AUDITORIA OPERACIONAL PARA REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS/NRW – CASE COPASA

Alexandre Arruda Atalla[(1)]
Engenheiro Sanitarista e Ambiental Pleno (UCDB), pós-graduando em Gerenciamento de projetos (PUC-MG)
Bruno Ken Marchezepe[(2)]
Engenheiro Civil Júnior e mestrando em Engenharia de Recursos Hídricos pela USP-São Carlos
Matheus Simitan Barros[(3)]
Engenheiro Ambiental Júnior e mestrando em Engenharia Hidráulica pela USP-São Carlos
Márcio Donizeti de Barros Júnior[(4)]
Cientista de Dados Pleno (UNITRI), especialista em Ciência de Dados (Mackenzie) e especialista em business intelligence
Mário Augusto Bággio[(5)]
Engenheiro Civil Master (UEL), especialista em Engenharia Hidráulica (USP) e Sistemas de Gestão (Instituto Fleming).

Endereço[(1)]**:** Rua Quintino Bocaiúva, 1.051 – Vila Seixas – Ribeirão Preto - SP - CEP: 14.020-095 - Brasil - Tel: +55 (16) 3610-3069 - e-mail: contato@waterdb.com.br.

RESUMO

Alcançar o pleno controle das perdas de água/NRW não é tarefa fácil. Antes mesmo de definir uma estratégia e plano de ação de combate às perdas, é preciso haver uma auditoria operacional, com levantamento e diagnóstico do SAA, e cálculo de indicadores e do Nível Econômico de Perdas (NEP). Este trabalho visou a realização desse procedimento, tendo como sistemas piloto o SAA de Montes Claros e de uma zona de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte (ZA08), em parceria com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).

PALAVRAS-CHAVE: Perdas de água, Balanço-Hídrico, Nível Econômico de Perdas.

INTRODUÇÃO

Em um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), perdas de água, também chamada de *Non Revenue Water* (NRW), ou Água Não Faturada (ANF) podem acarretar grandes entraves para companhias de saneamento, desde diminuição do faturamento até incapacidade de atender toda a população, gerando problemas sociais e ambientais. A perda de água pode se dividir em duas parcelas: perdas reais, referentes sobretudo a vazamentos no sistema, e perdas aparentes, geradas por fraudes e irregularidades na medição, ligações clandestinas e erros de submedição de hidrômetros.

Definir uma estratégia de combate e controle das perdas de água/NRW torna-se uma tarefa imprescindível para a companhia de saneamento. Contudo, antes de estabelecer um plano de ação com metas a serem alcançadas, é necessário antes de tudo conhecer o SAA, isto é, levantar dados de distribuição, indicadores, validar os dados e enfim definir um nível de perdas que satisfaça um equilíbrio econômico, de modo que a solução seja viável em todos os aspectos analisados, e traga o benefício almejado.

Este trabalho visou a realização de auditoria operacional de 2 SAA no estado de Minas Gerais, geridos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), bem como a definição de estratégia e plano de ação para controle e redução de perdas de água/NRW. O trabalho contou com a realização de balanços hídricos Top x Down e Bottom x Up, cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP), e ao fim, a definição da estratégia de controle de perdas.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma auditoria operacional para redução e controle de perdas/água não faturada (NRW) e definir uma estratégia de controle de perdas/NRW dos sistemas de abastecimento de água da COPASA, utilizando como piloto o SAA de Montes Claros e de uma zona de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte (ZA08).

METODOLOGIA

O trabalho se deu primeiramente através de levantamento de dados preliminares, condições operacionais, verificação da macromedição e micromedição que a COPASA já estivesse em sua base de dados. Em seguida, através dos dados já reunidos, foram realizados balanços hídricos Top x Down, e Bottom x Up, e cálculo do NEP. Por último, houve determinação de metas e plano de ação dentro da definição de metas. A descrição da base de dados utilizada e de cada etapa é descrita a seguir.

Dados Utilizados

Os locais escolhidos para o estudo piloto da COPASA foram o SAA de Montes Claros e uma zona de abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte, a ZA08, considerando o período de jul/2019 a jun/2020. Para a auditoria operacional, primeiro foi avaliado a qualidade de calibração de modelagem hidráulica. Informações inconsistentes, erros relevantes de cadastro e verificação de atualização de dados é de extrema importância dentro do estudo, visto que, sem confiabilidade nos dados iniciais, ao final, não há confiança nos resultados.

