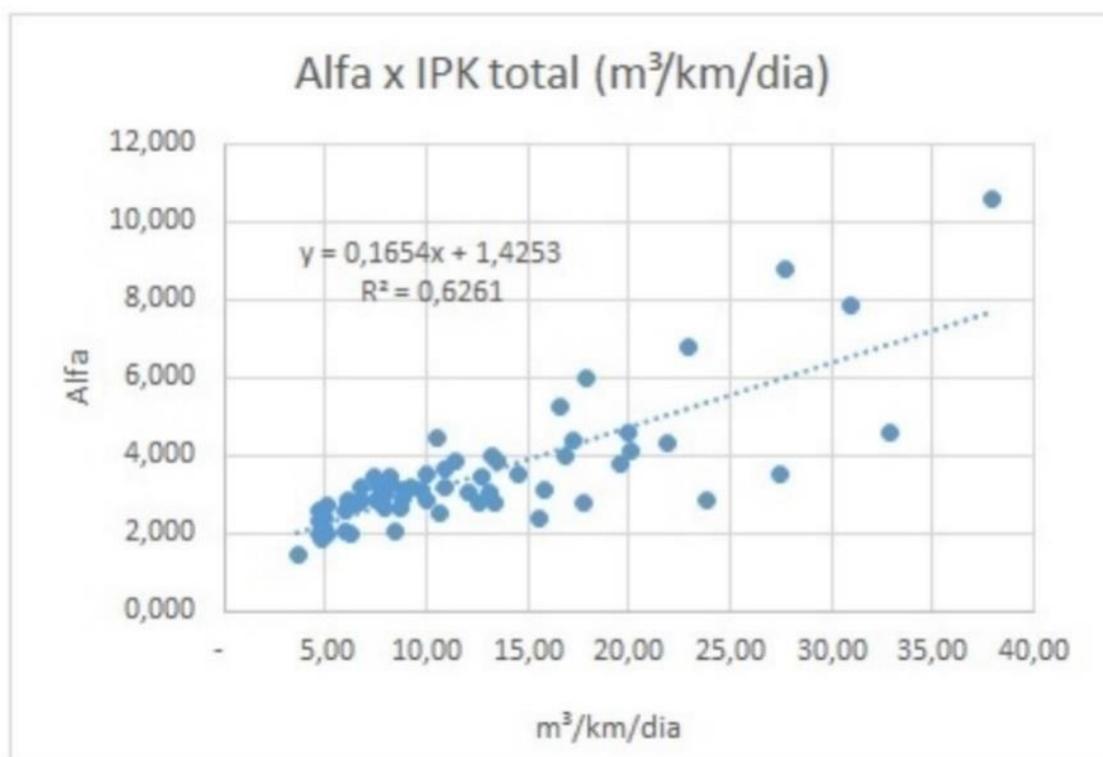


Gráfico 9 – Regressão linear de alfa ~ IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m³/km.dia) – Fonte: Sanepar outubro 2020

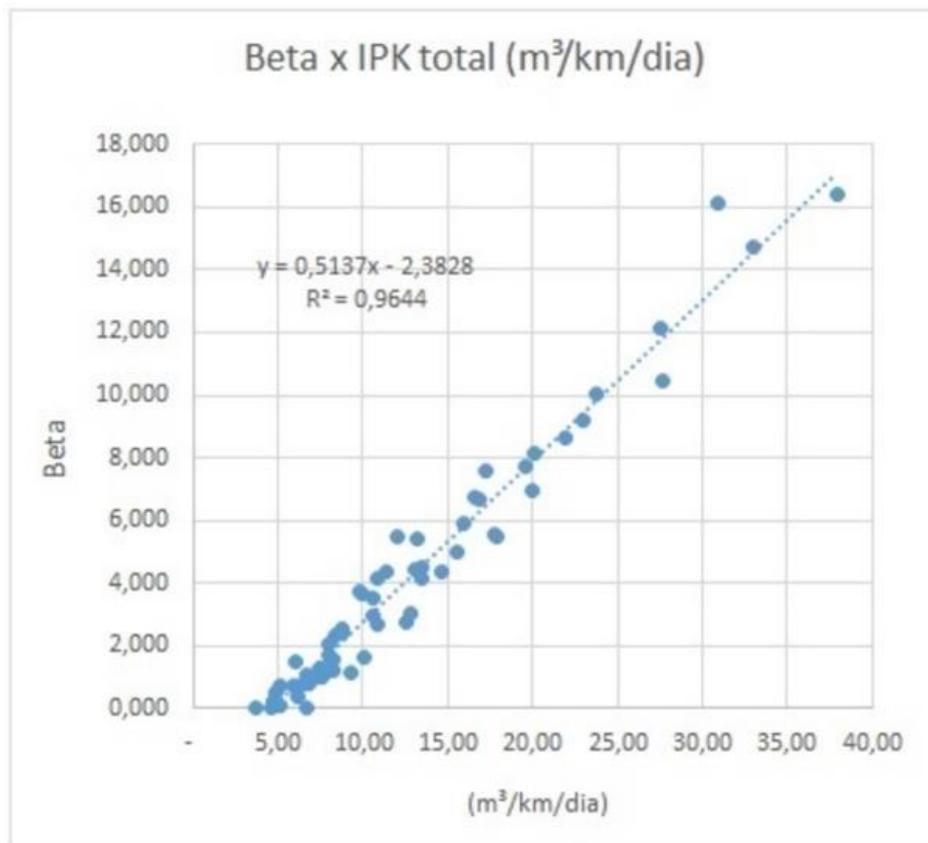


Gráfico 10 – Regressão linear de beta ~ IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m³/km.dia) – Fonte: Sanepar outubro 2020

As respectivas equações que derivam da regressão têm a seguinte expressão:

Equação 100 – Para estimar alfa com base em IN050 - Índice bruto de perdas lineares (estudos Sanepar de outubro 2020)

$$\alpha = 0,1654 * IN050 + 1,4253$$

Equação 101 – Para estimar beta com base em IN050 - Índice bruto de perdas lineares (estudos Sanepar de outubro 2020)

$$\beta = 0,5137 * IN050 - 2,3828$$

No cálculo de beta acresce a seguinte condicionante para não reduzir o beta a valor demasiadamente baixo, o que significaria que não haveria custos no programa e controle de perdas reais.

Equação 102 – Condicionante para a validade de beta (β)

$$se \beta \leq 0,1, assume 0,1$$

Onde:

IN050 - Índice bruto de perdas lineares (m³/km.dia)

Output do modelo

Os seguintes valores referem-se a perdas reais (l/lig.dia) conforme a Equação 83.

Para a maioria dos municípios o nível ótimo de perdas reais está entre 40 e 110 l/lig.dia. Alguns municípios apresentam valores extremamente altos (superior a 600 l/lig.dia) que resultam de situações equivocadas, onde a relação entre os dados que foram utilizados no modelo, isto é, os dados reportados ao SNIS, podem conter inconsistências.

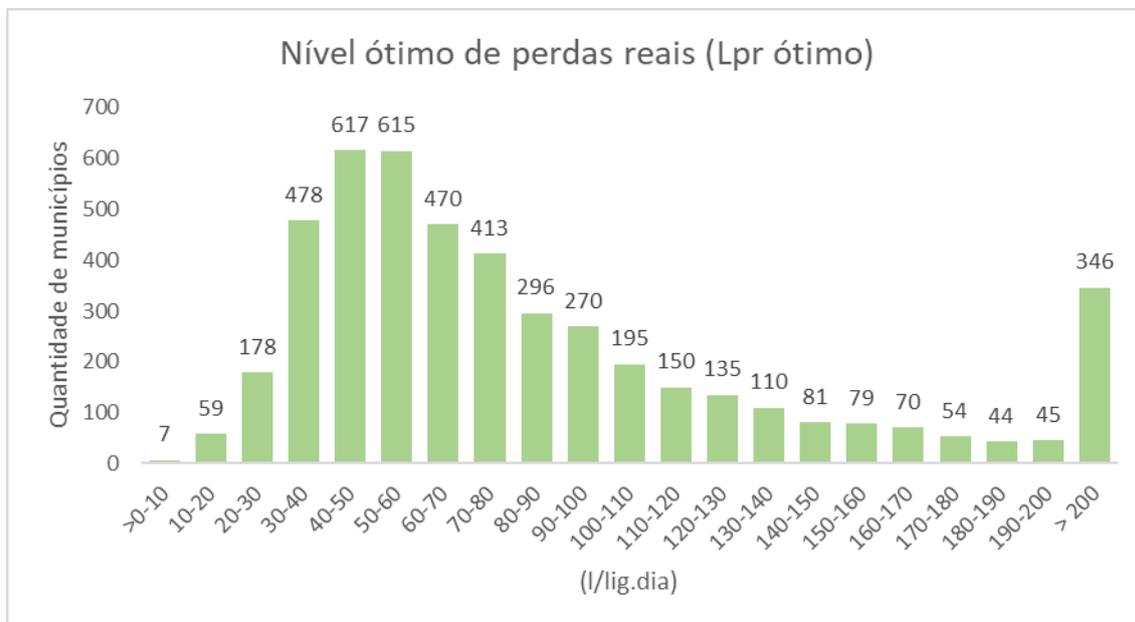


Gráfico 11 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)

O gráfico a seguir pretende apresentar a dispersão dos níveis ótimos por região. Nos municípios da Região Norte a mediana do nível ótimo é de 113 l/lig.dia e pode assumir valores mais heterogêneos (caixa maior). Na Região Centro-Oeste a mediana é de 65 l/lig.dia e os valores são mais homogêneos (caixa mais estreita). O Sudeste (83 l/lig.dia) e o Sul (93 l/lig.dia) têm as medianas mais baixas.

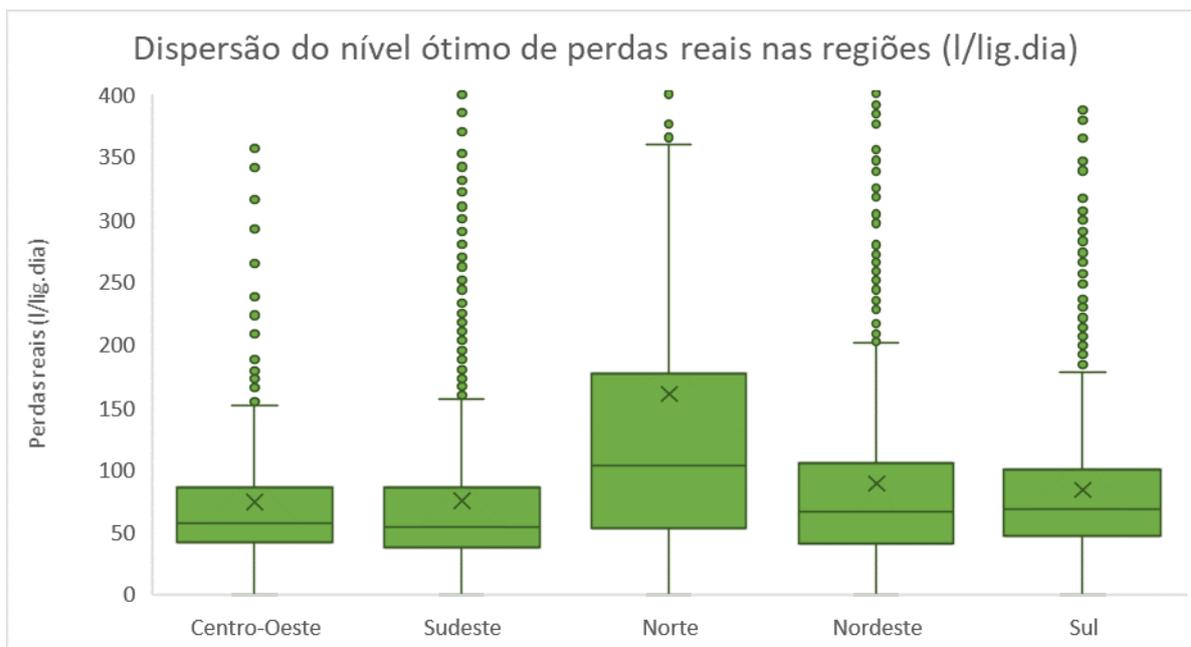
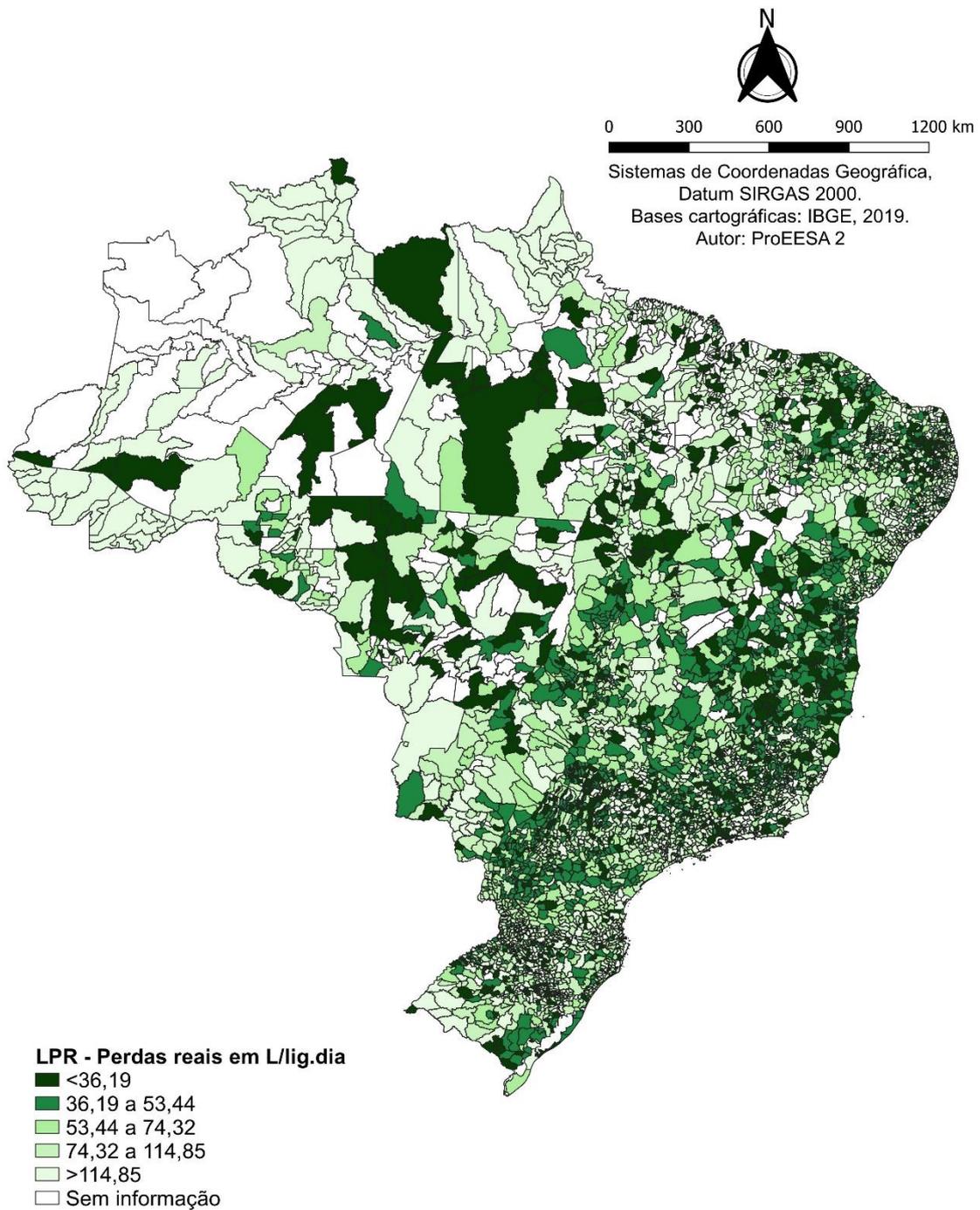


Gráfico 12- Nível ótimo de perdas reais Brasil e regiões (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)

A seguinte análise visual por município reforça que não há uma tendência regional muito demarcada em relação ao nível de perdas ótimo.



Mapa 3 - Nível ótimo de perdas reais para o Brasil (l/lig.dia)

Tendo em conta que o patamar econômico tem uma tolerância de 2,5% de custos, significa que valores mais altos de perdas reais estão ainda muito perto do nível ótimo. Os resultados para os municípios do Brasil estão apresentados no histograma em baixo.

Tendo em conta a incerteza dos dados de entrada se recomenda usar como meta um intervalo com alguma tolerância tal como 2,5 ou 5%.

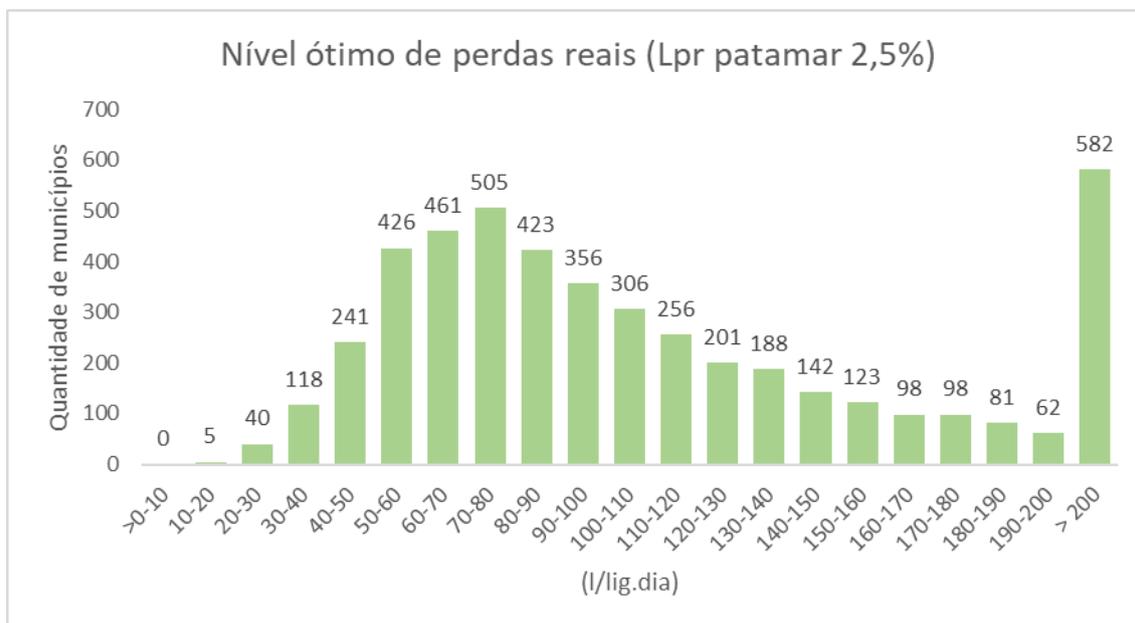


Gráfico 13 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros Tolerando 2,5 % de ineficiência econômica (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)

Tendo em conta que o patamar econômico tem uma tolerância de 5% de custos, significa que valores de perdas reais mais altas estão ainda muito perto do nível ótimo. Os resultados para os municípios do Brasil estão apresentados no histograma em baixo.

