

## XI-074 - AVALIAÇÃO DE PERDAS REAIS E APARENTES NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

**Anna Carolina Bonilauri Moll<sup>(1)</sup>**

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) em 2012, cursando Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental na Universidade Federal do Paraná (PPGERHA - UFPR).

**Marcelo Dalcul Depexe<sup>(2)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheiro da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

**Stella Maris da Cruz Bezerra<sup>(3)</sup>**

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (PUC- PR) e Saneamento (CEFET – MG), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Ph.D em Engenharia Ambiental e Pós-Doutorado em Ciências Ambientais pela University of Guelph (UOFG – Canadá). Professora Titular no Departamento Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

**Cristovão Vicente S. Fernandes<sup>(4)</sup>**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Hidráulica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ph.D em Engenharia Ambiental pela University of Toronto (UOFT - Canadá) e Pós-Doutorado na Colorado State University. Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR)

**Selma Aparecida Cubas<sup>(5)</sup>**

Professora Adjunta do Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR) e Doutora em hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rio Japurá, 473 – Bairro Alto – Curitiba – PR – CEP: 82840-220 – Brasil – Tel: (41) 3153-1169 – e-mail: acbmoll@gmail.com.

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as perdas de água nos distritos de medição e controle (DMCs) pertencentes ao maior sistema de abastecimento de água (SAA) do Paraná, o Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), que é de concessão da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas: na etapa preliminar foi feita a seleção dos DMCs a serem utilizados; na etapa 1 foram realizados o levantamento de dados dos DMCs correspondente ao período de Janeiro a Dezembro de 2017 e determinadas as perdas reais e aparentes por meio do método do balanço hídrico da *International Water Association* (IWA); na etapa 2 foram aplicados indicadores de avaliação. Foram selecionados 92 DMCs (84% do SAIC) para avaliação, considerando a disponibilidade de informações corresponde aos 12 meses do ano de 2017, sendo que o valor total para as perdas reais foi de 2.577 L/s (78% das perdas totais), o que se aproxima da capacidade de dois sistemas produtores do SAIC, aproximadamente. Avaliando as perdas reais nos diferentes DMCs, observou-se a complexidade do SAIC, em função das diferentes características dos DMCs, incluindo extensão de rede, pressão, número de ligações. Os valores do Indicador de Perdas reais por Ligação (IPLr 2017) variaram entre 56,1 L/ligação.dia a 1.480,8 L/ligação.dia, e o Indicador de Perda Aparente por Ligação (IPLa 2017) variou entre 7,5 L/ligação.dia a 550,9 L/ligação.dia, sendo identificadas as áreas em que as perdas aparentes são próximas ou superiores as perdas reais, cuja ação pode ser imediata e menos complexa, uma vez que est[a relacionada apenas a troca periódica de hidrômetros, já estabelecido nas diretrizes de troca da companhia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de abastecimento de água, Perdas em sistemas de abastecimento, Balanço hídrico, Indicadores.

## INTRODUÇÃO

O “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”, publicado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) e baseado em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), divulga anualmente um panorama nacional brasileiro do saneamento. No último relatório publicado em 2018, a região sul, por exemplo, apresentou cobertura de atendimento urbano de rede de água de 100%, mas 56,1% do esgoto gerado não recebe nenhum tipo de tratamento, sendo aportado diretamente nos corpos hídricos (BRASIL, 2018). Isso reflete diretamente na degradação da qualidade dos recursos hídricos, que vinculado ao aumento no número de secas, gera um cenário preocupante a respeito da disponibilidade hídrica brasileira. Cabe salientar que, em 2016, o número de secas no Brasil superou o dobro do registrado em 2015 (BRASIL, 2017).

Agravando mais a situação no tocante à disponibilidade hídrica, os sistemas de abastecimento de água (SAAs), que são responsáveis pelo fornecimento de água para a população, sempre possuem perdas de água (PENA, 2010). Segundo Lambert e Hirner (2000), o conceito de perdas corresponde à diferença entre o volume de entrada do sistema e o volume autorizado pela concessionária, seja ele medido ou não. Tais perdas são muito elevadas nos SAAs brasileiros, em comparação com diversos países desenvolvidos.