Balanço Hídrico *Top x Down*

Foram elaborados os balanços hídricos *Top x Down* (AWWA, 2009), que usa dados de escritório, para os SAA em estudo, referidos na Figura 1.

	Dados da Zona de Pressão			Granularidade	Unidade	Margem de erro
Volume de entrada da Zona de Pressão	Volume distribuído à Zona de Pressão			horária	m^3/h	%
	Volume Importado			horária	m^3/h	%
	Volume Exportado			horária	m^3/h	%
Consumo Autorizado no setor de abastecimento	Consumo autorizado Faturado	Consumo medido faturado		mensal	m^3/mês	%
		Venda de água por atacado (medido faturado - exportação)		mensal	m^3/mês	%
		Consumo não medido faturado		mensal	m^3/mês	%
		Venda de água por atacado (não medido faturado - exportação)		mensal	m^3/mês	%
	Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado		mensal	m^3/mês	%
		Venda de água por atacado (medido não faturado - exportação)		mensal	m^3/mês	%
		Consumo não medido não faturado		mensal	m^3/mês	%
		Venda de água por atacado (não medido não faturado - exportação)		mensal	m^3/mês	%
Perdas Reais		Comprimento das redes de distribuição		mensal	km	%
		Número de clientes (ativos)		mensal	nº	%
		Número de ligações de clientes registrados		mensal	nº	%
		Número de contas inativas com ligações existente		mensal	nº	%
		Comprimento médio do ramal predial do limite da propriedade até o hidrômetro		mensal	m	%
		Pressão média (Favor citar metodologia de cálculo)		mensal	m.c.a	%
		Abastecimento intermitente	Número de ligações aproximado em determinada área	mensal	nº	%
			Tempo de abastecimento na mesma área (dias por semana)	mensal	dias/semana	%
			Tempo de abastecimento na mesma área (horas por dia)	mensal	h/dia	%

Figura 1: Dados levantados para realização do Balanço Hídrico Top x Down.

Com os dados em mãos, seria possível estimar os consumos entre categoria autorizado e não autorizado, de acordo com a tabela da Figura 2.

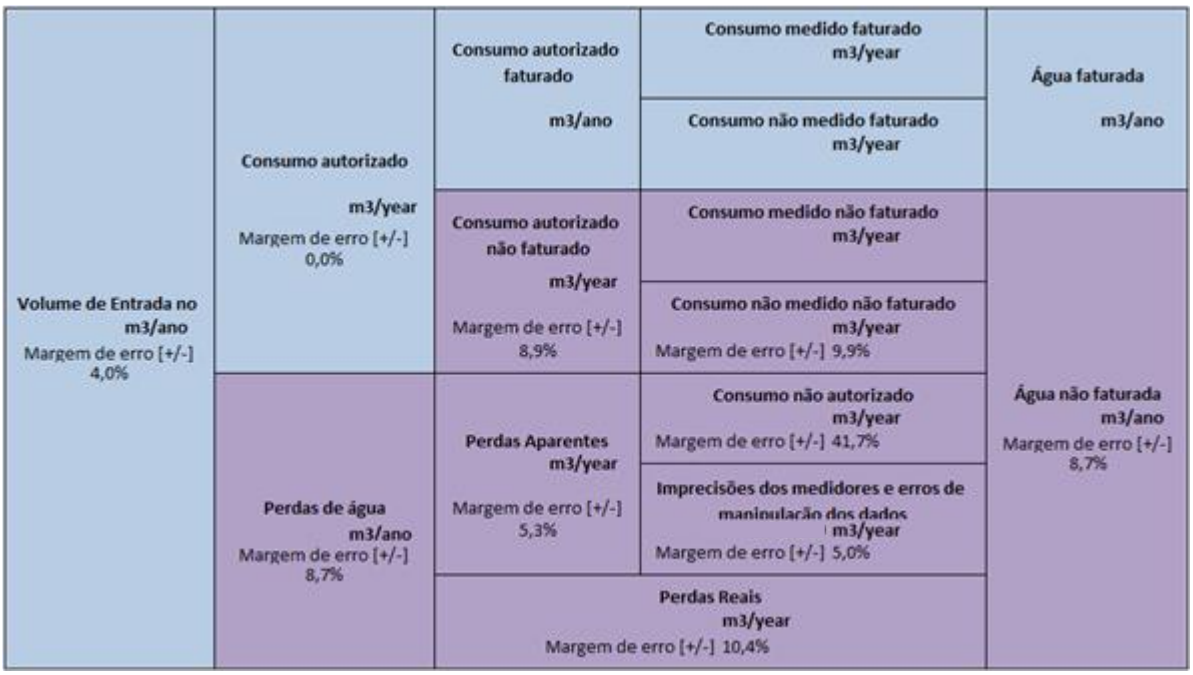


Figura 2: Classificação e quantificação dos consumos dentro de um SAA, resultado de um Balanço Hídrico *Top x Down*.