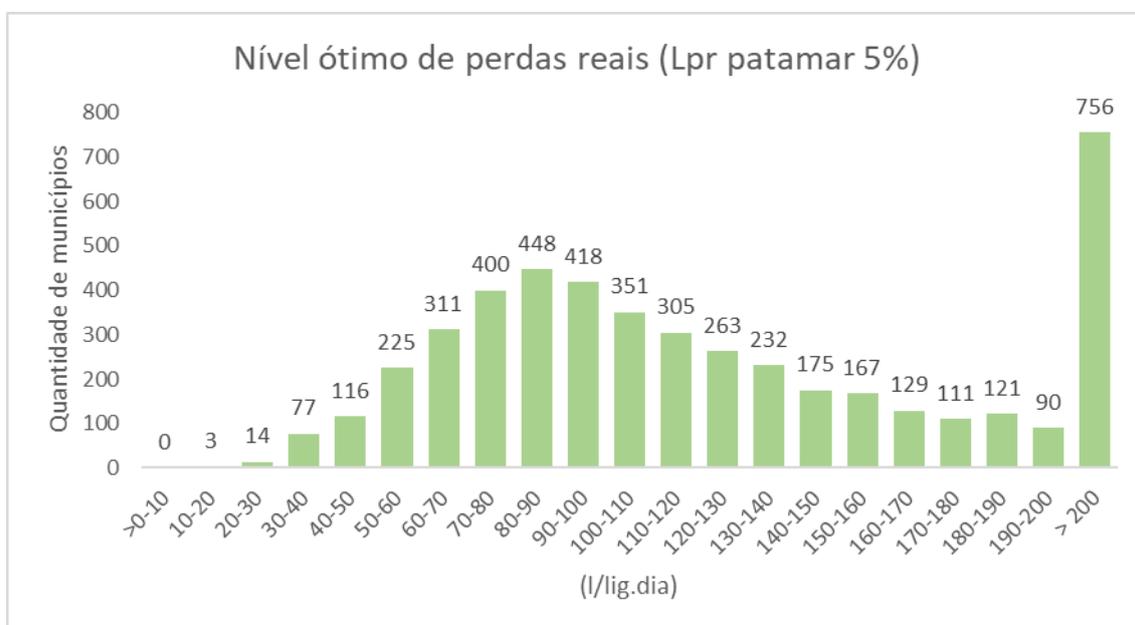


Gráfico 14 – Histograma do nível ótimo de perdas reais nos municípios brasileiros -Tolerando 5% de ineficiência econômica (Tamanho da amostra 4712, ano 2019)

Sensibilidade e incerteza na definição da meta de perdas reais

À semelhança de como foi realizado para as perdas por submedição, neste subcapítulo analisa-se o quanto uma variável influi no resultado final para perdas reais ótimas. Pretende-se identificar quão sensível o modelo é a essa variável, para que se possa tentar obter maior acurácia nas variáveis que mais influenciam o resultado.

Se constatou que não existe “a variável típica” com o “maior impacto” no nível econômico. É mais relevante a proporção entre as variáveis.

No entanto, se pode afirmar que a janela temporal de análise afeta o nível econômico, nomeadamente t (tempo até realizar a próxima expansão) e z (tempo de planejado para o uso da capacidade expandida), sendo que o tempo é determinado amplamente pela capacidade instalada atualmente face ao volume de água produzido.

Para tal, recorreu-se ao conceito de elasticidade, que é o tamanho do impacto que a alteração em uma variável (ex.: custo de expansão ou taxa de retorno) exerce sobre o nível ótimo de perdas reais.

Elasticidade das variáveis

A elasticidade foi calculada da seguinte forma:

Equação 103 – Elasticidade de perdas reais

$$\varepsilon_{lpr, y} = \frac{\frac{lpr_1 - lpr_{base}}{lpr_{base}}}{\frac{y_1 - y_{base}}{y_{base}}} = \frac{\frac{\Delta lpr}{lpr_{base}}}{\frac{\Delta y}{y_{base}}} = \frac{\Delta lpr}{\Delta y} * \frac{y_{base}}{lpr_{base}}$$

Onde:

lpr – nível ótimo de perdas reais (-).

y – variável que se pretende testar

Verificou-se a elasticidade das variáveis tendo em conta as incertezas dos analistas em relação à grandeza desses valores. É natural existir maior certeza em alguns valores e em outros menos, devido às lacunas de conhecimento sobre essas variáveis.

A seguinte tabela traz variações para todas as variáveis:

Tabela 32 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas reais duplicando seu valor (arquivo: Elasticidade)

Variável	valor base (x)	variação (%) de x	variação de x (x1)	delta x	novo nível lpr ótimo (y1)	delta y (lpr)	Elasticidade
Cprod - Custo de Produção de Água (R\$/m³)	R\$ 0,66	200%	R\$ 1,32	R\$ 0,66	17,9%	-3,0%	0,144
N - Número total de Ligações (lig.)	1.036	200%	2.072	1.036	29,9%	9,0%	0,431
k - Coeficiente de custo (R\$/m³/dia)	R\$ 233.727	200%	R\$ 467.454	R\$ 233.727	20,0%	-0,9%	0,043
b - fator de economia de escala	0,48	200%	0,95	0,48	8,5%	-12,4%	0,593
fp - fatores de ponta diário	1,20	200%	2,40	1,20	20,5%	-0,4%	0,019
fr - fatores de resiliência	1,40	200%	2,80	1,40	20,5%	-0,4%	0,019
z exp - período relativo à expansão	15	200%	30	15	20,9%	0,0%	-
Qc - Consumo ano-base (m³/ano)	169.329	200%	338.658	169.329	11,8%	-9,1%	0,435
r - Taxa de Juros	7,0%	200%	14,0%	7,0%	20,5%	-0,4%	0,019
U – relação entre a capacidade instalada e a demanda (-)	0,59	200%	1,17	0,59	20,9%	0,0%	-
G - Taxa de crescimento populacional	1,1%	200%	2,2%	1,1%	20,9%	0,0%	-
C_prr – custo das ativi. e invest. para o controle de perdas (R\$/km)	R\$ 1.930	200%	R\$ 3.860	R\$ 1.930	25,3%	4,4%	0,211
M - Comp. rede de distribuição (km)	9	200%	18,0000	9,0000	33,3%	12,4%	0,593
β - Coef. Perdas de vazamentos não reportados (-)	9,06	200%	18,12	9,06	25,3%	4,4%	0,211
α - Coef. perdas de base e vazamentos reportados (-)	5,11	200%	10,22	5,11	24,7%	3,8%	0,182
Nível de perdas reais ótimo (%)	20,9%	(coluna EG)					
Nível de perdas reais ótimo (l/lig.dia)	191,83 l/lig.dia	(coluna EM)					

Tabela 33 – Sensibilidade e elasticidade das variáveis das perdas reais reduzindo para metade o seu valor (arquivo: Elasticidade)

Variável	valor base (x)	variação percentual de x	variação de x (x1)	delta x	novo nível ótimo de perdas reais (y1)	delta y (lpr)	Elasticidade
Cprod - Custo de Produção de Água (R\$/m³)	R\$ 0,66	50%	R\$ 0,33	-R\$ 0,33	244,1%	223,2%	21,359
N - Número total de Ligações (lig.)	1.036	50%	518	-518	14,4%	-6,5%	0,622
k - Coeficiente de custo (R\$/m³/dia)	R\$ 233.727	50%	R\$ 116.864	-R\$ 116.864	21,4%	0,5%	0,048
b - fator de economia de escala	0,48	50%	0,24	-0,24	22,0%	1,1%	0,105
fp - fatores de ponta diário	1,20	50%	0,60	-0,60	21,9%	1,0%	0,096
fr - fatores de resiliência	1,40	50%	0,70	-0,70	21,2%	0,3%	0,029
z exp - período relativo à expansão	15	50%	7,5	-7,5	20,7%	-0,2%	0,019
Qc - Consumo ano-base (m³/ano)	169.329	50%	84.665	-84.665	34,2%	13,3%	1,273
r - Taxa de Juros	7,0%	50%	3,5%	-3,5%	21,1%	0,2%	0,019
U – relação entre a capacidade instalada e a demanda (-)	0,59	50%	0,29	-0,29	20,9%	0,0%	-
G - Taxa de crescimento populacional	1,1%	50%	0,6%	-0,6%	20,9%	0,0%	-
C_prr – custo das ativi. e invest. para o controle de perdas (R\$/km)	R\$ 1.930	50%	R\$ 965	-R\$ 965	17,5%	-3,4%	0,325
M - Comp. rede de distribuição (km)	9	50%	4,5000	-4,5000	12,7%	-8,2%	0,785
β - Coef. Perdas de vazamentos não reportados (-)	9,06	50%	4,53	-4,53	17,5%	-3,4%	0,325
α - Coef. perdas de base e vazamentos reportados (-)	5,11	50%	2,56	-2,56	18,9%	-2,0%	0,191
Nível de perdas reais ótimo (%)	20,9%	(coluna EG)					
Nível de perdas reais ótimo (l/lig.dia)	191,83 l/lig.dia	(coluna EM)					

Se prescindiu de realizar a análise na unidade l.lig/dia. A sensibilidade difere se for realizada nessa unidade.

No caso específico analisado a capacidade instalada (U) e a taxa de crescimento populacional (G) não tiveram impacto no nível econômico, porque o município deveria ter já feito sua expansão do sistema no passado (tempo (t) negativo. Quando estas situações ocorrem usa-se tempo = 1 ano (expansão imediata).

O aumento ou redução das variáveis tem o seguinte efeito no nível econômico de perdas reais em (%):

Tabela 34 – Influência positiva e negativa das variáveis no nível de perdas reais

Variáveis	Elevam o nível econômico de perdas reais	Baixam o nível econômico de perdas reais
(Assinaladas em cor laranja na Tabela 35) Cprod - Custo de Produção de Água (R\$/m ³) k - Coeficiente de custo (R\$/m ³ /dia) b - fator de economia de escala fp e fr - fatores de ponta e de resiliência z exp - período relativo à expansão Qc - Consumo ano-base (m ³ /dia) G - Taxa de crescimento populacional	Quando são baixos, elevam o nível econômico 	Quando são elevados reduzem o nível econômico 
(Assinaladas em cor azul na Tabela 35) N - Número total de Ligações (lig.) r - Taxa de Juros E - Razão da capacidade de produção de água Cpr - Custo de controle de perdas (R\$/km) M - Comp. rede de distribuição por lig. (km) β - Coef. Perdas de vazamentos não reportados (-) α - Coef. perdas de base e vazamentos reportados (-)	Quando são elevados, sobem o nível econômico 	Quando são baixos, reduzem o nível econômico 

Os diversos municípios encontram-se em situações distintas, sendo que a elasticidade das variáveis não é necessariamente da mesma dimensão em todos os casos.

Intervalo de incerteza

Após verificar a elasticidade procedeu-se à intervalos de incerteza dos valores. É natural existir maior certeza em alguns valores e em outros menos, por existirem lacunas de conhecimento sobre essas variáveis.

A seguinte tabela traz limites dentro dos quais considera-se que deva estar o valor real de cada variável. O consenso para os limites deve ser encontrado entre as partes ao estabelecer metas para perdas reais:

Tabela 35 – Intervalos de incerteza para determinar o intervalo das perdas reais ótimo (arquivo: Elasticidade)

Variável	valores que favorecem uma perda real mais elevada		valor base (x)	valores que favorecem uma perda real mais baixa	
	variação percentual de x	variação de x (x1)		variação percentual de x	variação de x (x1)
Cprod - Custo de Produção de Água (R\$/m³)	95%	0,63	R\$ 0,66	105%	0,69
N - Número total de Ligações (lig.)	105%	1.087,80	1.036	95%	984,20
k - Coeficiente de custo (R\$/m³/dia)	90%	210.354,30	R\$ 233.727	110%	257.099,70
b - fator de economia de escala	90%	0	0,48	110%	1
fp - fatores de ponta diário	100%	1	1,20		
fr - fatores de resiliência	100%	1	1,40	105%	1
z exp - período relativo à expansão	100%	15,00	15	110%	16,50
Qc - Consumo ano-base (m³/ano)	95%	160.862,55	169.329	105%	177.795,45
r - Taxa de Juros	110%	7,7%	7,0%	90%	6,3%
U – relação entre a capacidade instalada e a demanda (-)	100%	0,59	0,59	100%	0,59
G - Taxa de crescimento populacional	90%	0,01	1,1%	110%	0,01
C_prr – custo das ativi. e invest. para o controle de perdas (R\$/km)	110%	2.123,00	R\$ 1.930	90%	1.737,00
M - Comp. rede de distribuição (km)	105%	9	9	95%	9
β - Coef. Perdas de vazamentos não reportados (-)	110%	9,97	9,06	90%	8,16
α - Coef. perdas de base e vazamentos reportados (-)	110%	5,62	5,11	90%	17,07
Nível de perdas reais ótimo (%)	25,0%		20,9%		16,8%
Nível de perdas reais ótimo (l/lig.dia)	263,9 l/lig.dia		191,83 l/lig.dia		209,17 l/lig.dia

Tendo em conta os limites de incerteza superiores e inferiores de cada variável, o nível de perdas reais deve encontrar-se entre 16,8% e 25,0% e na unidade de l/lig.dia entre 209 e 264 l/lig.dia.³²

Esse intervalo limita as possibilidades e coloca fronteiras nos valores economicamente viáveis.

À medida que surgir mais conhecimento e certeza sobre os valores recomenda-se ir progressivamente reduzindo o intervalo.

Outra comparação que se pode fazer com o intervalo de incerteza da Tabela 35 é observar o intervalo do patamar econômico em duas dimensões, nomeadamente tolerando 2,5 e 5% de ineficiência.

Neste caso o patamar econômico de 2,5% tem bastante adesão ao intervalo de incerteza.

³² Se atenta para o fato de que 209 l/lig.dia (um dos limites de incerteza) é superior ao valor ótimo. Isso não é uma inconsistência. O número de ligações reduziu nessa variante, mas o volume de água perdido é menor.

Tabela 36 – Intervalos do patamar econômico de perdas reais ótimo (arquivo: Elasticidade)

	inferior		superior
Patamar econômico 2,5	16,4%		27,3%
	181l/lig.dia		343 l/lig.dia
Patamar econômico 5%	15,1%		30,4,3%
	164,7 l/lig.dia		405 l/lig.dia

Se conclui que é recomendável avaliar níveis de perdas reais mediante um intervalo correspondente a um patamar econômico que permita absorver as incertezas dos dados.

6. Avaliação do desempenho atual

Comparação entre a situação atual e o nível ótimo de perdas

Nos capítulos anteriores calcularam-se os níveis ótimos de perdas aparentes e reais.

Neste capítulo compara-se a situação atual (IN051_{SNIS_2019}) com diversas classes econômicas de perdas econômicas. O objetivo desta análise comparativa é obter uma ordem de grandeza da distância até o ponto ideal.

Valores a classificar - IN051 - Índice de perdas por ligação

O SNIS define IN051 - Índice de perdas por ligação do seguinte modo:

Equação 104 - IN051 - Índice de perdas por ligação - SNIS

$$IN051 = \frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG002^*} \times \frac{1.000.000}{365}$$

Onde

IN051 - Índice de perdas por ligação (l/lig./dia)

AG002: Quantidade de ligações ativas de água (lig.)

AG002*: utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.

AG006: Volume de água produzido (1000m³)

AG010: Volume de água consumido (1000m³)

AG018: Volume de água tratada importado (1000m³)

AG024: Volume de serviço (1000m³)

Classes de desempenho econômico

Se elaboraram cinco classes de desempenho econômico de perdas de água conforme ilustrados nas seguintes figuras respectivamente para as perdas por submedição e as perdas reais. ³³

Os limites dessas classes são individuais para cada município.

³³ As perdas aparentes relativas a fraudes, clandestinos são constantes adicionadas, isto é, elas não têm uma classe mediana nem insatisfatória.

Figura 19 – Intervalos de desempenho econômico de perdas reais

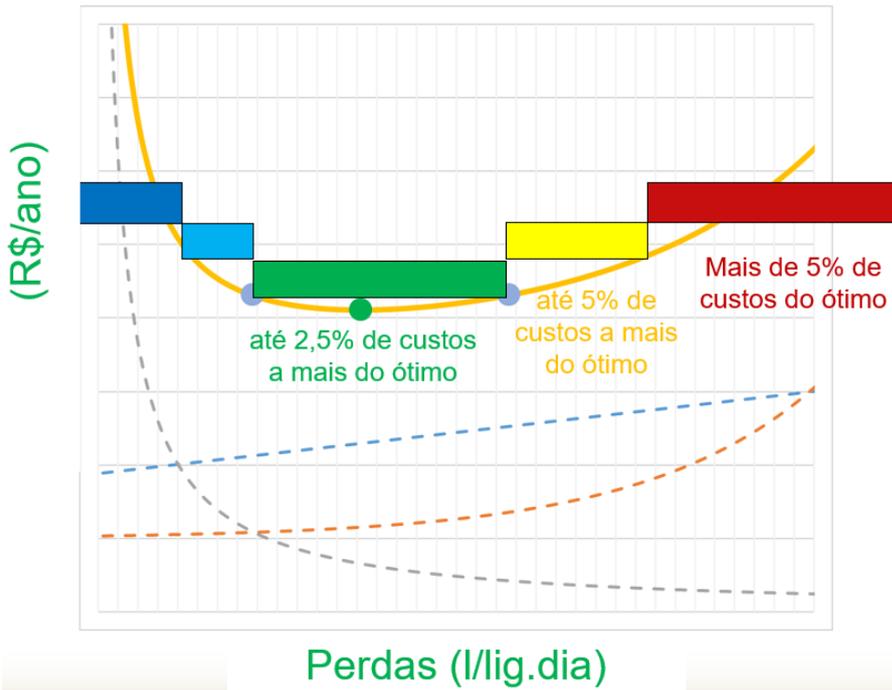
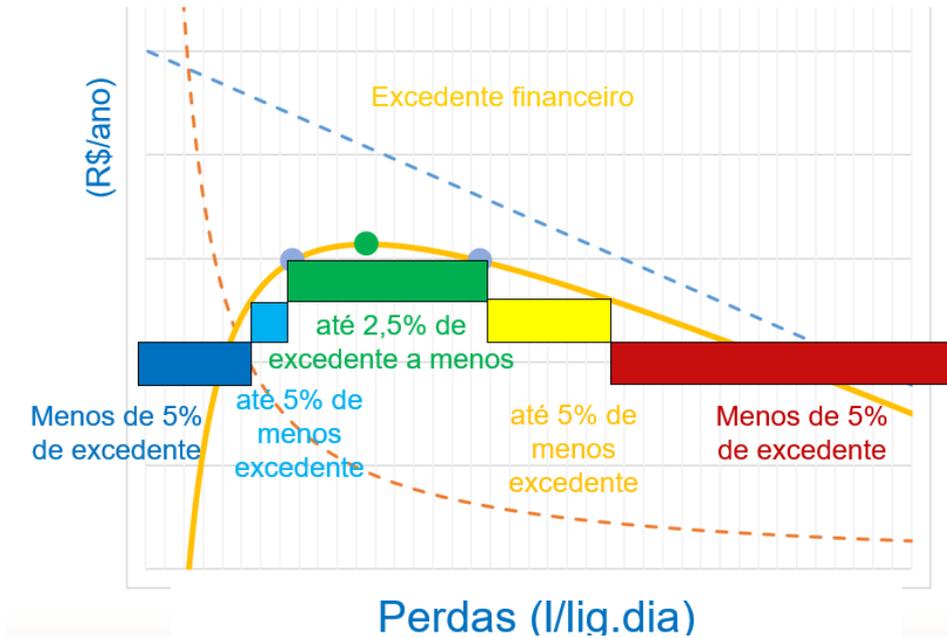


Figura 20 – Intervalos de desempenho econômico de perdas por submedição



Em termos de equação os limites desses intervalos determinam-se do seguinte modo:

Equação 105 - Limite entre Classe 1 (sobre-eficiência) e 2 (ligeira sobre-eficiência), correspondente a 5% de ineficiência econômica

$$l_{P_{inferior\ 5\%}} = l_{lim\ inferior\ sub\ evit\ 5\%} + l_{sub\ inevit} + l_{fraud} + l_{CC} + l_{lim\ inferior\ pr\ 5\%}$$

Equação 106 - Limite entre Classe 2 (ligeira sobre-eficiência) e 3 (patamar econômico), correspondente a 2,5% de ineficiência econômica

$$\ell_{P_{inferior\ 2,5\%}} = \ell_{lim\ inferior\ sub\ evit\ 2,5\%} + \ell_{sub\ inevit} + \ell_{fraud} + \ell_{CC} + \ell_{lim\ inferior\ pr\ 2,5\%}$$