No Brasil, as regiões norte e nordeste, menos urbanizadas e com maior fragilidade econômica, possuem os maiores indicadores de perdas, sendo a grande parte superior a 45% (BRASIL, 2018). Por outro lado, a maioria dos estados da região centro-oeste, sudeste e sul ficam abaixo do nível médio de perdas média nacional no Brasil (38,1%) (BRASIL, 2018). Em contrapartida, de acordo com dados de 2014 do *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (DANILENKO et al., 2014) países desenvolvidos, como Austrália e Polônia, possuem perdas de 15%, o que evidencia um melhor desempenho operacional dos prestadores de serviço.

Diante do cenário apresentado, tem-se uma situação paradoxal estabelecida: de um lado existem áreas urbanizadas, que podem apresentar baixa disponibilidade hídrica e passíveis de secas, mas ao mesmo tempo ocorrem muitas perdas nos SAAs, implicando no desequilíbrio entre oferta e demanda dessas regiões. Logo, faz-se necessário que concessionárias utilizem métodos e estratégias que possam identificar quais são os tipos de perdas, onde ocorrem e seus respectivos volumes, para então tomar ações que permitam a sua redução.

Para abordar este problema das perdas, a *International Water Association* (IWA) padronizou em 2000 a terminologia a ser utilizada sobre perdas de água e sugere um método baseado no estudo de Lambert e Hirner (2000), denominado balanço hídrico (KLINGEL e KNOBLOCH, 2015). Nesse método, o volume total de água é dividido em volume autorizado (corresponde ao volume assentido pela operadora) e perdas totais, que por sua vez se subdivide em perdas reais (vazamentos) e aparentes (ligações irregulares, fraudes e submedições de hidrômetros).

Com base nos resultados fornecidos pelo balanço hídrico, é possível determinar indicadores para visualizar o grau de desempenho dos sistemas e fazer o acompanhamento da eficiência das medidas tomadas para controle de perdas. Dentre os indicadores recomendados pela IWA, pode-se citar o indicador de perdas por ligação (IPL), o índice de vazamentos da infraestrutura (IVI), indicador de perdas por extensão (IPE) e o indicador percentual (IP), todos equacionados no *Performance Indicators for Water Supply Services* (ALEGRE et al., 2017).