Balanço Hídrico *Bottom x Up*

De forma a confirmar os resultados de perdas reais obtidas em balanços *Top x Down*, foram realizados balanços hídricos *Bottom x Up* (AESBE, 2015), que usa dados de campo, em 6 Distritos de Medição e Controle (DMCs) para cada projeto piloto. Foram feitas medições de vazão e pressão em cada DMC, e definidos padrões de consumo e possível identificação de perdas reais.

MODELO DE PERDAS EM DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC) - BALANÇO BOTTOM x UP

Sistema	DMC09		Zona/Setor	DISTRITO DE AMOSTRA	Nº DMC	2

Entrar com valores nos espaços em branco (apagar os dados de exemplo)

OBS: PRAI = (18*ER + 0,8*NL)*P; N1 = log (L0 / L1) / log (P0 / P1); L1 = L0 * (P1/P0)^N1

Habitantes	13.916	hab
Ext rede	20	km
Num Ligações	3.479	Ligações totais

N1 ADOTADO (ESTIMADO PARA MONTES CLAROS): 2,50

PERFIS DIÁRIOS

ORDEM	HORÁRIO	Pressões médias	Volumes horários de vazamentos	Perdas Inerentes IWA	Perdas inevitáveis - IWA	Consumo Autorizado + Perdas Aparentes	Volume de entrada
		mca	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
1	00:00 - 01:00	27,27	19,25	1,05	3,90	17,41	36,65
2	01:00 - 02:00	27,45	19,57	1,06	3,97	10,45	30,01
3	02:00 - 03:00	27,40	19,48	1,06	3,95	9,74	29,22
4	03:00 - 04:00	28,00	20,56	1,12	4,17	5,39	25,94
5	04:00 - 05:00	27,49	19,64	1,07	3,98	6,57	26,21
6	05:00 - 06:00	26,65	18,18	0,99	3,69	6,88	25,06
7	06:00 - 07:00	26,02	17,13	0,93	3,47	14,18	31,31
8	07:00 - 08:00	24,91	15,35	0,83	3,11	35,78	51,13
9	08:00 - 09:00	23,79	13,68	0,74	2,77	54,48	68,17
10	09:00 - 10:00	22,88	12,42	0,67	2,52	95,11	107,52
11	10:00 - 11:00	24,21	14,30	0,78	2,90	69,30	83,60
12	11:00 - 12:00	24,15	14,21	0,77	2,88	63,41	77,62
13	12:00 - 13:00	24,57	14,83	0,81	3,01	63,15	77,98
14	13:00 - 14:00	25,12	15,67	0,85	3,18	57,11	72,79
15	14:00 - 15:00	24,89	15,33	0,83	3,11	51,15	66,48
16	15:00 - 16:00	24,83	15,22	0,83	3,09	54,58	69,81
17	16:00 - 17:00	24,34	14,50	0,79	2,94	55,80	70,30
18	17:00 - 18:00	24,63	14,93	0,81	3,03	56,02	70,95
19	18:00 - 19:00	24,87	15,29	0,83	3,10	57,72	73,01
20	19:00 - 20:00	25,84	16,82	0,91	3,41	49,09	65,91
21	20:00 - 21:00	26,30	17,58	0,95	3,57	40,27	57,85
22	21:00 - 22:00	26,82	18,46	1,00	3,74	35,36	53,82
23	22:00 - 23:00	26,73	18,32	0,99	3,71	28,14	46,45
24	23:00 - 00:00	27,21	19,15	1,04	3,88	21,88	41,03
25	00:00 - 01:00	27,33	19,35	1,05	3,92	20,42	39,77
26	01:00 - 02:00	27,56	19,76	1,07	4,01	16,03	35,78
27	02:00 - 03:00	27,46	19,59	1,06	3,97	10,26	29,85
28	03:00 - 04:00	27,58	19,81	1,08	4,02	6,71	26,52
29	04:00 - 05:00	27,45	19,57	1,06	3,97	7,03	26,59
30	05:00 - 06:00	27,19	19,11	1,04	3,87	5,67	24,78
31	06:00 - 07:00	25,97	17,03	0,92	3,45	7,62	24,65
32	07:00 - 08:00	25,56	16,38	0,89	3,32	10,65	27,03
33	08:00 - 09:00	24,82	15,22	0,83	3,09	27,49	42,71
34	09:00 - 10:00	23,99	13,97	0,76	2,83	36,54	50,51
35	10:00 - 11:00	24,20	14,28	0,78	2,90	53,74	68,02
36	11:00 - 12:00	23,75	13,63	0,74	2,76	58,46	72,09
37	12:00 - 13:00	24,55	14,80	0,80	3,00	58,34	73,14
38	13:00 - 14:00	25,01	15,50	0,84	3,14	57,83	73,33
39	14:00 - 15:00	25,46	16,22	0,88	3,29	50,57	66,79
40	15:00 - 16:00	25,57	16,38	0,89	3,32	42,71	59,10
41	16:00 - 17:00	24,79	15,17	0,82	3,08	39,52	54,70
42	17:00 - 18:00	24,87	15,29	0,83	3,10	40,64	55,93
43	18:00 - 19:00	24,78	15,15	0,82	3,07	45,47	60,62
44	19:00 - 20:00	25,28	15,92	0,86	3,23	51,98	67,90
45	20:00 - 21:00	26,08	17,22	0,93	3,49	44,02	61,24
46	21:00 - 22:00	26,57	18,04	0,98	3,66	37,03	55,07
47	22:00 - 23:00	26,52	17,96	0,97	3,64	31,25	49,21
48	23:00 - 00:00	26,97	18,73	1,02	3,80	26,69	45,42
	PMS - TOTAIS:	**25,7**	**804**	**44**	**163**	**1.746**	**40**
						anual	**34,4**
						637.161	