Equação 107 - Limite entre Classe 3 (patamar econômico) e Classe 4 (ligeira ineficiência), e correspondente a 2,5% de ineficiência econômica

$$\ell_{P_{superior\ 2,5\%}} = \ell_{lim\ superior\ sub\ evit\ 2,5\%} + \ell_{sub\ inevit} + \ell_{fraud} + \ell_{CC} + \ell_{lim\ superior\ pr\ 2,5\%}$$

Equação 108 - Limite entre Classe 4 (ligeira ineficiência), e Classe 5 (ineficiência), correspondente a 5% de ineficiência econômica

$$\ell_{P_{superior\ 5\%}} = \ell_{lim\ superior\ sub\ evit\ 5\%} + \ell_{sub\ inevit} + \ell_{fraud} + \ell_{CC} + \ell_{lim\ superior\ pr\ 5\%}$$

Onde

$\ell_{P_{superior\ 5\%}}$ - limite superior de perdas de água que permitem 5% de custos (l./lig.dia)

$\ell_{P_{superior\ 2,5\%}}$ - limite superior de perdas de água que permitem 2,5% de custos (l./lig.dia)

$\ell_{P_{inferior\ 2,5\%}}$ - limite inferior de perdas de água que permitem 2,5% de custos (l./lig.dia)

$\ell_{P_{inferior\ 5\%}}$ - limite inferior de perdas de água que permitem 5% de custos (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ inferior\ sub\ evit\ 5\%}$ - valor inferior de perdas de água por submedição dos hidrômetros evitável que permitem 5% de perdas econômicas do excedente financeiro (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ inferior\ sub\ evit\ 2,5\%}$ - valor inferior de perdas de água por submedição dos hidrômetros evitável que permitem 2,5% de perdas econômicas do excedente financeiro (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ superior\ sub\ evit\ 2,5\%}$ - valor superior de perdas de água por submedição dos hidrômetros evitável que permitem 2,5% de perdas econômicas do excedente financeiro (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ superior\ sub\ evit\ 5\%}$ - valor superior de perdas de água por submedição dos hidrômetros evitável que permitem 5% de perdas econômicas do excedente financeiro (l./lig.dia)

$\ell_{sub\ inevit}$ - perdas de água por submedição dos hidrômetros (l./lig.dia)

ℓ_{fraud} - perdas de água aparentes relativas a fraudes (l./lig.dia)

ℓ_{FFC} - perdas de água aparentes relativas falhas de cadastro e usos clandestinos (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ superior\ pr\ 5\%}$ - valor superior de perdas reais que permitem 5% de perdas econômicas dos custos de perdas reais (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ superior\ pr\ 2,5\%}$ - valor superior de perdas reais que permitem 2,5% de perdas econômicas dos custos de perdas reais (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ inferior\ pr\ 2,5\%}$ - valor inferior de perdas reais que permitem 2,5% de perdas econômicas dos custos de perdas reais (l./lig.dia)

$\ell_{lim\ inferior\ pr\ 5\%}$ - valor inferior de perdas reais que permitem 5% de perdas econômicas dos custos de perdas reais (l./lig.dia)

Avaliação

O valor de IN051 - Índice de perdas por ligação (2019) foi avaliado com base nos limites acima indicados e individuais para cada município.

Para elaboração do seguinte gráfico, foram considerados 5003 municípios brasileiros que possuem informações sobre o IN051 (SNIS 2019) e informações suficientes para calcular o nível de econômico de perdas reais (lpr) e aparentes (lpa).

No estado do Amapá, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Baía parece haver mais municípios com sobre eficiência técnica, porém é uma menor eficiência econômica (indicado como na cor azul escuro e azul claro).

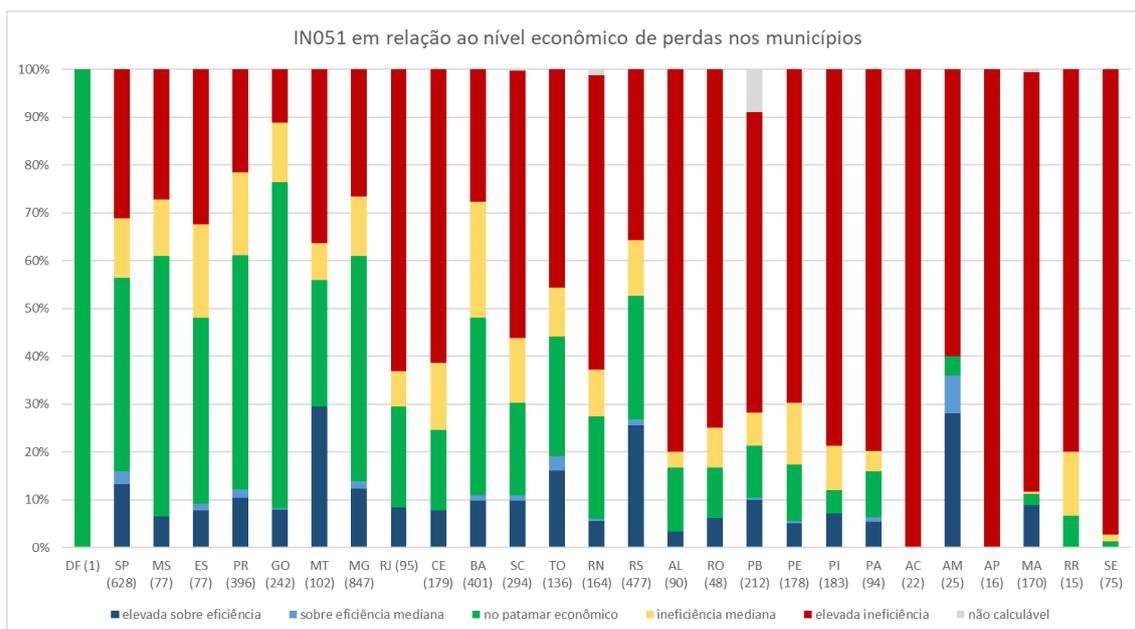
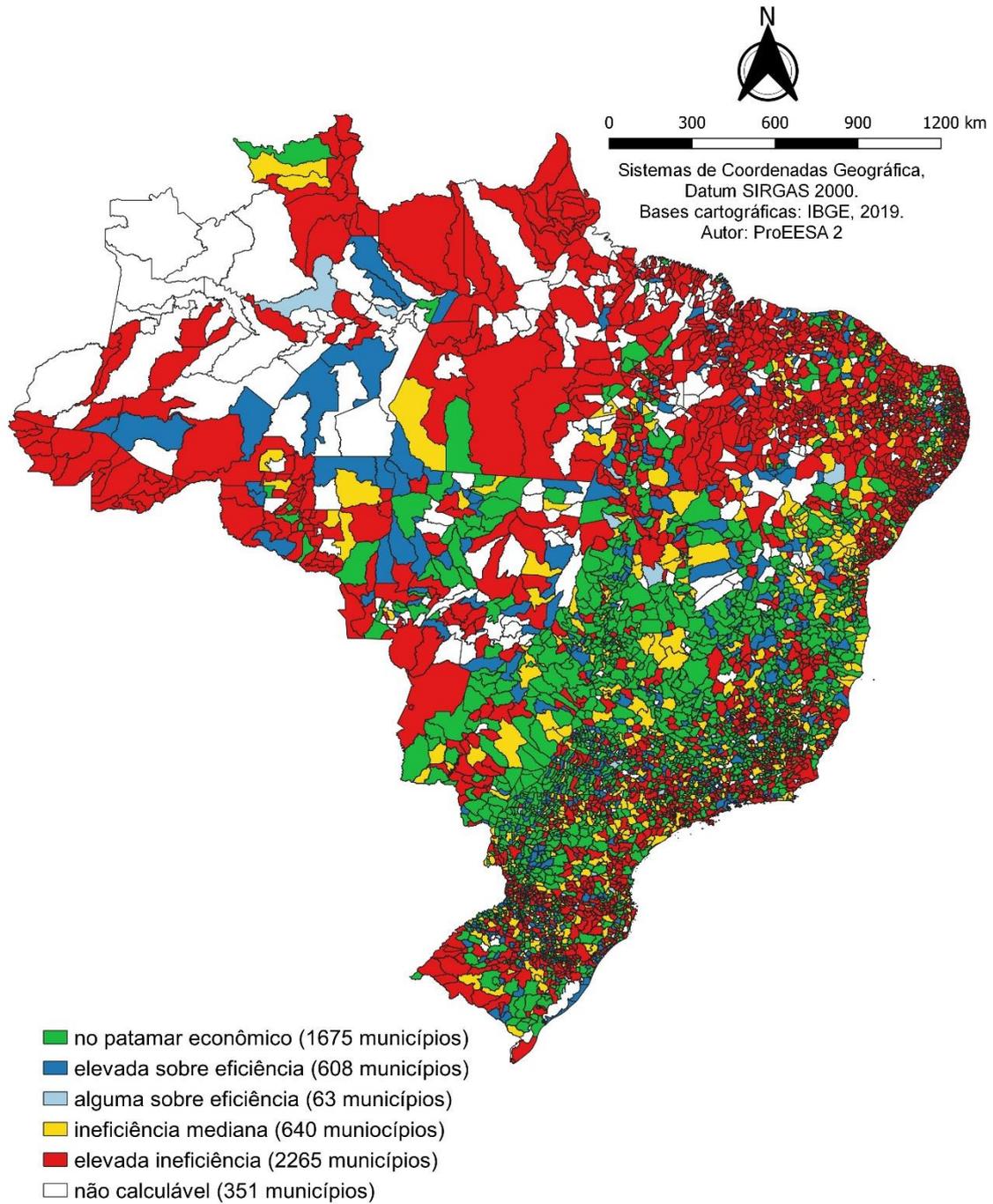


Gráfico 15 - Desempenho econômico do nível de perdas atual nos estados (amostra 5244)

Não deve ser esquecido que para 3057 municípios não é conhecida a tarifa de esgoto, e por isso não foi considerada no cálculo do nível ótimo de perdas aparentes. Isso significa que para esses municípios o nível de perdas econômico é inferior a apresentado no gráfico anterior e mapa seguinte. De quais casos se trata pode ser consultado na planilha indicada no Anexo 4 – Tabelas de resultados para cada município (página 183).



Mapa 4 - Avaliação da performance econômica em termos de perdas de água nos municípios brasileiros

PARTE 3 – PRAZOS

7. Prazos por área de atuação

O presente capítulo foca na questão do prazo de ações para alcançar as metas. Para tal fazem-se considerações pelas seguintes áreas de atuação.

- submedição e reposição de hidrômetros,
- regularização de usos clandestinos de água,
- controle de fraudes,
- controle de falhas de cadastro,
- gestão de pressões na rede,
- conservação da rede,
- gestão de informação do Balanço hídrico (inclui ACERTAR),
- gestão de informação do cadastro (ACERTAR),
- estudos setoriais (caracterização do parque de hidrômetros e estudos genéricos relevantes para a gestão de ativos).

Ter uma noção do tempo que demora controlar os diversos tipos de perdas permite colocar prazos mais assertivos e realistas, assim como acompanhar as metas para cada tipo de perdas (reais, aparentes por submedição, aparentes por fraude, aparentes por uso clandestino).

A seguinte Figura 21 resume os prazos recomendados para os quais a Tabela 37 traz uma breve explicação adicional que se trata com maior detalhe nos subcapítulos seguintes.



Figura 21 – Prazos por área de atuação para metas de perdas de água

Tabela 37 – Resumo de prazos por área de impacto e atuação

Área de impacto	de	Área de atuação	Prazo adequado
-----------------	----	-----------------	----------------

Perdas aparentes	Submedição	Prazo inferior à idade média ótima ($< I_{Mot}$) cerca de 2-5 anos, dependendo da composição do parque de hidrômetros (velocimétricos ou volumétricos)
	Controle de fraudes	Tempo médio de 2-3 anos, correspondendo ao período de levantamento do nível de fraudes atual e pesquisa ativa de fraudes em excesso.
	Regularização de usos clandestinos de água	Considera-se que o prazo de 2-3 anos é suficiente para chegar a um consenso entre prestador de serviço e prefeitura na abordagem da água fornecida em áreas com ocupação clandestina.
	Aprimoramento de cadastro	Tempo médio de 1-2 anos, correspondendo à obtenção do nível 3 de confiança do ACERTAR da informação AG002 – Quantidade de ligações ativas de água (n. °lig.)
Perdas reais	Gestão de pressões	Tempo médio de 2-3 anos, correspondendo ao período de adequação e ajustamento das pressões na rede.
	Conservação da rede e de ramais	Prazo $<$ Idade média da rede (I_{Mred}) ou $<$ idade média ótima da rede (I_{Mot}), podendo ser entre 15 e 30 anos para reduzir a idade média da rede.
Transversal	garantia de informação confiável, medição e verificação	Tempo médio de 1-2 anos, correspondendo à implementação de procedimentos para cálculo do Balanço hídrico, estudos que se considerem necessário e à obtenção do nível 3 de confiança do ACERTAR das informações relacionadas com cadastro de rede, ligações, e volumes de água (produzido, perdas, importado e exportado etc.)

Relevância da Coordenação interdepartamental da estratégia de redução de perdas de água

A tabela em cima lista áreas de atuação, porém refira-se que uma das maiores dificuldades para o sucesso da estratégia de redução de perdas de água, prende-se com as questões organizativas e de governança no seio do prestador. As atividades relativas as ações de mitigação das perdas aparentes e das perdas reais envolvem vários departamentos que necessitam de uma boa comunicação entre si carecendo de uma instância com uma visão integradora e coordenadora desta matéria. Não se definiu um prazo para implementar esta coordenação interdepartamental, pois interfere bastante na autodeterminação do prestador de serviço.

Considerações prévias sobre o prazo

Uma meta compõe-se de dois elementos: designadamente um **valor alvo** que é um nível de desempenho expresso em por exemplo em (%), ou (l/lig.dia) e um **prazo** correspondente para alcançá-lo. Os prazos devem ser definidos com razoabilidade e devem ser factíveis. O tema do valor alvo foi abordado na PARTE 1 - MODELO DO NÍVEL ECONÔMICO.

Reavaliação e revisão do prazo

O modelo de Wyatt é estático e a realidade é dinâmica, motivos pelos quais o nível ótimo de perdas precisa de ser recalculado ciclicamente.

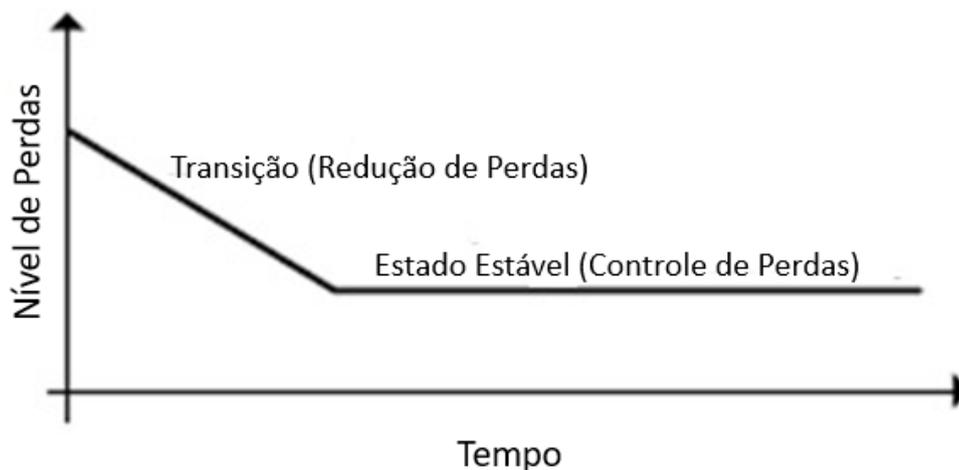
O prazo deve ser revisto caso haja alterações significativas nos dados de entrada no modelo, conforme as descritas no subcapítulo Reavaliação e revisão do nível econômico (pág. 99).

O período de transição até chegar ao nível ótimo de perdas

A gestão de perdas se divide entre dois períodos, designadamente o período de transição correspondente à redução de perdas de água, e o período de controle e manutenção do nível de

perdas, onde se combate a taxa natural de crescimento de perdas, conforme ilustrado na seguinte figura:

Figura 22 – Períodos de transição e manutenção do nível de perdas



Nos subcapítulos seguintes serão feitas considerações sobre o tempo adequado para o período de transição.

Estabelecer um prazo adequado para o período de transição é relevante, pois falhas nessa determinação podem conduzir a punições indevidas para as companhias de saneamento e prejuízos para a sociedade.

A responsabilidade compartilhada dos níveis de perdas de água entre vários ciclos de administração

A obtenção de bons desempenhos na redução das perdas de água em sistemas de abastecimento não é fruto de um único esforço, ou de investimento pontual. Alcançar um nível considerado eficiente no controle das perdas de água requer anos consecutivos de aprimoramento, perpassando diversos ciclos de administração que incidem na gestão estruturante e que conduzem à melhoria na operação ou à manutenção do sistema em boas condições.

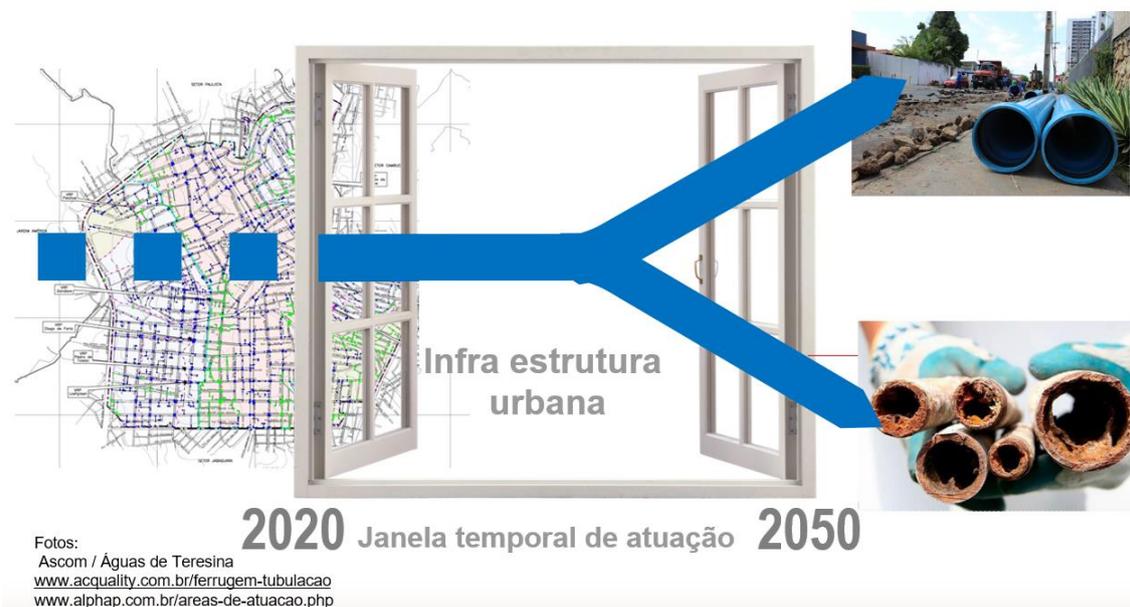
Os prestadores de serviço recebem um conjunto de infraestruturas para operar e gerir durante o seu ciclo de gestão. No final do período de administração entregam o conjunto de infraestruturas em igual estado de conservação e de desempenho, ou em melhores, ou em piores condições.

É desejável que os gestores entreguem as redes, os ramais de ligação e o parque de hidrômetros em melhores condições do que receberam, de modo que em algum momento seja possível operar o sistema em regime de eficiência e para adequar a prestação do serviço às evoluções tecnológicas disponíveis e econômicas.

Cada ciclo de administração tem uma janela temporal de atuação e as suas ações condicionam o desempenho das administrações futuras. O desempenho atual da rede também é fruto das decisões das administrações passadas.