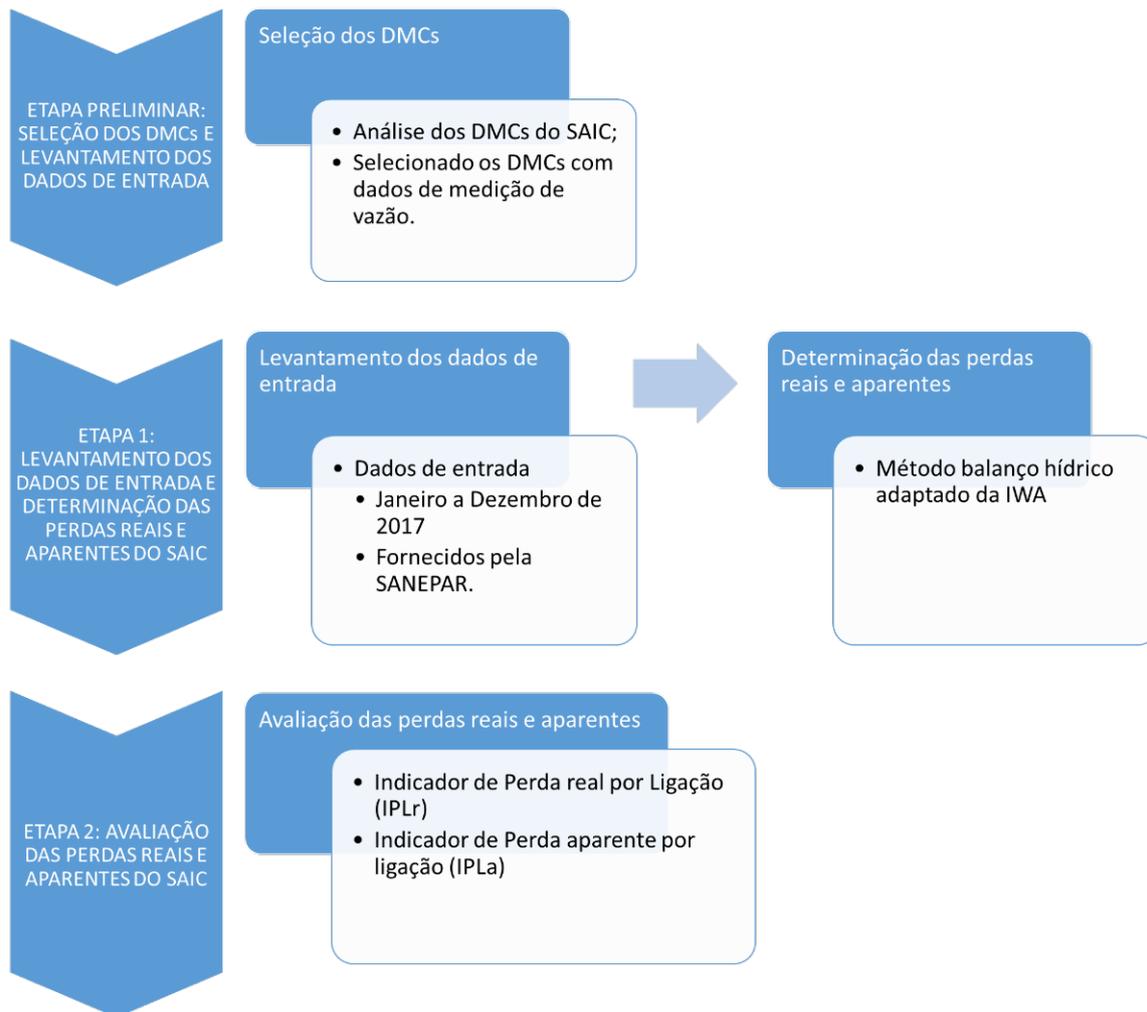
A partir do contexto apresentado, esta pesquisa tem por objetivo determinar as perdas de água, para então avaliar as condições operacionais dos distritos de medição e controle (DMC), do Sistema de Abastecimento Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), utilizando a matriz do balanço hídrico proposto pela IWA.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Sistema de Abastecimento Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC), que além de incluir a cidade de Curitiba, também integra outros 11 municípios da Região Metropolitana, sendo eles: Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras e São José dos Pinhais. O SAIC é de concessão da Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (SANEPAR). De acordo com os dados do

último Plano Diretor de Água do SAIC, este sistema produz aproximadamente 9,5 m<sup>3</sup>/s, possui 58 centros de reservação (com volume total de 377.650m<sup>3</sup>) e distribui água tratada para aproximadamente 2,8 milhões de habitantes (SANEPAR, 2013).

Para cumprir o objetivo proposto, a pesquisa foi dividida em três etapas, que foram representadas por meio de um organograma, apresentado na Figura 1.



**Figura 1: Organograma das etapas da pesquisa.**  
**FONTE: Autores (2019).**

As etapas de trabalho foram descritas a seguir:

### **ETAPA PRELIMINAR: SELEÇÃO DOS DMCs**

O trabalho teve início com a seleção dos DMCs que seriam avaliados, uma vez que não foi possível considerar todos os que compõem o SAIC, devido às falhas no sistema de medição e controle, o que resultou em falta de dados de volumes que compreendesse 12 meses ininterruptos.



## RESULTADOS DA ETAPA PRELIMINAR

Foram selecionados 92 DMCs que possuem área destacadas na Figura 2 pela cor verde e os DMCs não avaliados estão representados pela área colorida em vermelho. Ou seja, do total de 842.033 ligações de água que compõe o SAIC foram avaliadas 706.142 ligações, o que corresponde a uma cobertura de aproximadamente 84% do SAIC.