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:	**3,38**
Vazão mínima noturna - m³/h:	**24,65**
Consumo mínimo noturno legítimo - % de Q min:	**26,25%**
Consumo mínimo noturno legítimo - critério SABESP m³/h:	**6,47**
Vazão de perdas na hora mínima nocturna - m³/h:	**18,18**

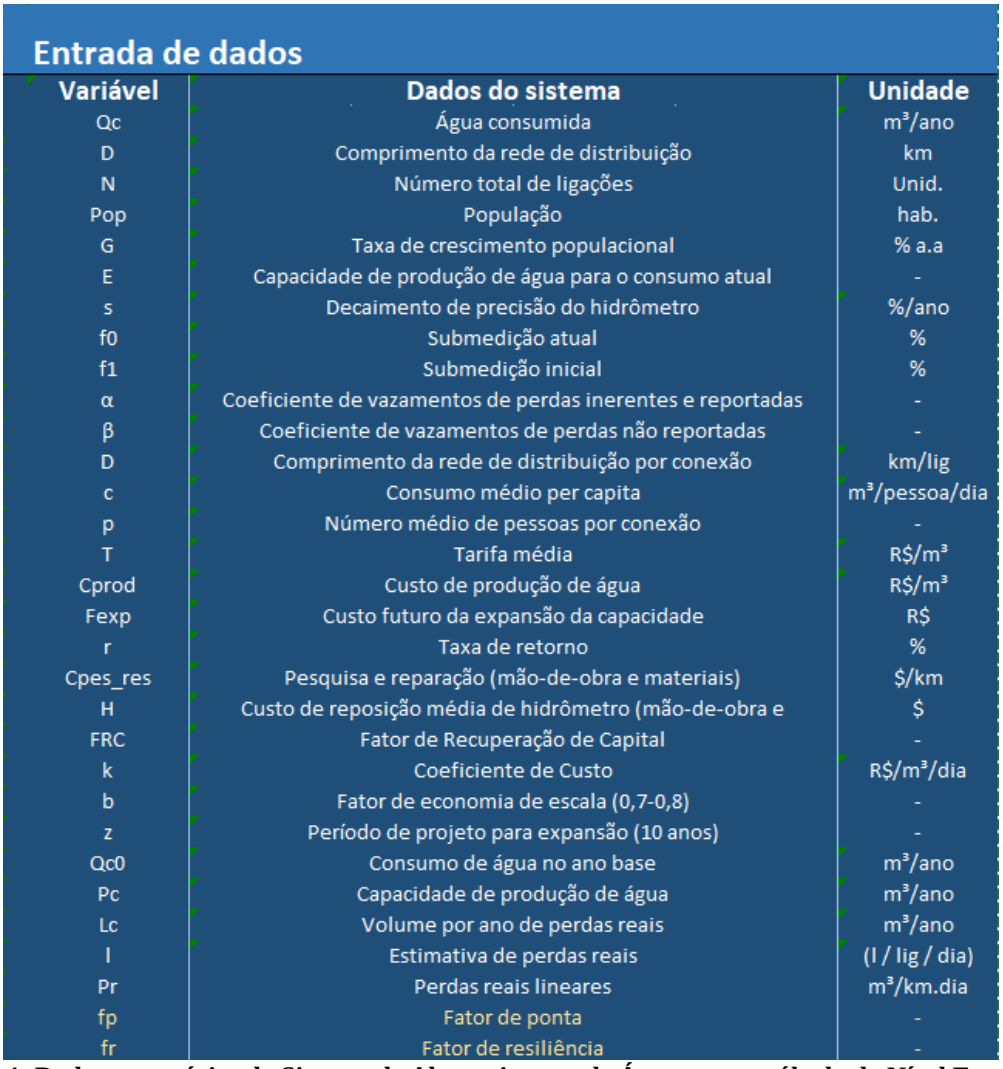
INDICADORES DO DMC

PERDAS REAIS ANUAIS CORRENTES:	146.718	M³/AÑO		
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS$_{IWA}$:	29.610	M³/AÑO	ILI	5,0
PERDAS REAIS EM L / LIG /DIA:	116	L/CON/DIA	PR % do Vol. Entrada	1991,01%
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	0,819	(m³/h)/km rede	Densidade de ligações - com/km rede	170,12

Figura 3: Tabela de preenchimento de dados levantados em campo para a realização de Balanço Hídrico *Bottom x Up*.

Nível Econômico de Perdas

Após o ajuste das perdas, foi calculado o Nível Econômico de Perdas (Wyatt, 2010), ou NEP, para todos os SAA's, através de preenchimento de dados (Figura 4) em planilha já automatizada. O resultado são 2 valores de NEP: um para perdas reais, e outro para perdas aparentes, que somados representam as perdas totais do sistema que equilibram as perdas do ponto de vista financeiro.



Entrada de dados		
Variável	**Dados do sistema**	**Unidade**
Qc	Água consumida	m³/ano