Considerando que os hidrômetros possuem vida útil (física) de 10 anos, é possível afirmar que o atual nível de submedição é da responsabilidade de 2,5 ciclos de gestão de administração pública (ciclos de 4 anos). 2,5 administrações são responsáveis pelo desempenho atual e futuro dos hidrômetros e não apenas os gestores que divulgam o seu nível de perdas de submedição nesse ano. De modo análogo, as tubulações têm uma vida útil de 50 anos, então a responsabilidade é compartilhada entre 12,5 administrações consecutivas pelo desempenho atual e futuro da rede e não apenas os gestores atuais.

Figura 23 – Janela temporal de atuação de um ciclo de gestão e possíveis legados para o próximo ciclo de gestão (adaptado de slide Helena Alegre)



Prazo adequado para alcançar a submedição ótima e reposição de hidrômetros

As **perdas aparentes por submedição** estão diretamente correlacionadas à imprecisão de medição dos hidrômetros, que por sua vez está correlacionada com a duração e as condições de uso dos hidrômetros, assim como a composição do parque de hidrômetros (volumétricos e velocimétricos). A duração do uso dos hidrômetros está associada à idade dos mesmos e quanto mais velho for um hidrômetro, maior é a imprecisão e submedição da água entregue ao cliente.

O prazo para reposição do parque de hidrômetros é de no máximo a sua vida útil (V_U) (cerca de 5 a 20 anos)³⁴, porém, tendo em vista o nível econômico ótimo de submedição, a vida útil do hidrômetro é encurtada até ao ano, a partir do qual começa a causar um subfaturamento de água significativo (V_{Uot}).

Conhecendo o nível ótimo de submedição usando a Equação 36 – Nível econômico ótimo de perdas por submedição evitáveis (traduzida 31 de Wyatt, 2010), e a curva s de decaimento na submedição, se determina a vida útil econômica dos hidrômetros.

Os parques de hidrômetros teriam de ser substituídos no prazo da vida útil econômica (V_{Uot}).

Anotação 7 sobre a troca de hidrômetros no prazo da vida útil econômica

Em média, e estatisticamente, a afirmação acima é correta, porém no particular existem situações que não justificam a troca de hidrômetros em 4 anos (por exemplo em casas desocupadas, ou usadas só nos finais de semana). Nestes casos é útil considerar também a totalização real e referencial do medidor em m^3 , definindo limites econômicos de desgaste tanto para medidores comuns quanto para grandes consumidores. A Nota Técnica SABESP NTS 281 de 2011 traz uma aplicação prática e objetiva para esta situação.

³⁴ Dependendo da composição do parque de hidrômetros

Se o parque de hidrômetros fosse uma mistura homogênea, com idades variando entre 0 e a vida útil (V_U) (anos), pode-se afirmar que a idade média do parque de hidrômetros é:

Equação 109 – Relação idade média ótima e vida útil

$$I_M = \frac{V_U}{2}$$

onde

I_M é a idade média do parque de hidrômetros (anos)

V_U é a vida útil do parque de hidrômetros (anos)

A equação em cima é válida para as condições ótimas de submedição:

Equação 110 – Relação idade média ótima e vida útil econômica

$$I_{Mot} = \frac{V_{Uot}}{2}$$

onde

I_{Mot} é a idade média ótima do parque de hidrômetros (anos)

V_{Uot} é a vida útil ótima do parque de hidrômetros (anos)

A idade média do parque de hidrômetros tem a seguinte relação com a taxa de reposição anual

Equação 111 – Taxa anual ótima de reposição de hidrômetros

$$tx_{rep} = \frac{1}{V_U}$$

Onde

tx_{rep} é a taxa de reposição de hidrômetros (%/ano)

V_U é a vida útil dos hidrômetros (anos)

Com base nesta relação pode-se estabelecer o prazo adequado para redução de perdas por submedição o que equivale à reposição do parque de hidrômetros apresentado na seguinte tabela.

Tabela 38 – Adequação do prazo de reposição do parque de hidrômetros

Adequação do prazo de reposição do parque de hidrômetros	Duração do prazo	Impacto no parque de hidrômetros e na submedição
Prazo inadequado	Prazo superior à vida útil ótima ($> V_{Uot}$)	Assiste-se a uma degradação acelerada do parque de hidrômetros e a submedição aumenta rapidamente. Nunca será atingido o nível ótimo de submedição.
Prazo inadequado	Prazo superior à idade média ótima (I_{Mot}) e inferior à vida útil ótima (V_{Uot})	Assiste-se a uma degradação do parque de hidrômetros e a submedição aumenta gradualmente. Nunca será atingido o nível ótimo de submedição.

	Prazo entre $[I_{Mot}, V_{Uot}]$	
Prazo inadequado	Prazo ≈ 0 ou muito curtos	Assiste-se a um rejuvenescimento rápido do parque de hidrômetros e a submedição melhora de modo quase imediato. A desvantagem de prazos curtos (1, 2 anos) é que exige picos de investimentos, que podem comprometer a liquidez atual e futura da companhia no momento de repetir a reposição desse lote de hidrômetros.
Prazo ideal para o período de transição	Prazo inferior à idade média ótima ($< I_{Mot}$)	Assiste-se a um rejuvenescimento do parque de hidrômetros e a submedição regride gradualmente. Em um prazo cujo limite é $\approx I_{Mot}$ será atingido o nível ótimo de submedição.
Prazo ideal para o período de manutenção	Prazo igual à vida útil ótima ($= V_{Uot}$)	Assiste-se a uma estabilização da idade média do parque de hidrômetros e a submedição está controlada e estável. Os hidrômetros são substituídos com uma taxa anual ótima ($t_{xrep_ótima}$) Equação 111

Exemplo de prazo adequado para um determinado nível ótimo de submedição

No seguinte exemplo o nível ótimo de submedição é de 6% ($\ell_{evit_ótimo}$), (valor obtido usando a Equação 36 e o parque de hidrômetros se caracteriza com a seguinte curva abaixo, de decaimento na submedição.

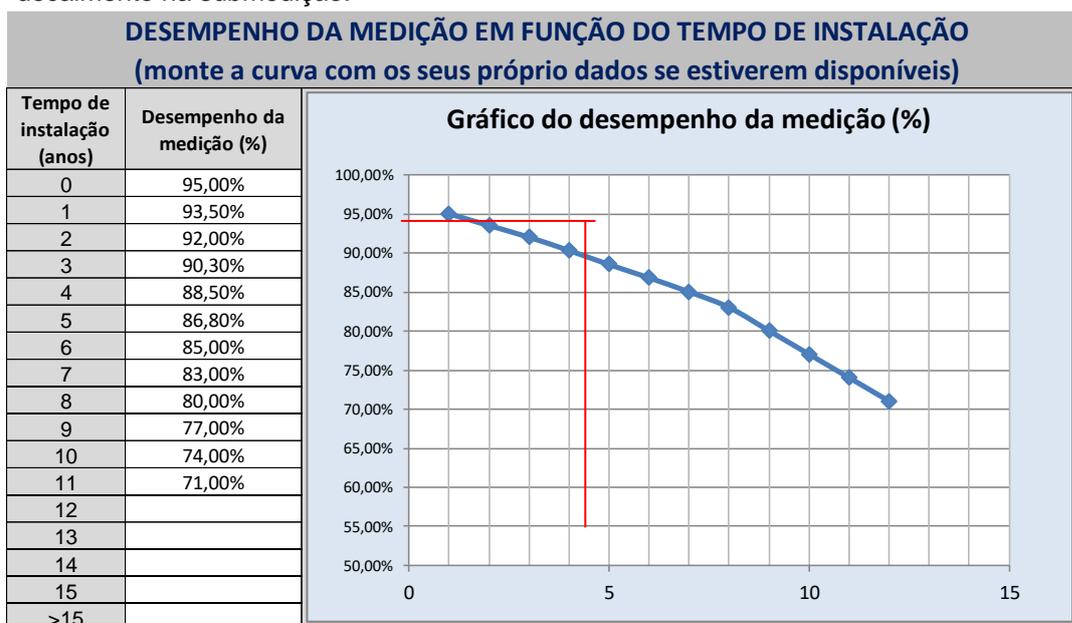


Gráfico 16 – Curva de submedição de parque de hidrômetros (Fonte: Airton Sampaio)

De acordo com o gráfico acima a vida útil deste tipo hidrômetros (ou parque hidrômetros) de 12 anos (V_U).

Partindo da submedição inicial de 5% (ℓ_{inevit}) e combinando o nível ótimo 6% ($\ell_{sub_ótimo}$) com a curva de decaimento se conclui que vida útil econômica dos hidrômetros de 4,5 anos (V_{Uot}).

O prazo para chegar à submedição ótima tem de ser inferior ou igual a 4,5 anos (V_{Uot}). Idealmente assume 2,25 anos ($V_{Uot}/2$) para o período de transição.

Uma vida útil econômica dos hidrômetros de 4,5 anos (V_{Uot}) significa que a média do parque de hidrômetros tem essa idade e que todo o parque de hidrômetros teria de ser substituído em um

prazo de 9 anos ($2x V_{Uot}$). Significa também que metade do parque de hidrômetros tem menos de 4,5 anos e a outra metade mais de 4,5 anos.³⁵

A taxa de substituição de hidrômetros deveria ser de 11% ao ano ($1/ V_{Uot}$) para manter a idade média de 4,5 anos, em equipamentos que têm uma vida econômica máxima de 9 anos ($2x V_{Uot}$). A taxa anual de substituição é ideal para manter o parque.

Se o prestador substituir hidrômetros com uma taxa inferior a 11% /ano ($tx_{rep_ótima}$) será uma prática que envelhece o parque e piora a submedição.

Se o prestador substituir hidrômetros com uma taxa superior a 11% /ano ($tx_{rep_ótima}$) será uma prática que resulta em picos de investimento que precisa de ser repetido ciclicamente após o final da vida útil desse lote de hidrômetros.

Prazo adequado para regularizar usos clandestinos de água

As ligações clandestinas dentro do tecido urbano são perdas aparentes e atualmente a sua regularização é um desafio para as prefeituras e os prestadores de serviço. Elas são difíceis de cadastrar e constituem pontos de atenção, pois trazem risco ao abastecimento de água, no que se refere a garantia das pressões disponíveis nas redes para abastecimento, além de perigos de contaminação da água. Vislumbra-se a necessidade de ações para minimizar as perdas aparentes, tais como: programas sociais que incluam os cidadãos nas discussões; e que evidenciem a importância de cada usuário para os prestadores de serviços; ambos com o objetivo de internalizar cultura de regularização dos serviços essenciais.

Estabelecer um prazo adequado para a regularizar as perdas aparentes de água consideradas clandestinas relativamente às áreas urbanas irregulares deverá ser acordado com a prefeitura, pois cabe à prefeitura a regularização fundiária do solo.

Considera-se que o prazo de 2-3 anos é suficiente para chegar a um consenso entre prestador de serviço e prefeitura na abordagem da água fornecida em áreas com ocupação clandestina.

Prazo adequado para alcançar um nível de fraudes aceitável

Práticas internas insuficientes no controle de fraudes durante um ciclo de gestão não são expressivas, porém o descuido continuado no controle de fraudes acumula volumes e níveis de perdas crescentes nos ciclos de gestão sucessivos.

A inspeção de ligações fraudulentas e das violações de hidrômetros corresponde a verificar por amostragem a rede em um ano ou em dois, acompanhando a atividade do leiturista.

Caso existam no sistema de abastecimento fraudes acima do nível econômico, é adequado intensificar a fiscalização até reduzir a níveis econômicos.

Considera-se que 3 anos é suficiente para alcançar níveis econômicos de fraudes, sendo o primeiro ano para fazer o levantamento por amostragem do nível de fraudes existentes e o segundo e terceiro para redução das fraudes financeiramente viáveis de se combater.

³⁵ Em termos operacionais de troca de hidrômetros recomenda-se uma análise segmentada por faixas de consumo (por exemplo: baixos consumos, casas desocupadas, ou de fim de semana). Também devem ser diferenciados os hidrômetros que caem na estrutura tarifária com consumo mínimo (10m³ por exemplo).

Prazo adequado para alcançar minimizar falhas de cadastro

Práticas internas insuficientes no controle do cadastro de clientes durante um ciclo de gestão não são expressivos, porém o descuido continuado da base de dados comercial acumula volumes e níveis de perdas crescentes nos ciclos de gestão sucessivos.

Sobre as falhas de cadastro, a metodologia ACERTAR³⁶ confere um grau de confiança, entre 1 e 3 às informações reportadas ao SNIS. Para obter a confiança máxima (3) é necessário ter implementado plenamente os processos previstos nos testes de controle (CT) associados. No caso da informação do SNIS – AG002 – Quantidade de ligações ativas de água (ligações), corresponde aos seguintes cinco controles:

- CT001 – Políticas, normas e/ou procedimentos do processo de cadastro e classificação (...);
- CT002 – Segregação de funções para as atividades críticas do processo de cadastro e classificação;
- CT005 – Consistências automáticas para restringir o cadastramento de clientes em duplicidade e/ou o preenchimento incorreto;
- CT006 – Atualização tempestiva do cadastro com base nas informações verificadas em campo (...);
- CT008 – Monitoramento periódico da base cadastral – usuários enquadrados nos critérios adequados.

Considera-se que um a dois anos é suficiente para que a companhia adote estes procedimentos de modo a melhorar as práticas internas que visem minimizar **fraudes** (de ligações ou violações de hidrômetro) e **falhas de cadastro**, assim como **ausência de faturamento de consumos** indevidos. O segundo ano serve para consolidar as novas práticas adotadas.

Prazo adequado para gestão de pressões satisfatória

Como a gestão de pressões é uma medida que possibilita em muitos casos reduzir as perdas significativamente e de modo imediato, o prazo aceitável para implementar esta medida é razoavelmente curto. O período de um a dois anos é suficiente, para elaborar o cadastro, realizar a setorização e implantar a telemetria, e colocar inteligência nos comandos de gestão de pressões. Um terceiro ano serve para consolidar as novas práticas adotadas.

³⁶ http://abar.org.br/wp-content/uploads/2017/12/2.Guia_Certificac%CC%A7a%CC%83o_AgenciasReguladoras.pdf

Se o prestador conseguir atingir o nível econômico de perdas no seu sistema apenas com a adequação de pressões significa que atingiu a fase de manutenção de perdas (indicada na Figura 22) e pode se dedicar à conservação das redes³⁷.

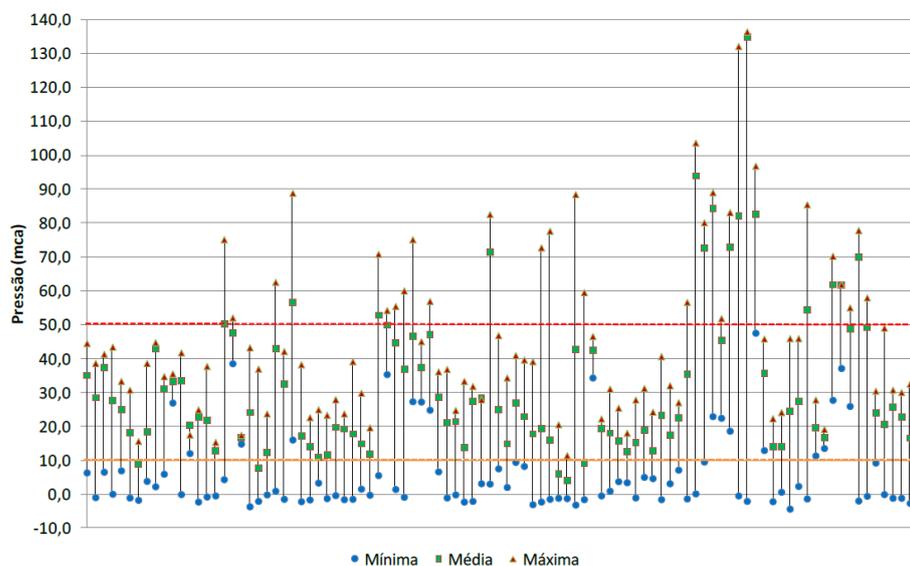


Gráfico 17 – Amplitude de pressões na rede – pontos monitorados

Fonte da imagem: Manzi D., *et all* – Emprego da pressão na rede de distribuição enquanto indicador da qualidade (...)

Prazo adequado para alcançar conservação das infraestruturas

A **conservação de redes e ramais** está correlacionada com a estanqueidade das tubulações, que está associada com a idade das infraestruturas. Quanto mais velhas são as infraestruturas, pior o seu estado de conservação e a estanqueidade associada. Os impactos da reabilitação e substituição das tubulações no nível de perdas reais não são expressivos no atual ciclo de gestão, mas afetam cumulativamente o desempenho de aproximadamente 12 ciclos de gestão seguintes (40-50 anos).

O prazo para reposição da rede é no máximo a sua vida útil, porém, tendo em conta o nível econômico ótimo de perdas reais, a vida útil das redes é encurtada até ao limite a partir do qual começa a causar custos que superam os de produção e de expansão do sistema.

Anotação 8 sobre da vida útil das tubulações e da rede

Considera-se que ainda existem poucos estudos sobre a vida útil das redes. A rede (um sistema) é constituída por componentes (ramais, tubulações, adutoras, juntas), onde cada componente tem uma vida útil diferente. Algumas componentes (dependendo dos materiais) podem ter vidas úteis de 100 anos, mas isso não significa que a rede estará intacta por todo esse período e que mantenha o seu nível de estanqueidade.

Como analogia, podemos comparar uma rede a um edifício, cujo sistema seria composto por paredes, portas, janelas, telhado etc. Tijolos ou as pedras têm vida útil longa, mas o material que os liga ou as capas de pintura, não têm a mesma vida útil. Um edifício degrada-se facilmente num período de 30-40 anos se não tiver a manutenção adequada, perdendo assim as suas características de habitabilidade nos padrões desejados. Analogamente, a rede perde suas características de estanqueidade e o padrão da

³⁷ Em uma situação de pressões alteradas, deve ser recalculado o nível econômico de perdas reais para as novas pressões de operação. O nível econômico de perdas poderá ter se deslocado.

qualidade do serviço desejado, pelo que é necessário ter fatores como estes em conta ao usar um número determinado de anos como vida útil da rede.

A estanqueidade da rede e dos ramais precisa de ser restaurada independentemente da gestão de pressões. Por meio da fadiga dos materiais e ao longo da vida útil da infraestrutura, a estanqueidade é reduzida à medida que a idade de operação dos materiais aumenta.

Assim, o prestador de serviço não deverá realizar apenas a redução de pressões ou a conservação de redes. Ambas as frentes de trabalho são necessárias e devem ser realizadas paralelamente.

A idade média da rede é determinada através da seguinte fórmula:

Equação 112 - Idade média da rede

$$I_{Mred} = \frac{\sum l_i * i_i}{L}$$

onde

I_{Mred} – idade média da rede de abastecimento (anos)

l_i - trecho i da rede (km)

i_i – idade do trecho i da rede (anos)

L - comprimento total rede, que corresponde ao somatório dos trechos i (km)

A idade média do parque da rede tem a seguinte relação com a taxa de reposição anual

Equação 113 - Taxa anual de reposição da rede

$$tx_{reposição\ da\ rede} = \frac{1}{V_U}$$

Onde

tx_{rep} é a taxa de reposição da rede (%/ano)

V_U é a vida útil da rede (anos)

Analogamente aos hidrômetros (Tabela 38) e com base na relação entre idade média e vida útil analisa-se a adequação dos prazos para a renovação da rede. A análise é apresentada na seguinte tabela:

Tabela 39 - Adequação do prazo de reposição da rede e ramais conhecendo a vida útil das tubulações

Adequação do prazo de reposição da rede e de ramais	Duração do prazo	Impacto na rede e ramais de ligação
Prazo inadequado para o período de transição	Prazo superior à vida útil da rede (> V_U)	Assiste-se a uma degradação exponencial da rede e ramais. Nunca será atingido o nível ótimo de perdas reais. Não existe reabilitação útil das infraestruturas. Em algum momento o sistema colapsa e precisa de ser construído / repostado na sua totalidade. Taxas de reposição da rede de 0,5%/ano, significa que a rede é repostada a cada 200 anos; 1,0%/ano a cada 100 anos e 2,0%/ano a cada 50 anos.