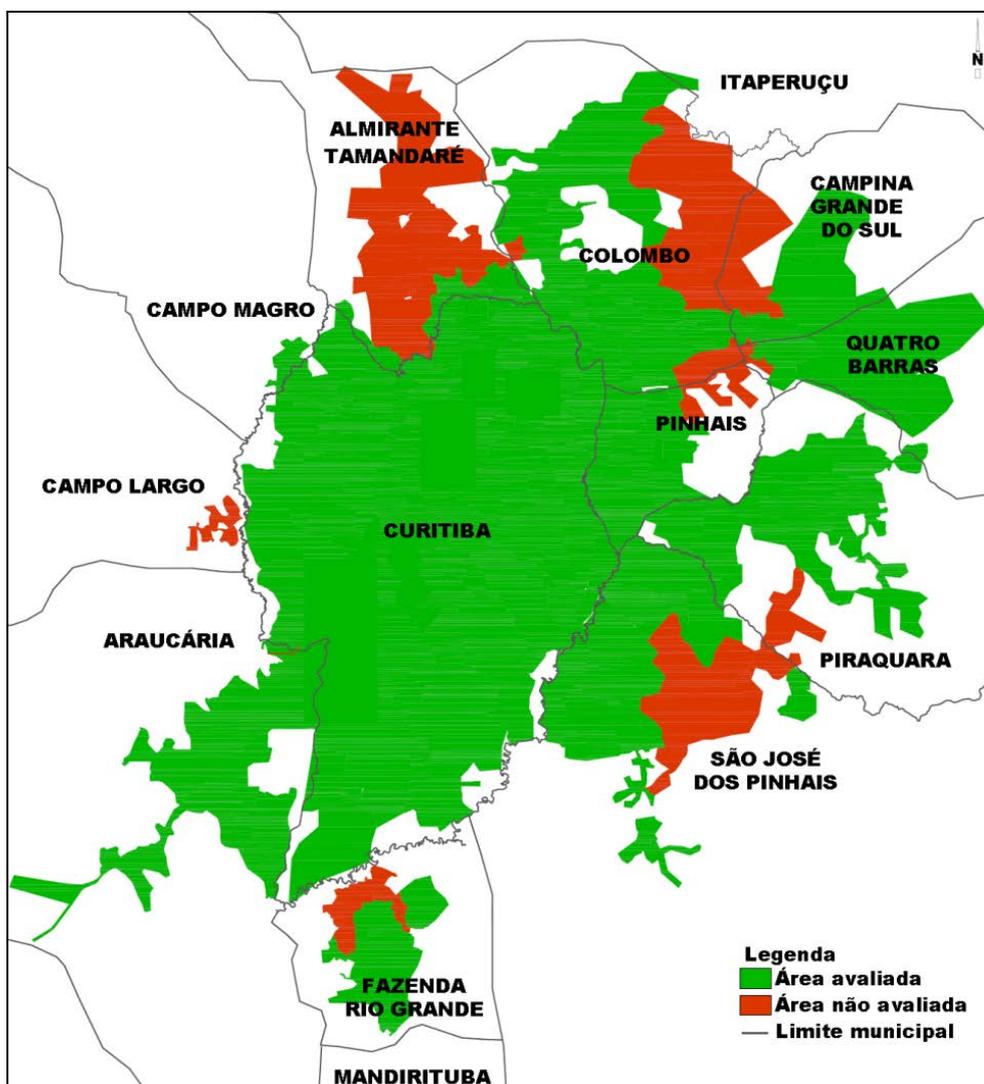


Figura 2: Área dos DMCs do SAIC avaliados e não avaliados  
FONTE: Autores (2019).

## ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE DADOS E DETERMINAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES DO SAIC

Quanto ao levantamento de dados a serem utilizados no balanço hídrico, denominados como DADOS DE ENTRADA, foram coletados internamente na SANEPAR, na unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP). Os dados de entrada consideram 12 meses de medição e o ano de 2017. Os dados levantados e as respectivas descrições e origens estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Dados de entrada, descrição do dado e origem da informação.**

<b>Dados levantados</b>	<b>Descrição do dado</b>	<b>Origem da informação SANEPAR (2017a)</b>
N	N = corresponde ao número de ligações do DMC (ligação).	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume medido faturado	Volume medido faturado = corresponde ao volume micromedido da rede de distribuição (m <sup>3</sup> /ano): Volume micromedido = corresponde ao volume total de água que foi utilizado pelos consumidores (m <sup>3</sup> /ano).	
Volume não medido faturado	Volume não medido faturado = corresponde ao volume utilizado por caminhão pipa (m <sup>3</sup> /ano): Volume utilizado por caminhão pipa = corresponde ao volume total que foi utilizado por caminhões pipa (m <sup>3</sup> /ano). Esse volume foi estimado, pois não se faz uso de equipamentos medidores de vazão na entrada do caminhão pipa.	Estimativa feita pela unidade de gerência de desenvolvimento operacional (GDOP).
Volume não medido não faturado	Volume não medido não faturado = corresponde ao uso operacional e especial do sistema (m <sup>3</sup> /ano). Volume operacional e especial = corresponde ao volume purgas de rede (uso operacional) e o volume utilizado pelos bombeiros para combate a incêndio (volume especiais) (m <sup>3</sup> /ano). Estes volumes são estimados, pois não se faz uso de equipamentos medidores de vazão nas purgas de rede nem em combates a incêndios.	
Volume medido não faturado	Volume medido não faturado = corresponde ao consumo interno de água nos escritórios da SANEPAR (m <sup>3</sup> /ano).	Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas – Sapiens.
Volume autorizado faturado	Volume autorizado faturado = soma do volume medido faturado e o volume não medido faturado (m <sup>3</sup> /ano). Volume medido faturado = corresponde ao volume micromedido da rede de distribuição (m <sup>3</sup> /ano). Volume não medido faturado = corresponde ao volume utilizado por caminhão pipa (m <sup>3</sup> /ano).	
Volume autorizado total (VAT)	Volume autorizado total (VAT) = soma do volume autorizado faturado e o volume autorizado não faturado (m <sup>3</sup> /ano). Volume autorizado faturado = soma do volume medido faturado e o volume não medido faturado (m <sup>3</sup> /ano). Volume autorizado não faturado = soma do volume medido não faturado e o volume não medido não faturado (m <sup>3</sup> /ano).	
Volume de entrada do sistema (VE)	Volume de entrada no sistema (VE) = corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório, somado ao volume importado para o DMC e descontado o volume exportado do DMC (m <sup>3</sup> /ano). Volume medido a jusante do reservatório = corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório (m <sup>3</sup> /ano). Volume importado = corresponde ao volume trazido para o DMC proveniente de outra região (m <sup>3</sup> /ano). Volume exportado = corresponde ao volume extraído do DMC e direcionada para outra região (m <sup>3</sup> /ano).	