D	Comprimento da rede de distribuição	km
N	Número total de ligações	Unid.
Pop	População	hab.
G	Taxa de crescimento populacional	% a.a
E	Capacidade de produção de água para o consumo atual	-
s	Decaimento de precisão do hidrômetro	%/ano
f0	Submedição atual	%
f1	Submedição inicial	%
α	Coeficiente de vazamentos de perdas inerentes e reportadas	-
β	Coeficiente de vazamentos de perdas não reportadas	-
D	Comprimento da rede de distribuição por conexão	km/lig
c	Consumo médio per capita	m³/pessoa/dia
p	Número médio de pessoas por conexão	-
T	Tarifa média	R$/m³
Cprod	Custo de produção de água	R$/m³
Fexp	Custo futuro da expansão da capacidade	R$
r	Taxa de retorno	%
Cpes_res	Pesquisa e reparação (mão-de-obra e materiais)	$/km
H	Custo de reposição média de hidrômetro (mão-de-obra e	$
FRC	Fator de Recuperação de Capital	-
k	Coeficiente de Custo	R$/m³/dia
b	Fator de economia de escala (0,7-0,8)	-
z	Período de projeto para expansão (10 anos)	-
Qc0	Consumo de água no ano base	m³/ano
Pc	Capacidade de produção de água	m³/ano
Lc	Volume por ano de perdas reais	m³/ano
I	Estimativa de perdas reais	(l / lig / dia)
Pr	Perdas reais lineares	m³/km.dia
fp	Fator de ponta	-
fr	Fator de resiliência	-

Figura 4: Dados necessários do Sistema de Abastecimento de Água para o cálculo do Nível Econômico de Perdas (NEP).