<p>Prazo inadequado para o período de transição</p>	<p>Prazo superior à idade média ótima ($> I_M$) e inferior à vida útil ($< V_U$)</p> <p>Prazo entre $[I_M; V_U]$</p>	<p>Assiste-se a uma degradação da rede e ramais e os vazamentos por falta de estanqueidade aumentam gradualmente. O aumento é mais suave do que na situação anterior (no prazo $> V_U$).</p> <p>Nunca será atingido o nível ótimo de perdas reais.</p>
<p>Prazo inadequado para o período de transição</p>	<p>Prazo ≈ 0 ou muito curtos</p>	<p>Assiste-se a um rejuvenescimento rápido da rede e dos ramais. As perdas reais reduzem de modo imediato.</p> <p>A desvantagem de prazos curtos é que exige picos de investimentos, que podem comprometer a liquidez atual e futura da companhia no momento de repetir a reposição. Constitui uma sobrecarga para o ambiente urbano ter tantas obras em simultâneo.</p> <p>Pode ocorrer a necessidade de recursos financeiros superiores à capacidade de investimento e/ou endividamento da companhia. A companhia pode encontrar-se numa armadilha de baixa eficiência (<i>low-efficiency-trap</i>) da qual não consegue sair. Também podem existir impedimentos legais que comprometam a execução anual ou que limite a execução das ações necessárias (prazos de contratações, consultas públicas, etc.).</p>
<p>Prazo ideal para o período de transição</p>	<p>Prazo inferior à idade média ($< I_M$)</p>	<p>Assiste-se a um rejuvenescimento da rede e ramais e as perdas reais regridem gradualmente. Em um prazo próximo da idade média da rede ($\approx I_M$) será atingido o nível ótimo de perdas reais.</p> <p>Caso a idade média inicial seja bastante nova (até 15 anos por exemplo), o problema das perdas pode ser o tipo de material utilizado ou as condições de instalação. Não se trata do envelhecimento normal das infraestruturas.</p> <p>O rejuvenescimento da rede ocorre com a seguinte taxa anual de reposição:</p> $tx_{rep\text{-período de transição}} = \frac{1}{V_T}$ <p>Onde</p> <p>tx_{rep} é a taxa de reposição de rede no período de transição (%de km/ano)</p> <p>V_T é o período de transição (anos).</p> <p>Se o prazo for 25 anos a reposição da rede é 4,0%/ano; 20 anos – 5,0%/ano, 15 anos – 6,7%/ano; 10 anos – 10,0%/ano, 5 anos – 20,0%/ano. Note que quanto mais apertado for o prazo, mais recursos financeiros são requeridos num curto espaço de tempo. O investimento deve estrar balanceado com a capacidade de financiamento da companhia.</p>
<p>Prazo ideal para o período de manutenção</p>	<p>Prazo igual à vida útil ($= V_U$)</p>	<p>Ocorre a estabilização da idade média da rede e ramais e as perdas reais estão controladas e estáveis. A rede é substituída com uma taxa anual de:</p> $tx_{rep} = \frac{1}{V_U}$ <p>Onde</p> <p>tx_{rep} é a taxa de reposição de rede (%de km/ano)</p> <p>V_{Uot} é a vida útil das tubulações (anos).</p> <p>Os ramais são substituídos com uma taxa anual de:</p> $tx_{rep} = \frac{1}{V_{Uot}}$ <p>Onde</p> <p>tx_{rep} é a taxa de reposição de ramais de ligação (%/ano)</p>

V_{Uot} é a vida útil dos ramais (anos).

A reposição de ramais de ligação

A reposição dos ramais de ligação segue é análogo ao capítulo anterior e segue a lógica da reposição da rede de distribuição de água.

Prazo adequado para alcançar consolidar procedimentos das informações do balanço hídrico

A primeira dificuldade para saber quanto falta para chegar aos níveis econômicos de perdas é dispor de um balanço hídrico confiável. Adotar valores genéricos ou médios para estimar a proporção entre perda real e aparente (60/40, 70/30, etc) gera estimativas de investimentos distorcidos. É conveniente que o ponto de partida seja o mais próximo da realidade possível, o que exige dados operacionais da distribuição e do parque de hidrômetros.

Frequentemente as séries temporais (históricas) do indicador de perdas (%) IN49 do SNIS têm variações de amplitude significativa. A principal origem dessa variância está associada a técnicos diferentes que carregam os dados, com percepções subjetivas e abordagens diferentes em relação ao balanço hídrico.

O estabelecimento de procedimentos para registro do processo de coleta de dados e cálculo de cada uma das componentes do balanço hídrico é essencial para uma sistematização da abordagem do controle de perdas, de modo a garantir a consistência nos valores obtidos em cada ano.

Naturalmente as metodologias podem evoluir para versões mais confiáveis e mais ajustadas à realidade. É certo que melhores dados causam algumas descontinuidades, mas com o registro dos procedimentos os saltos não são tão erráticos e as alterações das metodologias são rastreáveis por serem registradas e escritas. Um determinado técnico deve conseguir interpretar os procedimentos e apurar o mesmo valor calculado por outro técnico. O balanço hídrico deve ser replicável quando calculados por dois técnicos diferentes dentro de um mesmo prestador de serviço.

Deverá ser definido um procedimento para cada uma das componentes do balanço hídrico assinaladas em verde, no total de 11. As restantes componentes são obtidas por cálculos a partir das anteriores:

Água entrada no sistema (corrigida)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido	Água faturada
			Consumo faturado não medido	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado	
			Erros de medição	
		Perdas reais	Perdas reais nas condutas de água bruta e nas estações de tratamento (caso aplicável)	
			Vazamentos em adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos e extravasamentos nos	

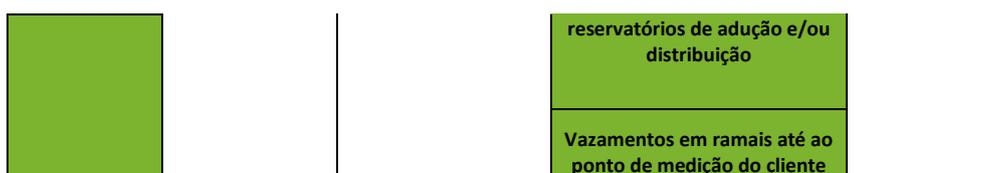


Figura 24 – Componentes do Balanço hídrico

Em cada procedimento é necessário indicar os pressupostos, a origem dos dados e a forma de cálculo da respetiva componente. Estes aspetos deverão ser verificados durante o período a que se refere o cálculo do balanço hídrico. Caso os pressupostos no nível do sistema não sejam aplicáveis ao nível dos subsistemas, tal fato deve ser assinalado.

Existem diversas planilhas de cálculo auxiliar e de definição de procedimentos que poderão ajudar a estabelecer práticas que permitam gerar séries temporais consistentes.

O prazo para registrar os procedimentos do cálculo do balanço hídrico não deve ser superior a um ano, de modo a dar mais confiança aos valores das séries temporais que se constrói. Isso não impede de aprimorar os procedimentos ano a ano refletindo cada vez mais a realidade de cada componente do balanço hídrico³⁸.

Existem algumas sinergias com os procedimentos descritos na metodologia ACERTAR. Especificamente 5 informações do SNIS são relevantes, e respectivos 31 procedimentos especificados em testes de controle (CT):

AG006 – Volume de água produzido (1000m³/ano)

- CT089 – Políticas, normas e/ou procedimentos sobre atividades críticas do processo operacional;
- CT090 – Procedimentos definidos para acessos ao sistema operacional [...];
- CT091 – Monitoramento das transações críticas do processo operacional através da revisão periódica do “log” do sistema aplicativo [...];
- CT092 – Macromedição dos volumes de água produzido;
- CT098 – Procedimento definido para realização periódica de calibrações nos macromedidores dos sistemas de abastecimento de água;
- CT100 – Acompanhamento dos volumes macromedidos/estimados do sistema de abastecimento de água;

AG010 – Volume de água consumido (1000m³/ano)

- CT003 – Procedimentos definidos para acessos ao sistema comercial, - somente usuários autorizados com acesso [...];
- CT004 – atributo 2 excessivo – Monitoramento das transações críticas do processo comercial através da revisão periódica do “log” do sistema aplicativo [...];
- CT009 – Hidrometração das ligações ativas de água, incluindo aquelas que possuem fonte de abastecimento alternativa;
- CT010 – Monitoramento da periodicidade de instalação/ verificação dos hidrômetros;
- CT011 – (consumidor de tempo) Políticas, procedimentos e normas das atividades críticas dos Processos de Leitura e Faturamento;
- CT013 – Definição formal de níveis e limites de autoridade para as atividades críticas dos processos de leitura e faturamento [...];
- CT014 – (consumidor de tempo) – Registro das leituras dos consumidores através de dispositivos automatizados [...] apresentando críticas quanto aos valores medidos;
- CT016 – Faturamento automático dos clientes de acordo com as leituras registradas [...];
- CT017 – Análise crítica das retificações de conta ocorridas no ciclo de faturamento;

³⁸ Se recomenda a “Série Balanço Hídrico” da aesbe disponível em https://aesbe.org.br/guias_praticos/ (consulta abril 2020)

AG018 – Volume de água tratada importado (1000m³/ano)

- CT093 –Macromedição dos volumes de água tratada importados;

AG024 – Volume de água de serviço (1000m³/ano)

- CT102 –Acompanhamento dos volumes do consumo destinado a atividades especiais
- CT103 –Acompanhamento dos volumes do consumo destinado a atividades operacionais [...];
- CT104 – Existência de procedimento definido para estimativa e registro do volume de água recuperado;

Considera-se que um ano a dois anos é tempo suficiente para que a companhia adote estes procedimentos para melhorar as práticas internas visando dar uma maior confiança ao balanço hídrico. O segundo ano serve para consolidar as novas práticas adotadas.

Prazo adequado para obter informações razoáveis sobre o inventário e cadastro da rede, ligações e hidrômetros

Ter informações sólidas e confiáveis é uma condição base para obter estudos com melhores resultados. Entre essas informações, é imprescindível um inventário e cadastro da rede e de ligações assim como de usuários.

No cadastro da rede é relevante ter informações sobre a idade, reposições, materiais, diâmetros, e níveis de rupturas.

Além das características anteriores, a metodologia ACERTAR prevê requisitos mínimos que são enquadráveis e fundamentais no âmbito da gestão de perdas de água. Nestes testes de controle (CT) o prestador deveria atingir o nível “implementado”.

Os procedimentos do ACERTAR com especial relevância no cadastro de redes são:

AG021 – Extensão da rede de água (km)

- CT82 – Políticas, normas e/ou procedimentos [...] de manutenção do cadastro de redes, tais como: Conferência e aprovação da documentação [...] das obras de ampliação e substituição das redes [...]; arquivamento de plantas as built e [...] atualizações no cadastro;
- CT83 – Segregação de funções [...] da execução das obras de ampliação e substituição das redes de água e esgoto e [...] alterações no cadastro de redes;
- CT84 – Aprovação formal das plantas as built [...] e arquivamento junto à documentação da obra;
- CT86 – Existência de cadastro de redes em sistema de informações georreferenciadas, possibilitando o cálculo automático da extensão de rede [...];
- CT88 – Rotinas sistêmicas para crítica das informações de extensão de rede, avaliando e sinalizando distorções e valores incompatíveis com as obras realizadas, bem como variações não usuais em um curto período;

AG002 – Quantidade de ligações ativas de água (ligações):

- CT001 – Políticas, normas e/ou procedimentos do processo de cadastro e classificação [...];
- CT002 – Segregação de funções para as atividades críticas do processo de cadastro e classificação;
- CT005 – Consistências automáticas para restringir o cadastramento de clientes em duplicidade e/ou o preenchimento incorreto;
- CT006 – Atualização tempestiva do cadastro com base nas informações verificadas em campo [...];
- CT008 –Monitoramento periódico da base cadastral – usuários enquadrados nos critérios adequados.

Os procedimentos do ACERTAR com especial relevância no cadastro de usuários, ligações e leituras de hidrômetros são:

- CT01 – [...] procedimentos formalmente definidos, [...] que contemplem [...] atividades críticas do processo de cadastro e classificação, tais como: - Cadastro e classificação de novos usuários; Cadastro de ligações, economias e imóveis; - Cadastro de hidrômetros [...];
- CT5 – Consistências automáticas para restringir o cadastramento de clientes em duplicidade e/ou o preenchimento incorreto de campos-chave (exemplos: razão social, CNPJ/CPF, endereço, inscrição do imóvel);
- CT06 – Atualização tempestiva do cadastro com base nas informações verificadas em campo pelos agentes fiscalizadores, a partir de vínculo sistêmico com o fechamento da Ordem de Serviço correspondente;
- CT08 – Monitoramento periódico da base cadastral, verificando se os usuários estão enquadrados nos critérios adequados;
- CT09 – Hidrometração das ligações ativas de água, incluindo aquelas que possuem fonte de abastecimento alternativa;
- CT 10 – Monitoramento da periodicidade de instalação/ verificação dos hidrômetros;
- CT11 – [...] procedimentos [...] formalmente definidos, [...], que contemplem, [...] os responsáveis, os prazos e a descrição das atividades críticas dos Processos de Leitura e Faturamento, tais como: i) Definição de cronograma de leitura e de meios de carregamento e retorno dos dados; ii) Leitura de hidrômetros e faturamento por média e consumo mínimo; iii) Parâmetros para alteração e validação dos dados de leitura e faturamento; - Retificação e cancelamento de faturas; iv) Registro de tarifas no sistema comercial.

Considera-se que um ano a dois anos é tempo suficiente para que a companhia adote estes procedimentos para melhorar as práticas internas visando dar uma maior confiança às informações da rede e ramais. O segundo ano serve para consolidar as novas práticas adotadas.

Prazo adequado para realização de estudos setoriais básicos

Existem vários estudos setoriais na área de perdas que aprimoram a adesão do balanço hídrico à realidade ou que permitem priorizar as medidas de controle de perdas. Entre esses estudos encontram-se os seguintes possíveis:

- Desempenho do parque de hidrômetros – decaimento do erro de submedição;
- Nível de submedição por abastecimento em baixas vazões causadas pelas válvulas de boia nas caixas de água;
- Inventário e cadastro da rede e de ramais de ligação;
- Taxa natural de crescimento de perdas reais – desempenho da rede – decaimento da estanqueidade dos materiais e juntas;
- Estudos sobre a adequação das pressões na rede;
- Estudo de parâmetros Wyatt como os coeficientes de perdas de base e vazamentos reportados (alfa e beta) e Custos de expansão do sistema;
- Elaboração da linha base nas perdas, com usos para medição de performance (uso do PMIVP – Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance);
- Estudo de volumes de abastecimento de água em áreas urbanas irregulares;
- Estudo sobre a existência de fraudes por amostragem;
- Outros.

A disponibilidade e existência destes estudos pode fazer com que seja necessário rever os atuais níveis econômicos das várias componentes de perdas bem como os prazos.

Para alguns dos itens acima listados se fazem algumas considerações adicionais.

Caracterização do parque de hidrômetros – Desempenho e decaimento do erro de submedição

Cada parque de hidrômetros é constituído por uma população de hidrômetros que precisa ser caracterizada. À medida que os hidrômetros envelhecem aumenta o erro de submedição. A obtenção da intensidade do decaimento do desempenho é necessária para calcular o nível ótimo de perdas aparentes por submedição usado no modelo de Wyatt.

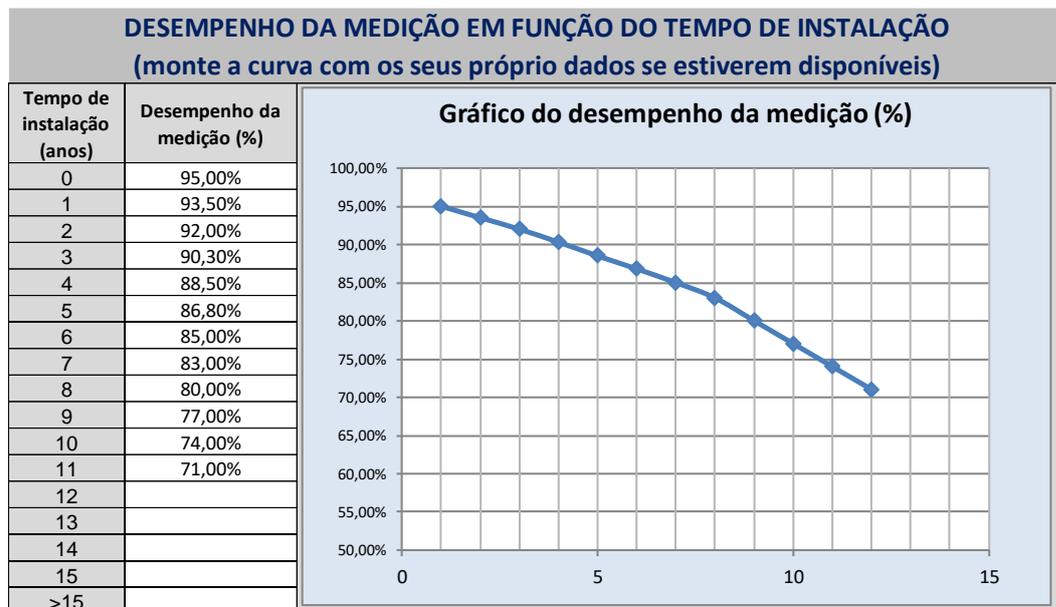


Gráfico 18 – Curva de submedição do parque de hidrômetros com base em amostra representativa (Fonte: Airton Sampaio)

Outros estudos sobre o parque de hidrômetros são necessários para uma melhor gestão do parque que permitem priorizar as substituições. Esses estudos incluem análises de:

- tipo de utilizador (residencial, industrial, comercial, público) e nível de hidrometração;
- faixas de consumo (até 5 m³, entre 5 e 10 m³, entre 10 e 15 m³ etc.) e nível de hidrometração;
- hidrômetros por classe metrológica, modelo e idade distinguindo doméstico e grandes consumidores;
- outros.

Uma análise mais apurada de um parque de medidores envolve a estratificação do rol em função de suas variáveis mais significativas³⁹, considerando as características locais para amostragem e ensaios de laboratório, e para determinação de um erro médio ponderado do parque.

Um parque de 125.681 medidores, por exemplo, pode ser estratificado na seguinte forma:

Tabela 40 – Exemplo – estratificação de medidores

Estrato	Tipo	Faixa	Idade	Quantidade	Proporção
1	Unijato	0 a 10m ³	Abaixo de 4 anos	28908	23%
2			Acima de 4 anos	20109	16%

³⁹ Nota: alguns locais possuem pequena variação do tempo de instalação de medidores, como resultado de trocas massivas ou processos de urbanização, sendo mais importantes outras variáveis, como fabricante ou volume acumulado.

3			Abaixo de 4 anos	10054	8%
4		10 a 30m ³	Acima de 4 anos	6284	5%
5		Acima de	Abaixo de 4 anos	2513	2%
6		30m ³	Acima de 4 anos	1257	1%
7			Abaixo de 7 anos	30164	24%
8		0 a 10m ³	Acima de 7 anos	10054	8%
9	Multijato		Abaixo de 7 anos	7541	6%
10		10 a 30m ³	Acima de 7 anos	5027	4%
11		Acima de	Abaixo de 7 anos	2513	2%
12		30m ³	Acima de 7 anos	1257	1%
			Total	125681	100%

A definição da quantidade de amostras para cada extrato envolve análises estatísticas e depende do tamanho da população e do nível de significância exigida na análise, normalmente entre 90% e 95%. A norma NBR 5426:1985 estabelece Planos de Amostragem e pode apoiar a definição da quantidade de amostras para dada população de medidores em um extrato, em função do Nível de Qualidade Aceitável (NQA) exigido.

Considerando para a estratificação proposta um Nível Geral de Inspeção Tipo II e Controle Simples, conforme NBR 5426:1985, a quantidade de medidores a avaliar para o desempenho metrológico do parque pode ser composto por um total de 2.675 hidrômetros, ou apenas 2,1% do total instalado.

Tabela 41 – Exemplo – Plano de amostragem de medidores

Estrato	Quantidade	Código de Inspeção	Amostras	Proporção
1	28908	M	315	1,1%
2	20109	M	315	1,6%
3	10054	M	315	3,1%
4	6284	L	200	3,2%
5	2513	K	125	5,0%
6	1257	K	125	9,9%
7	30164	M	315	1,0%
8	10054	M	315	3,1%
9	7541	L	200	2,7%
10	5027	L	200	4,0%
11	2513	K	125	5,0%
12	1257	K	125	9,9%
Total	125681	-	2675	2,1%

A determinação do desempenho médio do parque é possível a partir do conhecimento dos erros de medição em cada um dos estratos, por meio de dados estatísticos (de preferência locais) ou por meio da retirada de medidores em campo para inspeção em laboratório.

A Norma Brasileira 15538:2014 estabelece o Índice de Desempenho da Medição (IDM), enquanto indicador em porcentagem do desempenho do equipamento em um conjunto de 10 (dez) vazões normalizadas. Um erro médio é determinado considerando o erro e o peso de cada uma das faixas de vazão em um perfil normalizado de consumo⁴⁰.

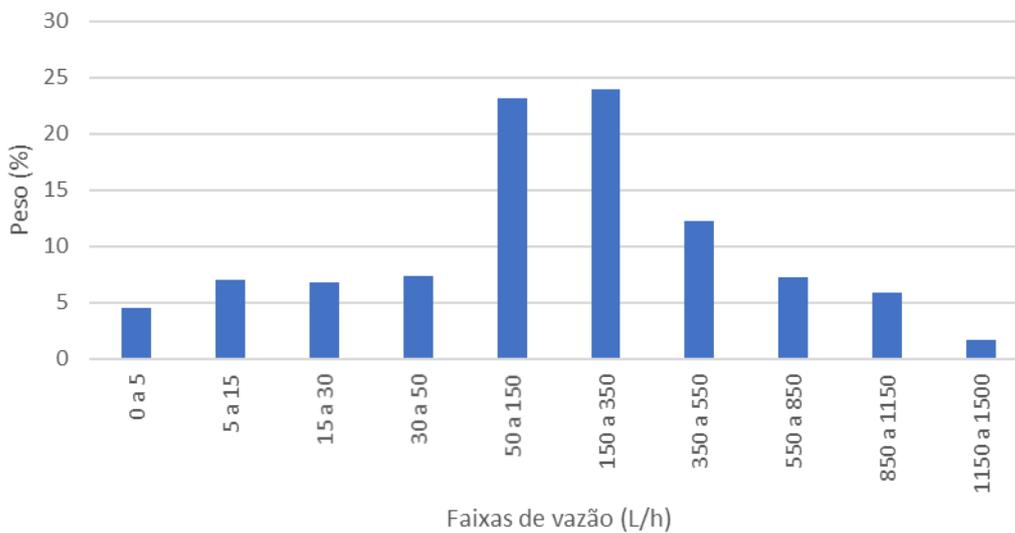
Tabela 42 – Exemplo – Faixas de vazão e peso para determinação do erro médio de medição

Faixas de vazão (L/h)	Vazões de calibração (L/h)	Peso (%)
-----------------------	----------------------------	----------

⁴⁰ Nota: este perfil é sugerido pela norma, que também incentiva a determinação de perfis locais de consumo, que retratem a realidade de consumo dos usuários em estudo

0 a 5	2,5	4,56
5 a 15	10	6,99
15 a 30	22,5	6,83
30 a 50	40	7,34
50 a 150	100	23,21
150 a 350	250	23,92
350 a 550	450	12,27
550 a 850	700	7,29
850 a 1150	1000	5,86
1150 a 1500	1325	1,73

Gráfico 19 – Faixas de vazão e peso para determinação do erro médio de medição



O erro ponderado (EP) em cada extrato será o somatório do produto dos erros pelos pesos em cada faixa de vazão, e o IDM, o erro incrementado à medição.

Equação 114 - Erro ponderado de medição

$$EP = \frac{\sum[(\text{erro } Q_x) \cdot (\text{peso } Q_x)]}{100}$$

Equação 115 - Índice de Desempenho da Medição (Norma Brasileira 15538:2014)

$$IDM(\%) = 100 + EP$$

Para o exemplo apresentado, foram retiradas aleatoriamente amostras em campo, que ensaiadas em bancada de laboratório revelaram os seguintes desvios médios em cada estrato para cada faixa de vazão:

Tabela 43 – Exemplo – Desvios médios por estrato e faixas de vazão

Estrato/ de (L/h)	0 a 5	5 a 15	15 a 30	30 a 50	50 a 150	150 a 350	350 a 550	550 a 850	850 a 1150	1150 a 1500
1	-20%	-18%	-13%	-11%	-7%	-9%	-6%	-6%	-5%	-4%
2	-21%	-13%	-10%	-10%	-7%	-9%	-8%	-6%	-6%	-5%

3	-17%	-16%	-12%	-10%	-7%	-9%	-7%	-6%	-7%	-4%
4	-14%	-17%	-14%	-11%	-9%	-8%	-8%	-6%	-6%	-6%
5	-15%	-14%	-11%	-9%	-9%	-8%	-7%	-8%	-7%	-4%
6	-12%	-11%	-14%	-12%	-7%	-7%	-7%	-6%	-7%	-6%
7	-21%	-15%	-14%	-11%	-8%	-7%	-8%	-7%	-5%	-5%
8	-13%	-17%	-13%	-10%	-7%	-7%	-7%	-7%	-6%	-4%
9	-20%	-13%	-10%	-10%	-8%	-6%	-7%	-7%	-5%	-6%
10	-13%	-10%	-14%	-12%	-8%	-7%	-5%	-8%	-7%	-6%
11	-20%	-15%	-12%	-10%	-7%	-7%	-5%	-7%	-6%	-4%
12	-18%	-13%	-13%	-9%	-9%	-8%	-5%	-7%	-5%	-5%

A associação destes erros em cada faixa de vazão por extrato revela o EP de cada extrato, cuja média ponderada exprime o resultado experimental da determinação do EP médio do parque de medidores avaliado.

Tabela 44 - Exemplo - Erro médio ponderado de medição por extrato

Estrato	População	Amostragem	EP
1	28908	315	-9,2%
2	20109	315	-8,9%
3	10054	315	-9,0%
4	6284	200	-9,5%
5	2513	125	-9,0%
6	1257	125	-8,3%
7	30164	315	-9,2%
8	10054	315	-8,5%
9	7541	200	-8,3%
10	5027	200	-8,4%
11	2513	125	-8,4%
12	1257	125	-8,8%
Total/Média Ponderada	125681	2675	-8,96%

Para os números apresentados, há um erro médio ponderado (EP) na medição de -8,96% que revela um IDM de 91,04%.

8. Referências bibliográficas

AESBE Volume 3 da Série balanço hídrico - **Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de hidrômetros**, disponível em http://aesbe.org.br/guias_praticos/ consulta 15.12.2019

A. S. Wyatt **Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries**" (2010) <https://www.rti.org/sites/default/files/resources/mr-0018-1006-wyatt.pdf>

Brasil. Ministério de Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS.

Depexe M.D., Arrosi E.L. Aplicação e Validação da Fórmula para Estimativa da Perda Real Inevitável em um Sistema de Abastecimento de Água, Agosto 2010, disponível em https://www.researchgate.net/publication/301958151_APLICACAO_E_VALIDACAO_DA_FORMULA_PARA_ESTIMATIVA_DA_PERDA_REAL_INEVITAVEL_EM_UM_SISTEMA_DE_ABASTECIMENTO_DE_AGUA , consultado em 05.12.2019

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: 2018.

SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção. <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em 19/11/2019.

Cavaleiro de Ferreira R.; Werlang Lebelein C.; Galvão Silveira A.; Ciríaco de Miranda E., V-021 - **Idade média de redes de abastecimento e o seu desempenho em termos de perdas de água**; Congresso ABES 2019

Garcia R., Viana de Almeida V.; Fontes da Costa R. **Efetividade das trocas preventivas de ramais de distribuição de água – estudo de caso: 12 anos de implantação -Artigo 81 do Encontro Técnico AESABESP**

IWA – International Water Association. Water Loss Specialist Group (WLSG). Guidance Notes on Apparent Losses and Water Loss Reduction Planning. Setembro de 2016.

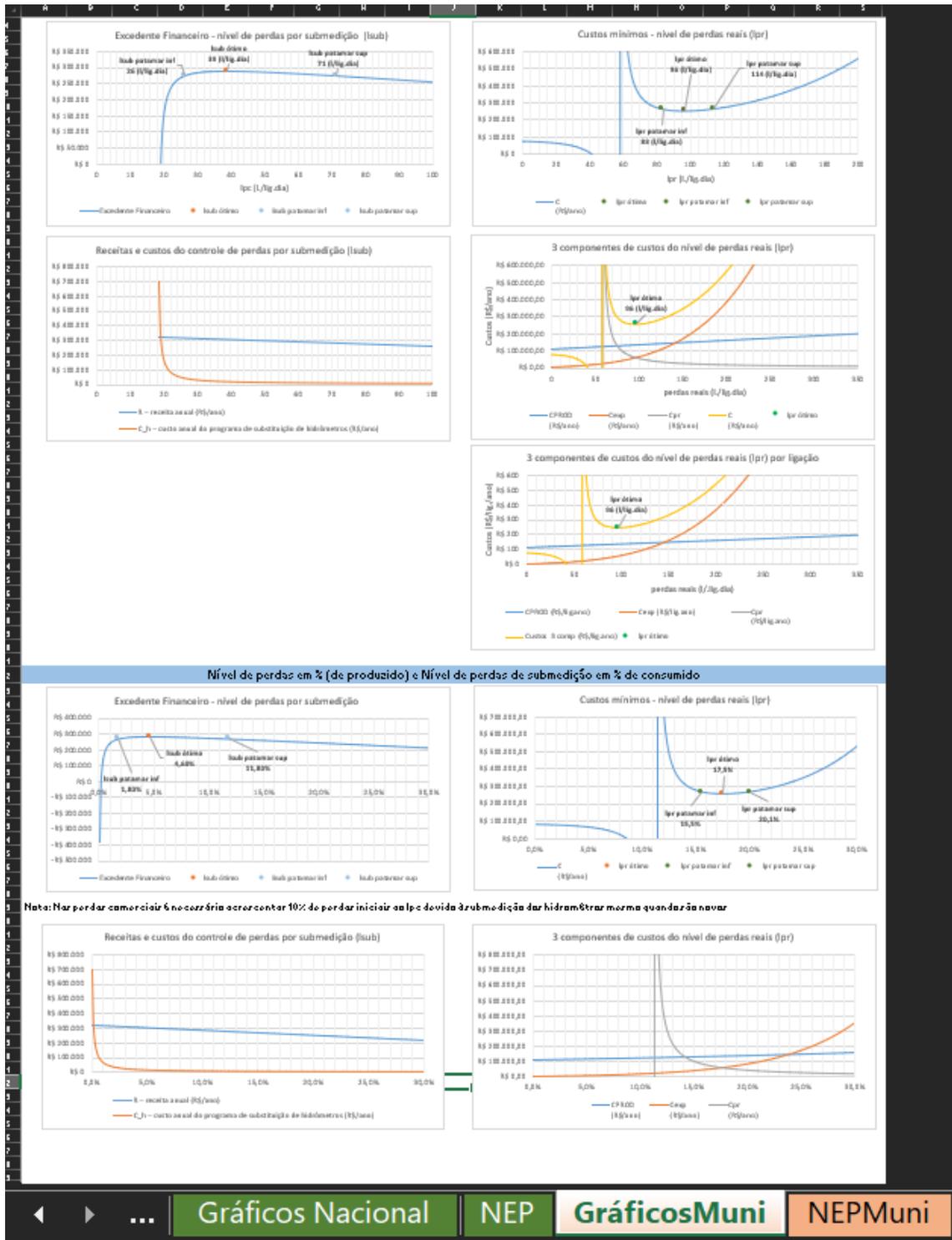
SABESP – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. **Nota Técnica SABESP NTS 281.** São Paulo, 2011.

RISE Research Institutes of Sweden, Malm, Annika, **Sustainable Economic Level of Leakage in Norway and Sweden-Manual of Practice** (Versão pública disponível a partir de 2020 em língua Sueca)

Figura 26 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em um sistema / município

Estado	Município	Ano de Referência	H - Custo médio de substituição de	s - Inclinação da linha de	T - Tarifa unitária (R\$/m³)	c_ch - per capita efetivamente	L_inevit (%)	N_ati - Ligações ativas	P - Pessoas por ligação (hab./lig)	Cprod - Custo de Produção de Água	Qc - Volume consumido efetivamente (m³/ano)	k - coeficiente de custo (R\$/m³/dia)	b - fator de economia de
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,0815	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
Multiplicador desejado para efeitos de análise de sensibilidade:			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Valores usados:			R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
Estado	Município	Ano de Referência	H	s	T(R\$/m³)	c_ch (m³/pess.dia)	L_inevit (%)	N	p (hab./lig)	Cprod (R\$/m³)	Qc-(m³/ano)	k	b
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314
PA	Afuá	2019	R\$ 135,04	1,00%	R\$ 1,94	0,08	4,00%	1.036	5,54	R\$ 0,65857	171.788	17802	0,7314

Figura 27 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em um sistema / município



Aba NEP - para calcular um conjunto de municípios.

Nesta planilha pode-se acessar aos valores de outros municípios, onde os dados de input são genéricos e conforme descritos na PARTE 2 – ENSAIO DO MODELO EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS.

A planilha é adequada para companhias e agências reguladoras que atuam em dezenas ou centenas de municípios e permite realizar análises para muitos sistemas e assim comparar todos os municípios em somente uma planilha.

Número de referência	Código do Município	Município	Esta Região do	k - coeficiente de economia (R\$/m³/dia)	b - fator de escala	f - fator de pontuação	r - fator de resiliência	C_per - custo das atividades de investimento (R\$/m³/dia)	c_c - custo de água consumida	D - per capita de água distribuída (l/dia)	Alpha - coeficiente de perdas de vazamentos	Beta - coeficiente de perdas de vazamentos	V - volume de água produzida (m³/ano)	Qc - Volume consumido efetivamente (m³/ano)	Qc_ch - água consumida com hidrômetros (m³/ano)	Qm - água medida no hidrômetro do consumidor (m³/ano)	L_PA - perdas aparentes (m³/ano)	L_PAO - perdas aparentes (m³/ano)	
1	120001	Acrelândia	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1504576	0,0290528	6,15374	12,30902	919.850	290.319	284.489	293.870	26.756	36.449
2	120005	Assis Brasil	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,2022904	0,0181808	6,336026	12,888953	648.220	377.745	375.364	330.320	33.266	47.425
3	120010	Brasília	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1620121	0,0127938	12,732044	32,733732	2.654.540	944.820	938.864	826.200	87.032	118.620
4	120013	Bujari	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1824173	0,0271492	3,550958	5,461399	500.930	257.889	296.011	260.490	26.438	37.399
5	120017	Capixaba	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1870444	0,0219234	6,752834	14,161477	587.240	279.844	278.090	244.710	24.623	35.134
6	120020	Cruzeiro do Sul	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1381115	0,0112004	12,760162	32,821061	6.759.450	2.317.565	2.302.555	2.026.600	207.103	290.965
7	120025	Espatocilândia	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1764887	0,0128244	13,52954	36,45292	2.173.110	743.734	739.045	650.360	67.055	93.374
8	120030	Feijó	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1459688	0,0233474	4,779558	8,028989	550.990	359.551	357.284	314.410	30.155	45.141
9	120032	Jordão	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1338915	0,0135476	6,766066	14,204573	322.970	170.655	169.580	149.230	14.326	21.425
10	120033	Mãnco Lima	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1693544	0,0191727	4,247024	6,380922	1.091.860	743.688	739.000	650.320	62.575	93.368
11	120034	Manoel Urbano	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1821156	0,0137685	6,769212	20,363836	844.130	468.887	446.057	392.530	40.211	56.357
12	120035	Marechal Thaumaturgo	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,0765946	0,0227281	5,102142	9,036751	329.690	142.306	141.409	124.440	15.217	17.666
13	120038	Pilócido de Castro	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1738005	0,0224779	3,285066	3,211393	786.830	529.669	526.330	463.170	48.133	66.499
14	120080	Porto Acre	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1595427	0,0628094	2,768348	1,788444	469.900	228.623	227.182	199.520	20.526	28.703
15	120039	Porto Walter	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1217359	0,0397112	3,0793	2,7542	311.660	201.417	200.148	176.130	17.209	25.287
16	120040	Rio Branco	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1917903	0,0133441	6,714478	20,255959	31.699.940	15.130.270	15.034.886	13.230.700	1.086.698	1.899.570
17	120042	Rodrigues Alves	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1442244	0,0151481	9,769422	23,523091	684.180	309.245	307.295	270.420	24.964	38.825
18	120043	Santa Rosa do Purac	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1315527	0,0155936	9,47201	22,608705	345.770	166.413	165.364	145.520	13.852	20.893
19	120045	Senador Guimarães	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1530751	0,0171032	3,78225	4,937425	690.160	374.932	372.568	327.860	35.315	47.072
20	120050	Sena Madureira	AC	Norte	17802	0,7314	1,2	1	R\$ 1.993,18	0,1687771	0,014272	6,734336	14,230258	1.759.940	951.407	945.409	831.960	81.843	119.447

Figura 28 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em dezenas e centenas de sistemas / municípios (com botão de macro)

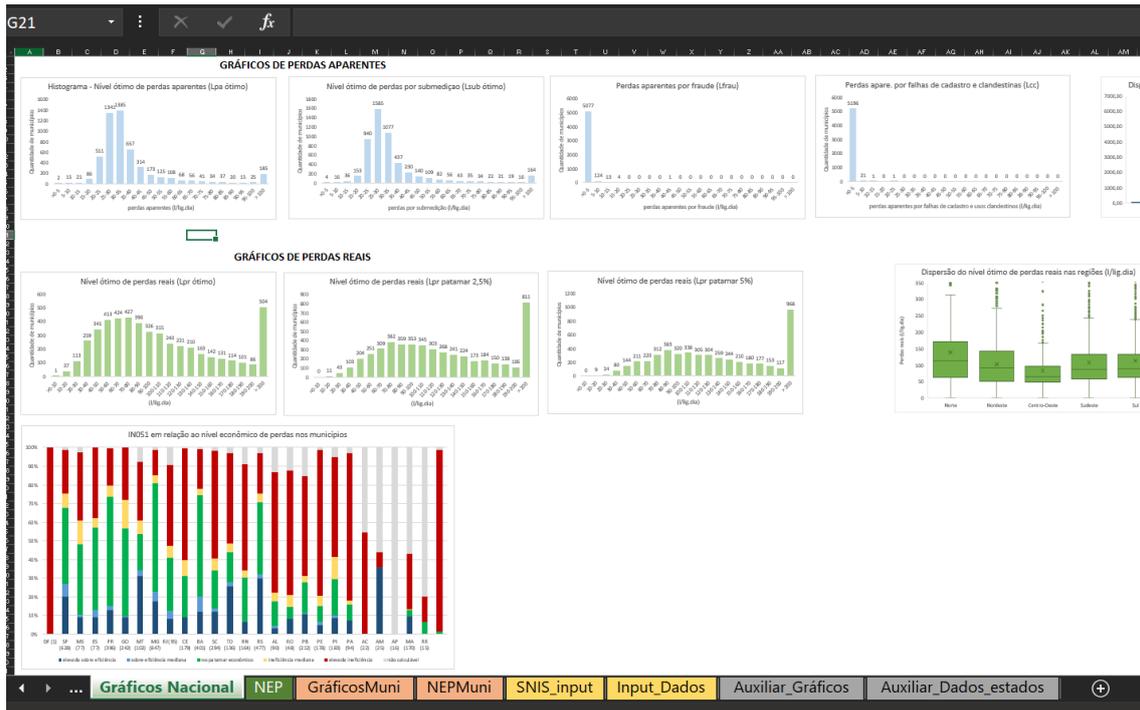


Figura 29 – Printscreen de planilha para cálculo do nível ótimo de perdas em dezenas e centenas de sistemas / municípios (com botão de macro)

Anexo 2 – Nota explicativa da relevância da alocação de volumes de submedição e a obtenção dos dados de volumes consumidos

A submedição inevitável (ℓ_{inevit}) está relacionada à impossibilidade de medição dos consumos em baixas vazões nos hidrômetros mecânicos. A submedição de um hidrômetro é determinada a partir do levantamento do IDM – Índice de Desempenho da Medição, que relaciona os erros de medição em 10 vazões diferentes com o perfil de consumo médio da população (já incluindo residências com reservatório domiciliar). O procedimento deste ensaio está descrito na norma ABNT NBR 15.538 Medidores de água potável - Ensaio para avaliação de eficiência. Desta forma, um hidrômetro novo possui IDM = 95%, aproximadamente, ou seja, consegue medir 95% da água que passa por ele, resultando em uma submedição de 5%. Este é um valor observado em várias companhias de saneamento, utilizando várias marcas de hidrômetros diferentes.