Estratégia para Controle e Redução de Perdas de Água/NRW

Definidos os valores de NEP e dados do sistema dentro da auditoria operacional, o próximo passo então foi definir as estratégias e planos de ação para o controle e redução de perdas de água/NRW. Dentro dessa etapa, as ações seriam divididas em categorias: Perdas Reais (Tabela 1), Perdas Aparentes (Tabela 2), e Gestão (Tabela 3). A categoria de Gestão refere-se à gestão estratégica, que trata da liderança, conhecimentos técnicos e métodos (itens 1 e 2), e gestão operacional, com medidas estruturantes (itens 3 a 5).

Tabela 1: Plano de Ações de controle e combate às Perdas Reais.

Estágios da Estratégia	Plano de Ação	Categoria	Unidade
1. Gerenciamento de pressão	1.1. Aquisição de nova tecnologia em VRPs existentes (duplo piloto)	CAPEX	Un
	1.2. Instalação de nova tecnologia em VRP's existentes	CAPEX	Un
	1.3. Aquisição de novas VRP's	CAPEX	Un
	1.4. Instalação de novas VRP's	CAPEX	Un
2. Plano de detecção de vazamento ativo	2.1. Campanhas convencionais de detecção de vazamentos (bastão de escuta e geofones), precedidas por BH Bottom x up	OPEX	Km
	2.2. Campanhas de detecção de vazamento	OPEX	Nº de Equipes com

	de equipamentos de ruído, precedidas por BH Bottom x up		3 pessoas
3. Manutenção e renovação de infraestrutura	3.1. Renovação de ligações	CAPEX	Un
	3.2. Renovação de Redes	CAPEX	Km
4. Melhorar os tempos de reparo da rede	4.1.Reparo de vazamentos não visíveis nas redes e ligações	OPEX	Un
	4.2. Reparação de vazamentos visíveis em redes e ligações	OPEX	Un

Tabela 2: Plano de Ações de controle e combate às Perdas Aparentes.

Etapas da Estratégia	Plano de ação	Categoria	Unidade
1. Gestão de micromedição	1.1. Renovação de micromedidores de grandes consumos	CAPEX	Un
	1.2. Renovação de micromedidores de pequeno e médio consumo	CAPEX	Un
2. Gestão de Ilícitos	2.1. Campanhas de detecção ilegal e clandestina	OPEX	Nº de equipes com 3 perssoas

Tabela 3: Plano de Ações de controle e combate às perdas de água quanto à gestão.

Etapas da Estratégia	Planos de ação	Categoria	Unidade
1.CONHECIMENTO TÉCNICO	1.1. Treinamento - presencial e OJT (treinamento On / Off de trabalho)	OPEX	Horas
	1.2. Treinamento a distância	OPEX	Horas
	1.3. Qualificação e certificação de mão de obra	OPEX	Horas
2. AÇÕES	2.1. Implantação de Sistemas de Gestão ISO	OPEX	Unid.
	2.2. Implantação do Controle Estatístico de Volumes Macro e Micromedido (método MASP_PERDAS)	OPEX	Unid.
	2.3. Implantação do Plano de Operação do SAA	OPEX	Unid.
	2.4. Implantação do Plano de Contingência da Operação do SAA	OPEX	Unid.
	2.5. Melhoria de Cadastro Técnico e Comercial	OPEX	Profissionais
	2.6. Controle de Qualidade de Materiais e Equipamentos	OPEX	Profissionais
	2.7. Melhoria de Critérios e Projetos e Obras	OPEX	Profissionais
3. SETORIZAÇÃO	3.1. Implantação de Setores	CAPEX	Unid.
	3.2. Implantação de Zonas de pressão	CAPEX	Unid.
	3.3. Implantação de DMC's	CAPEX	Unid.
4. MACROMEDIÇÃO	4.1. Implementação de macromedidores de linha de base para vazão/volume (saída de ETA's ou sistemas de cloração/fluoretação)	CAPEX	Unid.
	4.2. Implementação de macromedidores de vazão/volume em setores, zonas e DMC's	CAPEX	Unid.
	4.3. Controle de pressão e níveis de água	CAPEX	Unid.
5. TECNOLOGIA	5.1. Plataforma de TI para	OPEX	Unid.

APLICADA	gerenciamento de perdas reais		
	5.2. Implantação de CCO	OPEX	Unid.
	5.3. Ferramenta de BI	OPEX	Unid.

RESULTADOS OBTIDOS

As modelagens se mostraram calibradas e confiáveis para a utilização e confirmação do ponto pressão médio, necessário para o estudo de BH Bottom x Up.

Balanço Hídrico *Top x Down*

Com a confirmação, os balanços hídricos Top x Down foram realizados, obtendo, para Montes Claros e ZA08 respectivamente, um ILI de 7 e 6, perdas reais em L/lig/dia na ordem de 256 e 362 e perdas totais em L/lig/dia de 338 e 441, atingindo uma categoria B de perdas. Essa categoria significa que há um potencial significativo para melhorias no abastecimento dos projetos pilotos.

Balanço Hídrico *Bottom x Up*

Para a confirmação desses dados, o Balanço Hídrico *Bottom x Up* foi realizado, resultando em um ILI ponderado de 9 e 7 e perdas reais ponderadas em L/lig/dia na ordem de 338 e 290 para Montes Claros e ZA08, respectivamente.

Nível Econômico de Perdas

Ajustado o balanço de escritório a partir do balanço de campo, foi calculado o NEP, resultando em um objetivo de atingir 62 e 103 L/lig/dia de perdas totais, respectivamente. Os gráficos do SAA de Montes Claros e ZA08 estão nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

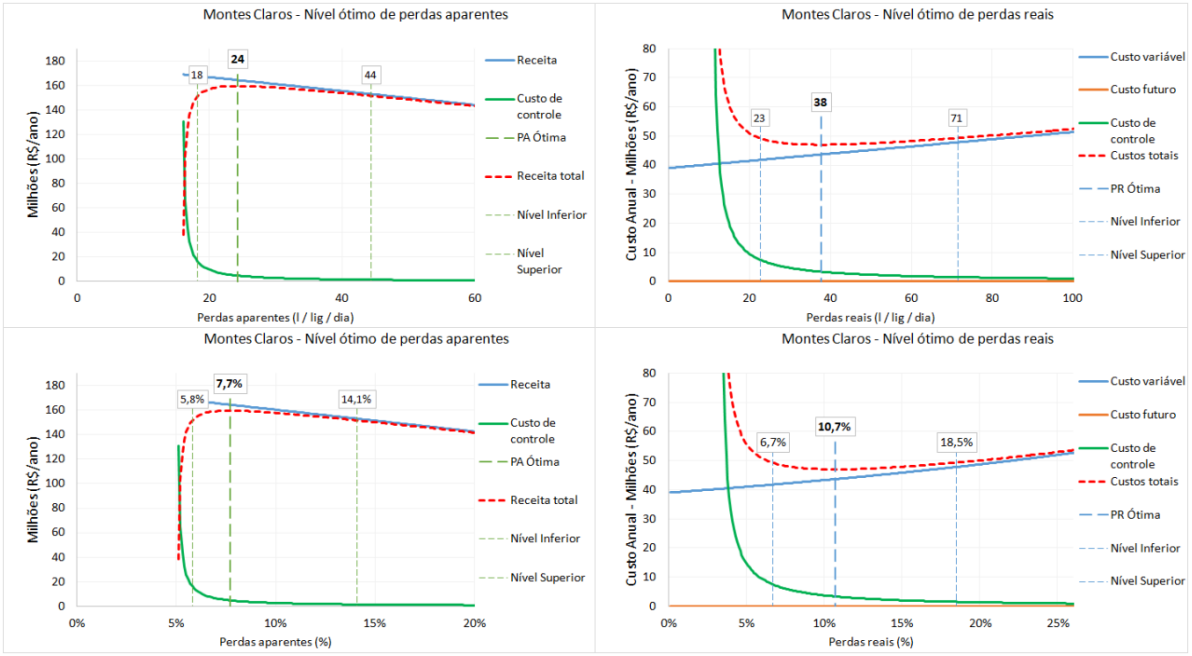


Figura 5: Gráficos de Nível Econômico de Perdas Aparentes e Reais do SAA de Montes Claros.