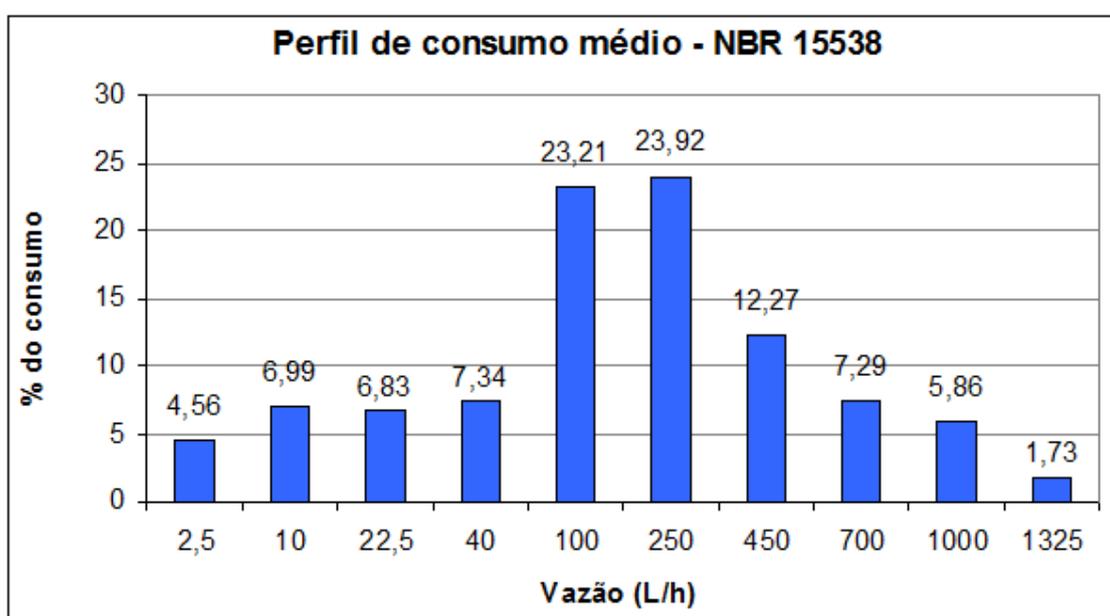


Gráfico 20 – Distribuição de vazões de abastecimento em um perfil de consumo médio da população

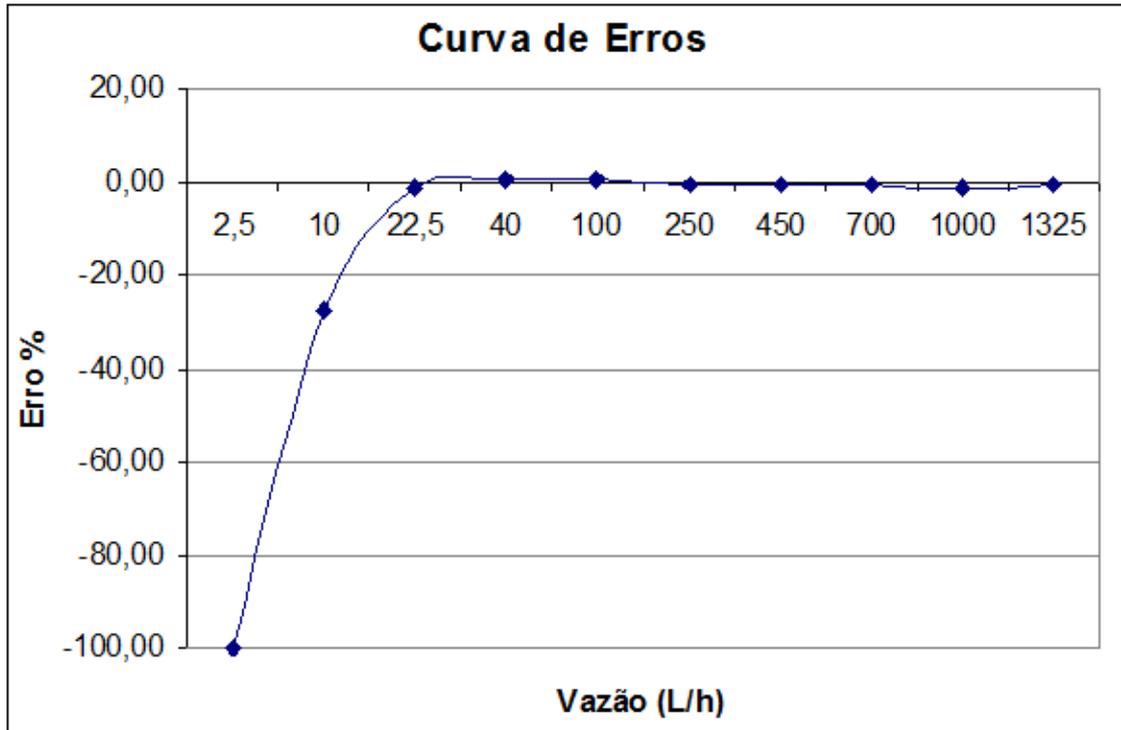


Gráfico 21- Erros de medição nas diferentes faixas de vazões de um perfil de consumo médio da população

Entretanto, o IDM diminui com o uso do hidrômetro, devido ao desgaste dos componentes internos, perdendo eficiência e aumentando a submedição. Desta forma, a submedição atual é sempre maior que 5%, usualmente entre 10 e 20%, dependendo das políticas de atualização do parque de hidrômetros das companhias de saneamento.

O gráfico a seguir ilustra esta perda de eficiência em função do tempo, para hidrômetros classe B, que são os mais utilizados:

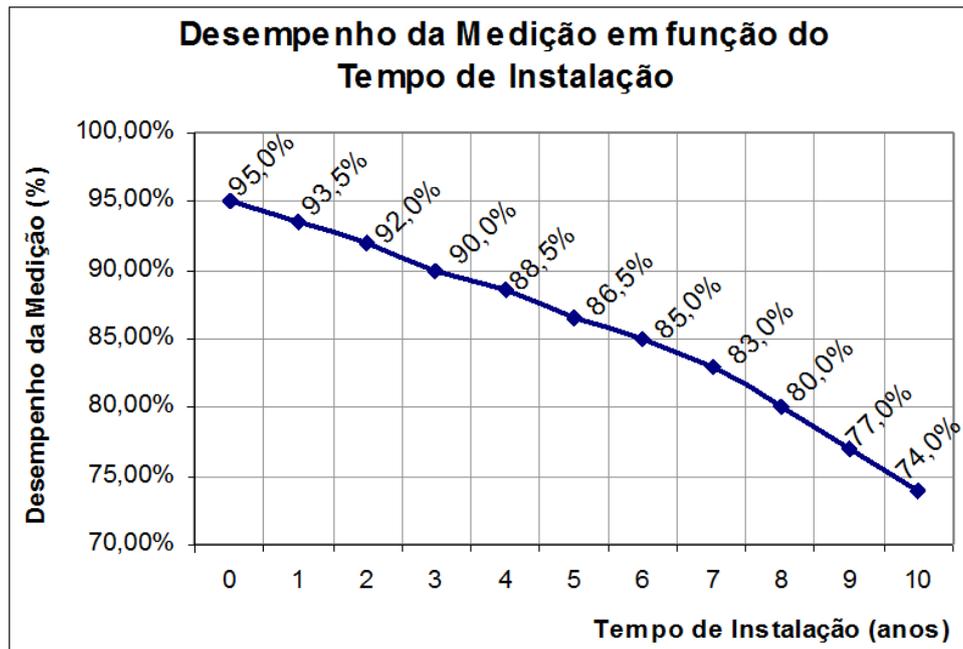


Gráfico 22 – perda de eficiência em função do tempo para hidrômetros classe B (referência: Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros - Série Balanço Hídrico, Volume 3)

Por isso a importância de se determinar a submedição total atual para o cálculo dos níveis econômicos, principalmente de perdas reais, pois a submedição atual representa uma parcela de consumo total real, efetivo, que não vai deixar de existir no nível econômico, apenas passará a ser medida e contabilizada na informação SNIS AG010 – Água consumida.

Para melhor ilustrar a questão, imaginemos um sistema de abastecimento de água onde são instalados hidrômetros novos em todas as ligações de água ao mesmo tempo (mesma semana, mesmo mês, algo muito próximo). A partir deste momento, a submedição atual deste parque de hidrômetros é de 5% do consumo efetivo, ou seja, a informação presente no AG010 representa 95% do que é de fato consumido.

Supondo que não há usos não autorizados e que não há crescimento de ligações para focar apenas na análise no efeito da submedição. Com o passar dos anos, o IDM diminui e a submedição aumenta, mas o consumo total permanece inalterado. O volume contabilizado diminui na mesma proporção em que a perda comercial aumenta.

A tabela a seguir apresenta um exemplo hipotético:

Tabela 45 - Exemplo hipotético - efeito da submedição no decorrer do tempo

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Nº Ligações	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Volume Produzido	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000	3.600.000
Volume Micro medido	2.600.000	2.558.947	2.517.895	2.463.158	2.422.105	2.367.368
Volume de Perdas Totais	1.000.000	1.041.053	1.082.105	1.136.842	1.177.895	1.232.632
IPL total	137,0	142,6	148,2	155,7	161,4	168,9
Índice Perdas (%)	27,8%	28,9%	30,1%	31,6%	32,7%	34,2%

Submedição (%)	5,0%	6,5%	8,0%	10,0%	11,5%	13,5%
Volume Perdas Aparentes	136.842	177.895	218.947	273.684	314.737	369.474
Volume Perdas Reais	863.158	863.158	863.158	863.158	863.158	863.158
Consumo efetivo	2.736.842	2.736.842	2.736.842	2.736.842	2.736.842	2.736.842

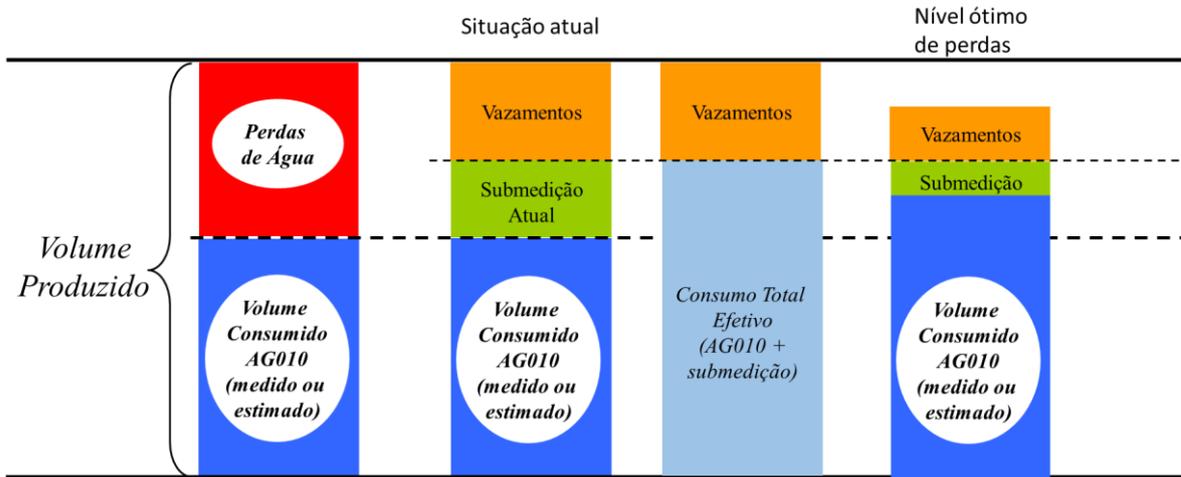
IPL comercial	18,7	24,4	30,0	37,5	43,1	50,6
IPL real	118,2	118,2	118,2	118,2	118,2	118,2

Este sistema com 4 anos terá uma submedição de 11,5% e a informação disponível no AG010 é de 2.422.105 m³. Ao calcular o consumo efetivo considerando apenas a submedição inicial de 5%, teremos uma estimativa de consumo de 2.549.584 m³ = 2.463.158 / (1-5%).

A diferença para o consumo efetivo é de 187.258 m³, resultando em uma estimativa de consumo e de produção menor que o necessário. Assim, ao calcular o volume de perdas no nível ótimo (Lpr e Lpc) em m³/ano ou litros/lig/dia, o volume resultante é menor que o correto, porque o ponto de partida é um consumo menor que o real, pois ao se considerar que existe submedição de apenas 5%, seria como se o parque de hidrômetros fosse novíssimo. Na realidade, como nunca existe um parque de hidrômetros inteiramente novo, a submedição média será sempre maior, fazendo com que a informação no AG010 seja bem menor que o consumo real.

A figura a seguir demonstra esse raciocínio: o consumo total efetivo (aquilo que é de fato consumido pela população) é a soma do AG010 com a submedição atual. No nível econômico, a submedição se reduz e o AG010 aumenta, mas o consumo total permanece o mesmo. A produção também permanece a mesma, a não ser que ocorra redução de vazamentos.

Figura 30 – Comparação de volumes consumidos, submedição e vazamentos em função da derivação do cálculo e origem dos dados



Anexo 3 – Tabelas de custos e fatores utilizados no modelo

Valores e coeficientes usados para o cálculo submedição

Tabela 46 - Valores e coeficientes usados para o cálculo submedição – valores estaduais

		Variáveis usadas no cálculo de perdas por submedição (lsub e levit)					
		Custos de fornecimento e instalação de hidrômetros					
Tabela de dados estaduais		usado no cálculo de perdas por submedição (Eq.36)	Hidrometro 1 (90%)	Hidrometro 2 (8%)	Hidrometro 3 (2%)		
Estado	Região	H – Custo médio da substituição de hidrômetros (R\$)	Código SINAPI - 95673 - hidrômetro DN 20 (%), 1,5 m ³ /h fornecimento e instalação. Af. 11/2016	Código SINAPI - 95674 - hidrômetro DN 20 (%), 3,0 m ³ /h fornecimento e instalação. Af. 11/2016	Código SINAPI - 95675 - hidrômetro DN 25 (%), 5,0 m ³ /h fornecimento e instalação. Af. 11/2016	BDI(%)	ftx - fator para converter em tarifa líquida
AC	Norte	R\$ 104,69	R\$ 103,57	R\$ 109,89	R\$ 134,17	32%	65%
AL	Nordeste	R\$ 104,02	R\$ 102,90	R\$ 109,22	R\$ 133,39	32%	65%
AM	Norte	R\$ 102,81	R\$ 101,70	R\$ 108,02	R\$ 132,00	32%	65%
AP	Norte	R\$ 100,91	R\$ 99,80	R\$ 106,12	R\$ 129,80	32%	65%
BA	Nordeste	R\$ 130,04	R\$ 128,62	R\$ 136,70	R\$ 167,14	32%	65%
CE	Nordeste	R\$ 102,59	R\$ 101,48	R\$ 107,80	R\$ 131,75	32%	65%
DF	Centro-Oeste	R\$ 104,36	R\$ 103,24	R\$ 109,56	R\$ 133,79	32%	65%
ES	Sudeste	R\$ 103,59	R\$ 102,48	R\$ 108,80	R\$ 132,91	32%	65%
GO	Centro-Oeste	R\$ 116,24	R\$ 114,97	R\$ 122,24	R\$ 149,52	32%	65%
MA	Nordeste	R\$ 100,71	R\$ 99,60	R\$ 105,92	R\$ 129,57	32%	65%
MG	Sudeste	R\$ 159,81	R\$ 158,01	R\$ 168,41	R\$ 206,39	32%	65%
MS	Centro-Oeste	R\$ 102,18	R\$ 101,07	R\$ 107,39	R\$ 131,29	32%	65%
MT	Centro-Oeste	R\$ 103,74	R\$ 102,63	R\$ 108,95	R\$ 133,08	32%	65%
PA	Norte	R\$ 102,38	R\$ 101,27	R\$ 107,59	R\$ 131,50	32%	65%
PB	Nordeste	R\$ 100,64	R\$ 99,54	R\$ 105,86	R\$ 129,48	32%	65%
PE	Nordeste	R\$ 103,26	R\$ 102,15	R\$ 108,47	R\$ 132,52	32%	65%
PI	Nordeste	R\$ 102,08	R\$ 100,97	R\$ 107,29	R\$ 131,16	32%	65%
PR	Sul	R\$ 106,29	R\$ 105,17	R\$ 111,49	R\$ 136,01	32%	65%
RJ	Sudeste	R\$ 180,71	R\$ 178,70	R\$ 190,25	R\$ 232,94	32%	65%
RN	Nordeste	R\$ 100,60	R\$ 99,50	R\$ 105,82	R\$ 129,45	32%	65%
RO	Norte	R\$ 102,36	R\$ 101,25	R\$ 107,57	R\$ 131,47	32%	65%
RR	Norte	R\$ 104,64	R\$ 103,52	R\$ 109,84	R\$ 134,10	32%	65%
RS	Sul	R\$ 145,89	R\$ 144,26	R\$ 153,63	R\$ 188,15	32%	65%
SC	Sul	R\$ 159,80	R\$ 158,01	R\$ 168,30	R\$ 206,15	32%	65%
SE	Nordeste	R\$ 101,62	R\$ 100,51	R\$ 106,83	R\$ 130,62	32%	65%
SP	Sudeste	R\$ 105,82	R\$ 104,70	R\$ 111,02	R\$ 135,47	32%	65%
TO	Norte	R\$ 103,99	R\$ 102,87	R\$ 109,19	R\$ 133,35	32%	65%
	Min	R\$ 100,60	R\$ 99,50	R\$ 105,82	R\$ 129,45	32%	65%
	Máx	R\$ 180,71	R\$ 178,70	R\$ 190,25	R\$ 232,94	32%	65%
	Mediana	R\$ 103,74	R\$ 102,63	R\$ 108,95	R\$ 133,08	32%	65%
	Média	R\$ 113,18	R\$ 111,94	R\$ 118,97	R\$ 145,45	32%	65%

Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão

Tabela 47 - Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão – valores regionais

Região	k	fator de economia de escala (b)	fator de resiliência
Centro Oeste	233727	0,4767	1,4

Nordeste	27579	0,7023	1,6
Norte	17802	0,7314	1
Sudeste	16232	0,7808	1,3
Sul	21506	0,7505	1,3

Tabela 48 - Valores e coeficientes usados para o cálculo de custos de expansão – valores estaduais