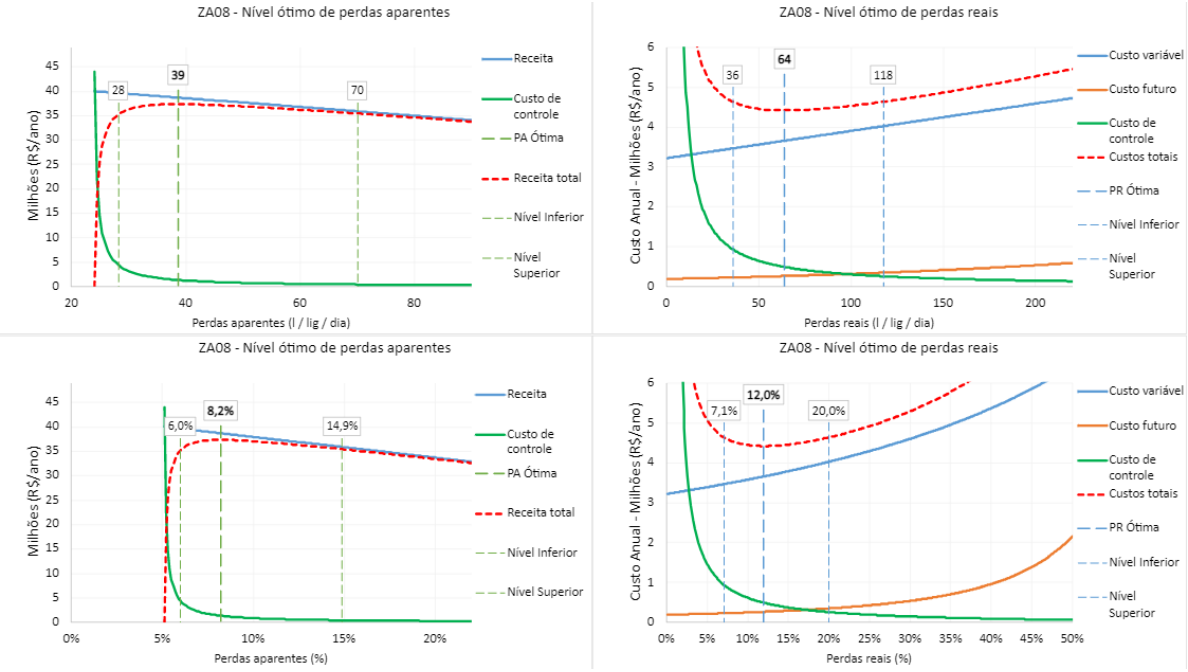


Figura 6: Gráficos de Nível Econômico de Perdas Aparentes e Reais da ZA08.

Estratégia para Controle e Redução de Perdas de Água/NRW

Com a meta em mãos, foram definidas as estratégias de controle de perdas, onde foram separadas as áreas de ataque para o método A (grandes áreas) e método B (DMCs e áreas isoladas). Com as áreas definidas e com uma avaliação detalhada da modelagem hidráulica, foi previsto um plano de ação para cada SAA para atingimento da meta em 5 anos. O projeto prevê melhorias e instalações de VRPs, Bombas, troca de redes e ramais e troca de hidrômetros visando atingir as metas.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados mostraram-se dentro do esperado, e foram de grande utilidade como projetos piloto dentro do ambiente da COPASA. De maneira geral, um valor de ILI de 6 a 9 revela que o sistema perde de 6 a 9 vezes mais do que deveria, e mostrando valores de perda muito acima do NEP, demonstrando que há muito a ser feito dentro do combate às perdas de água dos sistemas. Contudo, o estabelecimento de uma estratégia já demonstra o interesse em melhorar a situação e representa um primeiro passo em um combate eficaz de perdas de água/NRW.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A Auditoria Operacional, mesclando ferramentas conhecidas, mas de maneira inovadora, permitiu uma adequada formulação de Estratégia de Controle de Perdas. A implantação dos planos de ação para solução dos problemas de perda dos projetos piloto para o período de 5 anos foi desenvolvido de forma inovadora, uma vez que foi precedido de uma completo diagnóstico, viabilizada em grande parte devido à existência do modelo hidráulico desenvolvido pela COPASA. A partir disso, foi possível com a determinação de metas pelo NEP, condição essencial para a efetiva implementação do Processo de Execução de uma Estratégia de Controle de Perdas. Espera-se que a COPASA venha a realizar mais projetos como este, visto que conhecer bem os sistemas, seus entraves e metas individuais é essencial para o controle de perdas de água/NRW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA - American Water Works Association. **Water audits and loss control programs. (3ª. Ed.).** M36 Publication Rewrite, Denver, CO: AWWA Publication, Estados Unidos da América, 2009.

2. AESBE - Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Guias práticos: Série balanço Hídrico.** 1º Vol. Brasília, DF: AESBE. 2015.

3. WYATT, A. **Non-revenue water: financial model for optimal management in developing countries**. RTI International, Research Triangle Park, Carolina do Norte, Estados Unidos da América. 2010.