		Variáveis usadas no cálculo dos custos de expansão do sistema (Cexp)						
Tabela de dados estaduais								
Estado	Região	z_exp – período relativo à expansão (anos)	G – taxa de crescimento populacional (-)	k – coeficiente de custo (R\$/m3/d)	b – fator de economia de escala (-)	f_p – fator de ponta	f_r – fator de resiliência	
AC	Norte	5	1,3%	17.802	0,7314	1,2	1	
AL	Nordeste	25	0,3%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
AM	Norte	5	1,4%	17.802	0,7314	1,2	1	
AP	Norte	5	1,7%	17.802	0,7314	1,2	1	
BA	Nordeste	25	0,2%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
CE	Nordeste	25	0,5%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
DF	Centro-Oeste	15	1,1%	233.727	0,4767	1,2	1,4	
ES	Sudeste	15	0,9%	16.232	0,7808	1,2	1,3	
GO	Centro-Oeste	15	1,2%	233.727	0,4767	1,2	1,4	
MA	Nordeste	25	0,4%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
MG	Sudeste	15	0,4%	16.232	0,7808	1,2	1,3	
MS	Centro-Oeste	15	0,9%	233.727	0,4767	1,2	1,4	
MT	Centro-Oeste	15	1,0%	233.727	0,4767	1,2	1,4	
PA	Norte	5	0,9%	17.802	0,7314	1,2	1	
PB	Nordeste	25	0,4%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
PE	Nordeste	25	0,5%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
PI	Nordeste	25	0,1%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
PR	Sul	15	0,6%	21.506	0,7505	1,2	1,3	
RJ	Sudeste	15	0,4%	16.232	0,7808	1,2	1,3	
RN	Nordeste	25	0,6%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
RO	Norte	5	0,9%	17.802	0,7314	1,2	1	
RR	Norte	5	2,2%	17.802	0,7314	1,2	1	
RS	Sul	15	0,3%	21.506	0,7505	1,2	1,3	
SC	Sul	15	1,0%	21.506	0,7505	1,2	1,3	
SE	Nordeste	25	0,7%	27.579	0,7023	1,2	1,6	
SP	Sudeste	15	0,7%	16.232	0,7808	1,2	1,3	
TO	Norte	5	0,9%	17.802	0,7314	1,2	1	
Min		5	0,1%	16.232	0,4767	1,2	1	
Máx		25	2,2%	233.727	0,7808	1,2	1,6	
Mediana		15	0,7%	21.506	0,7314	1,2	1,3	
Média		16	0,8%	53.229	0,69341	1,2	1,3	

Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas

Tabela 49 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 1

Variáveis usadas no cálculo custos do programa de controle de perdas reais (Cpr)									
Tabela de dados estaduais		corresponde à Eq.66	corresponde à Eq.82			corresponde à Eq.85	Eq83	Eq84	
Estado	Região	C_prr – custo das atividades e investimentos para o controle de perdas (R\$/km)	C_pesquisa – custo de pesquisa de vazamentos (R\$/km)	f_tpn – fator de trabalhos parcialmente noturnos (-)	SINAPI 06/2019, desonerado código 78472 – topografia (R\$/km)	C_reparação da rede (R\$/km)	C_reparação de vazamento em rede (R\$/vaz.)	C_reparação de ramal (R\$/vaz.)	
AC	Norte	R\$ 1.993,18	R\$ 683,24	1,40		R\$ 370,00	R\$ 292,79	R\$ 648,45	623,887
AL	Nordeste	R\$ 1.977,87	R\$ 664,78	1,40		R\$ 360,00	R\$ 263,78	R\$ 673,98	547,1212
AM	Norte	R\$ 2.164,10	R\$ 794,04	1,40		R\$ 430,00	R\$ 286,89	R\$ 700,85	600,4088
AP	Norte	R\$ 1.819,11	R\$ 517,05	1,40		R\$ 280,00	R\$ 248,09	R\$ 677,67	507,2874
BA	Nordeste	R\$ 2.250,03	R\$ 757,11	1,40		R\$ 410,00	R\$ 296,97	R\$ 790,34	610,697
CE	Nordeste	R\$ 2.062,34	R\$ 738,64	1,40		R\$ 400,00	R\$ 270,73	R\$ 676,88	564,0044
DF	Centro-Oeste	R\$ 1.955,71	R\$ 609,38	1,40		R\$ 330,00	R\$ 286,30	R\$ 682,48	601,9916
ES	Sudeste	R\$ 2.077,50	R\$ 720,17	1,40		R\$ 390,00	R\$ 285,24	R\$ 692,05	597,7708
GO	Centro-Oeste	R\$ 1.920,65	R\$ 572,45	1,40		R\$ 310,00	R\$ 268,35	R\$ 698,21	554,5076
MA	Nordeste	R\$ 1.668,41	R\$ 646,31	1,40		R\$ 350,00	R\$ 233,12	R\$ 467,39	504,9132
MG	Sudeste	R\$ 2.148,87	R\$ 812,50	1,40		R\$ 440,00	R\$ 274,67	R\$ 683,80	572,7098
MS	Centro-Oeste	R\$ 1.959,74	R\$ 609,38	1,40		R\$ 330,00	R\$ 276,78	R\$ 693,23	576,403
MT	Centro-Oeste	R\$ 1.926,64	R\$ 572,45	1,40		R\$ 310,00	R\$ 292,00	R\$ 684,20	615,973
PA	Norte	R\$ 1.930,33	R\$ 590,91	1,40		R\$ 320,00	R\$ 276,23	R\$ 684,99	576,403
PB	Nordeste	R\$ 1.934,33	R\$ 590,91	1,40		R\$ 320,00	R\$ 261,19	R\$ 700,09	536,3054
PE	Nordeste	R\$ 2.042,55	R\$ 664,78	1,40		R\$ 360,00	R\$ 292,89	R\$ 702,20	615,1816
PI	Nordeste	R\$ 2.028,59	R\$ 701,71	1,40		R\$ 380,00	R\$ 268,88	R\$ 680,87	558,7284
PR	Sul	R\$ 1.844,74	R\$ 664,78	1,40		R\$ 360,00	R\$ 310,21	R\$ 531,49	686,9352
RJ	Sudeste	R\$ 2.161,58	R\$ 720,17	1,40		R\$ 390,00	R\$ 358,02	R\$ 701,02	778,21
RN	Nordeste	R\$ 2.009,81	R\$ 683,24	1,40		R\$ 370,00	R\$ 257,64	R\$ 689,54	529,1828
RO	Norte	R\$ 2.247,38	R\$ 849,44	1,40		R\$ 460,00	R\$ 304,62	R\$ 708,90	643,4082
RR	Norte	R\$ 2.168,10	R\$ 830,97	1,40		R\$ 450,00	R\$ 275,31	R\$ 683,90	574,2926
RS	Sul	R\$ 2.136,17	R\$ 757,11	1,40		R\$ 410,00	R\$ 307,68	R\$ 691,49	653,9602
SC	Sul	R\$ 1.870,67	R\$ 609,38	1,40		R\$ 330,00	R\$ 291,84	R\$ 610,60	627,844
SE	Nordeste	R\$ 1.873,43	R\$ 553,98	1,40		R\$ 300,00	R\$ 263,20	R\$ 679,48	544,747
SP	Sudeste	R\$ 2.361,28	R\$ 941,77	1,40		R\$ 510,00	R\$ 337,38	R\$ 700,03	726,769
TO	Norte	R\$ 1.868,08	R\$ 553,98	1,40		R\$ 300,00	R\$ 260,42	R\$ 677,44	538,152
	Min	R\$ 1.668,41	R\$ 517,05	1,40		R\$ 280,00	R\$ 233,12	R\$ 467,39	504,9132
	Máx	R\$ 2.361,28	R\$ 941,77	1,40		R\$ 510,00	R\$ 358,02	R\$ 790,34	778,21
	Mediana	R\$ 1.993,18	R\$ 664,78	1,40		R\$ 360,00	R\$ 276,78	R\$ 684,20	576,403
	Média	R\$ 2.014,86	R\$ 681,87	1,40		R\$ 369,26	R\$ 283,01	R\$ 674,50	595,1034889

Tabela 50 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 2

Variáveis usadas no cálculo custos do programa de controle de perdas reais												
Tabela de dados estaduais												
Estado	Região	0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 817,15	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 849,31	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 883,18	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 853,97	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 995,96	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 852,97	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 860,03	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 872,08	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 879,86	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 588,98	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 861,70	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 873,58	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 862,19	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 863,19	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 882,22	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 884,88	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 858,00	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 669,76	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 883,39	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 868,93	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 893,32	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 861,82	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 871,38	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 769,45	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 856,25	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 882,14	40	1%	1,2		
		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 853,68	40	1%	1,2		
Min		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 588,98	40	1%	1,2		
Máx		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 995,96	40	1%	1,2		
Mediana		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 862,19	40	1%	1,2		
Média		0,0667	0,4	2,5	20	R\$ 200,00	R\$ 849,98	40	1%	1,2		

Tabela 51 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 3

Tabela de dados estaduais		Variáveis usadas no cálculo custos do programa de controle de perdas			
Estado	Região	C_(reposição da rede) – custo de reposição da rede (R\$/m)	BDI - Benefícios e Despesas Indiretas (%)	r - taxa de retorno (%)	ramal predial (R\$/m) (SINAPI 06/2019, código 74253/1 NÃO DESENERADO)
AC	Norte	R\$ 196,65	32%	7%	R\$ 23,65
AL	Nordeste	R\$ 204,39	32%	7%	R\$ 20,74
AM	Norte	R\$ 212,54	32%	7%	R\$ 22,76
AP	Norte	R\$ 205,51	32%	7%	R\$ 19,23
BA	Nordeste	R\$ 239,68	32%	7%	R\$ 23,15
CE	Nordeste	R\$ 205,27	32%	7%	R\$ 21,38
DF	Centro-Oeste	R\$ 206,97	32%	7%	R\$ 22,82
ES	Sudeste	R\$ 209,87	32%	7%	R\$ 22,66
GO	Centro-Oeste	R\$ 211,74	32%	7%	R\$ 21,02
MA	Nordeste	R\$ 141,74	32%	7%	R\$ 19,14
MG	Sudeste	R\$ 207,37	32%	7%	R\$ 21,71
MS	Centro-Oeste	R\$ 210,23	32%	7%	R\$ 21,85
MT	Centro-Oeste	R\$ 207,49	32%	7%	R\$ 23,35
PA	Norte	R\$ 207,73	32%	7%	R\$ 21,85
PB	Nordeste	R\$ 212,31	32%	7%	R\$ 20,33
PE	Nordeste	R\$ 212,95	32%	7%	R\$ 23,32
PI	Nordeste	R\$ 206,48	32%	7%	R\$ 21,18
PR	Sul	R\$ 161,18	32%	7%	R\$ 26,04
RJ	Sudeste	R\$ 212,59	32%	7%	R\$ 29,50
RN	Nordeste	R\$ 209,11	32%	7%	R\$ 20,06
RO	Norte	R\$ 214,98	32%	7%	R\$ 24,39
RR	Norte	R\$ 207,40	32%	7%	R\$ 21,77
RS	Sul	R\$ 209,70	32%	7%	R\$ 24,79
SC	Sul	R\$ 185,17	32%	7%	R\$ 23,80
SE	Nordeste	R\$ 206,06	32%	7%	R\$ 20,65
SP	Sudeste	R\$ 212,29	32%	7%	R\$ 27,55
TO	Norte	R\$ 205,44	32%	7%	R\$ 20,40
	Min	R\$ 141,74	32%	7%	R\$ 19,14
	Máx	R\$ 239,68	32%	7%	R\$ 29,50
	Mediana	R\$ 207,49	32%	7%	R\$ 21,85
	Média	R\$ 204,55	32%	7%	R\$ 22,56

Os valores de U e de E de ordem municipal podem ser consultados na aba “Input_dados” da planilha que faz parte do presente Guia.

Tabela 52 - Valores e coeficientes usados para o cálculo do programa de controle de perdas – valores estaduais – Parte 4

Tabela de dados estaduais		Custos de rede para efeitos de reparação e reposição					
Estado	Região	Código SINAPI - 72918 escavação mecânica de vala em material 2a. categoria de 4,01 até 6,00 m de profundidade com utilização de escavadeira hidráulica (m³)	Código SINAPI - 97128 - assentamento de tubo de PVC DEFOFO ou PRV ou RPVC para rede de água, DN 200 mm, junta elástica integrada, instalado com nível alto de interferências (não inclui fornecimento), af_11/2017 (m)	Código SINAPI - 93361 - reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³ / potência: 111 hp), largura até 1,5 m, profundidade de 1,5 a 3,0 m, com solo de 1ª categoria em locais com alto nível de interferência, af_04/2	Código SINAPI - 97822- reconstrução de pavimento com tratamento superficial triplo, com emulsão asfáltica rr-2c, com capa selante, af_01/2018 (m²)	Código SINAPI - 9829 - tubo PVC DEFOFO, jej. 1 mpa, dn 200 mm, para rede de água (nbr 7665)(m)	
AC	Norte	R\$ 15,28	R\$ 8,90	R\$ 13,53	R\$ 27,54	R\$ 131,40	
AL	Nordeste	R\$ 12,90	R\$ 6,35	R\$ 11,05	R\$ 19,82	R\$ 154,27	
AM	Norte	R\$ 14,11	R\$ 8,58	R\$ 13,76	R\$ 21,82	R\$ 154,27	
AP	Norte	R\$ 13,40	R\$ 6,91	R\$ 11,68	R\$ 19,25	R\$ 154,27	
BA	Nordeste	R\$ 14,97	R\$ 10,59	R\$ 14,41	R\$ 19,24	R\$ 180,47	
CE	Nordeste	R\$ 13,69	R\$ 6,91	R\$ 12,49	R\$ 17,91	R\$ 154,27	
DF	Centro-Oeste	R\$ 13,46	R\$ 7,22	R\$ 11,61	R\$ 20,41	R\$ 154,27	
ES	Sudeste	R\$ 13,95	R\$ 8,61	R\$ 13,22	R\$ 19,82	R\$ 154,27	
GO	Centro-Oeste	R\$ 14,12	R\$ 9,38	R\$ 13,69	R\$ 20,28	R\$ 154,27	
MA	Nordeste	R\$ 12,87	R\$ 6,81	R\$ 11,57	R\$ 19,46	R\$ 91,03	
MG	Sudeste	R\$ 13,36	R\$ 7,54	R\$ 12,26	R\$ 19,94	R\$ 154,27	
MS	Centro-Oeste	R\$ 14,20	R\$ 8,99	R\$ 13,34	R\$ 19,43	R\$ 154,27	
MT	Centro-Oeste	R\$ 13,63	R\$ 7,29	R\$ 11,44	R\$ 20,86	R\$ 154,27	
PA	Norte	R\$ 14,30	R\$ 7,39	R\$ 12,53	R\$ 19,24	R\$ 154,27	
PB	Nordeste	R\$ 12,67	R\$ 6,04	R\$ 10,76	R\$ 19,32	R\$ 163,52	
PE	Nordeste	R\$ 14,72	R\$ 9,37	R\$ 14,58	R\$ 20,01	R\$ 154,27	
PI	Nordeste	R\$ 13,31	R\$ 7,58	R\$ 12,16	R\$ 19,16	R\$ 154,27	
PR	Sul	R\$ 14,14	R\$ 8,52	R\$ 12,95	R\$ 18,83	R\$ 106,74	
RJ	Sudeste	R\$ 14,86	R\$ 9,55	R\$ 13,80	R\$ 20,11	R\$ 154,27	
RN	Nordeste	R\$ 13,72	R\$ 7,82	R\$ 13,07	R\$ 20,23	R\$ 154,27	
RO	Norte	R\$ 15,27	R\$ 9,72	R\$ 14,67	R\$ 21,05	R\$ 154,27	
RR	Norte	R\$ 13,47	R\$ 7,94	R\$ 12,61	R\$ 19,11	R\$ 154,27	
RS	Sul	R\$ 14,65	R\$ 8,71	R\$ 13,39	R\$ 18,68	R\$ 154,27	
SC	Sul	R\$ 14,17	R\$ 8,03	R\$ 12,91	R\$ 19,69	R\$ 130,37	
SE	Nordeste	R\$ 13,21	R\$ 7,25	R\$ 11,67	R\$ 19,66	R\$ 154,27	
SP	Sudeste	R\$ 14,86	R\$ 9,51	R\$ 14,12	R\$ 19,53	R\$ 154,27	
TO	Norte	R\$ 12,97	R\$ 6,95	R\$ 11,15	R\$ 20,10	R\$ 154,27	
	Min	R\$ 12,67	R\$ 6,04	R\$ 10,76	R\$ 17,91	R\$ 91,03	
	Máx	R\$ 15,28	R\$ 10,59	R\$ 14,67	R\$ 27,54	R\$ 180,47	
	Mediana	R\$ 13,95	R\$ 7,94	R\$ 12,91	R\$ 19,69	R\$ 154,27	
	Média	R\$ 13,94	R\$ 8,09	R\$ 12,76	R\$ 20,02	R\$ 149,75	

Valores e coeficientes usados municipais consultar no Excel

Não foram colocados aqui os valores municipais por serem muito extensos (5219 municípios), porém podem ser consultados no Excel na aba “Input_dados”.

Anexo 4 – Tabelas de resultados para cada município

Na planilha (segunda aba) poderão ser consultados os resultados dos cálculos para cada município. Segue uma parte exemplificativa da tabela:

Código do Município	Município	Estado	NEP aparentes (R\$/lig.dia)	Tolerância de 2,5% no excedente financeiro	Tolerância de 5% no excedente financeiro	Comentário	NEP reais (R\$/lig.dia)	Tolerância de 2,5% nos custos das perdas reais	Tolerância de 5% nos custos das perdas reais	Comentário	INOS1 - SNS 2019 (R\$/lig.dia)	Meta sugerida de perdas (R\$/lig.dia) com tolerância de 2,5%	Comentário à situação atual
520005	Abadia de Goiás	GO	23	35	43		85	92	95		133	122	Este município encontra-se em uma situação de alguma ineficiência tendo em conta o nível econômico de perdas de água calculado.
310010	Abadia dos Dourados	MG	34	51	60	O nível ótimo de submedição seguramente é inferior ao calculado, pois faltou considerar as perdas econômicas que resultam das receitas dos serviços de esgoto indexados aos serviços de água.	107	140	161		120	194	Este município encontra-se no patamar econômico de perdas, porém deve ser confirmado as suas situações parciais na área de perdas aparentes e reais.
520010	Abadiânia	GO	81	125	154		103	142	161		123	260	Este município encontra-se em uma situação de elevada sobre eficiência, o que não é econômico, tendo em conta o nível ótimo de perdas de água calculado.
310020	Abaeté	MG	32	48	58	O nível ótimo de submedição seguramente é inferior ao calculado, pois faltou considerar as perdas econômicas que resultam das receitas dos serviços de esgoto indexados aos serviços de água.	103	141	159		128	189	Este município encontra-se no patamar econômico de perdas, porém deve ser confirmado as suas situações parciais na área de perdas aparentes e reais.
150010	Abaetetuba	PA	43	64	77	O nível ótimo de submedição seguramente é inferior ao calculado, pois faltou considerar as perdas econômicas que resultam das receitas dos serviços de esgoto indexados aos serviços de água.	126	146	155		383	210	Este município encontra-se em uma situação de elevada ineficiência tendo em conta o nível econômico de perdas de água calculado.
230010	Abaiara	CE	27	41	49	O nível ótimo de submedição seguramente é inferior ao calculado, pois faltou considerar as perdas econômicas que resultam das receitas dos serviços de esgoto indexados aos serviços de água.	60	72	76		109	113	Este município encontra-se no patamar econômico de perdas, porém deve ser confirmado as suas situações parciais na área de perdas aparentes e reais.
410010	Abatiá	PR	31	47	57		117	152	168		220	190	Este município encontra-se em uma situação de alguma ineficiência tendo em conta o nível econômico de perdas de água calculado.
310040	Acaíaca	MG	63	83	94		607	698	744		2799	782	Não se comparou a situação atual (INOS1- SNS 2019) com o nível econômico de perdas de água calculado. Inconsistência nos dados de entrada poderá ser uma das causas.