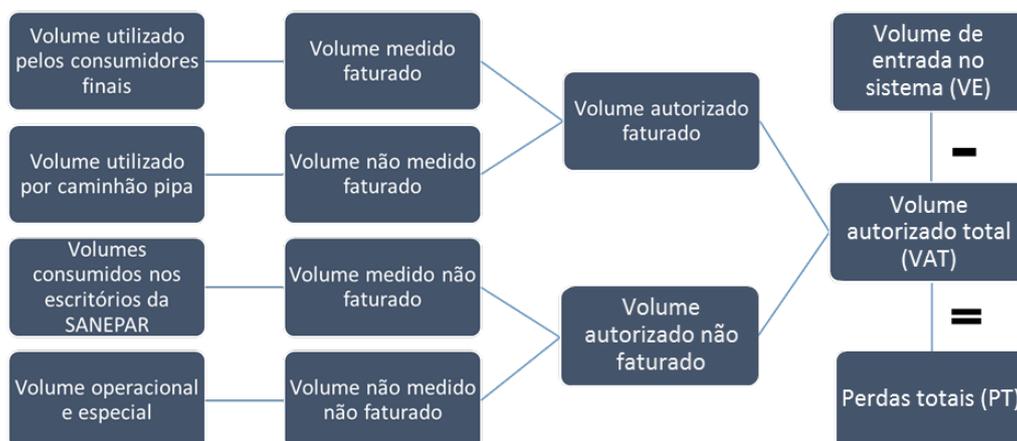
**FONTE: Autores (2019).**

De posse dos dados de entrada, a etapa seguinte consistiu em determinar as perdas reais e aparentes com base no método do balanço hídrico. A escolha desse método foi pelo fato desse já ter sido utilizado por diversos países, inclusive por diversas companhias de saneamento brasileiras, como a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. Outro fator para a escolha foi pela facilidade de aplicação, tendo em vista a disponibilidade dos dados fornecidos pela SANEPAR, e por não exigir a instalação de novos equipamentos, nem equipes da concessionária para obtenção dos dados, o que implicaria em maiores custos e tempo de execução.

Destaca-se que o balanço hídrico do SAIC foi aplicado a jusante dos reservatórios pertencentes ao SAA, onde normalmente ocorrem mais de 90% das perdas de água, o que difere da aplicação da IWA, que considera todo o sistema de abastecimento (captação, produção e distribuição).

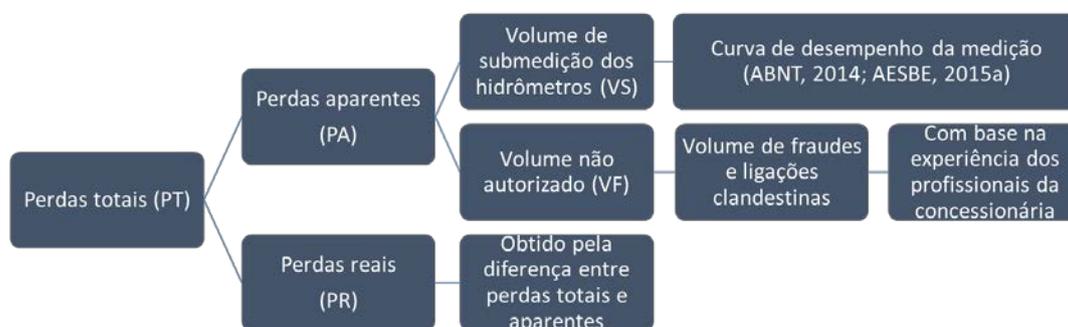
Outra adaptação feita do método original da IWA foi que o volume utilizado por caminhões pipa foi considerado como volume não medido faturado, uma vez que a SANEPAR não possui medição em caminhões pipa, mas fatura com a venda de água. Para a IWA, o volume utilizado por caminhões pipa é definido como medido não faturado.

A determinação das perdas totais pelo método do balanço hídrico para os DMCs selecionados foi realizada conforme a esquematização apresentada na Figura 3 e a determinação das perdas reais e aparentes foi feita conforme o esquema apresentado na Figura 4.



**Figura 3: Esquematização da determinação das perdas totais do SAA**

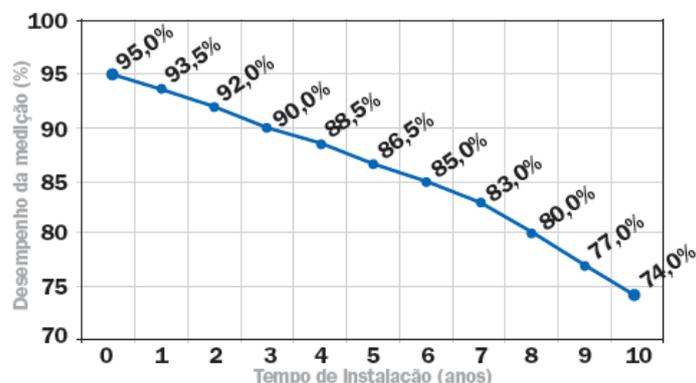
**FONTE: Autores (2019).**



**Figura 4: Esquematização da determinação das perdas reais e aparentes do SAA**

**FONTE: Autores (2019).**

O método utilizado para a determinação do volume de submedição dos hidrômetros foi o da curva de desempenho da medição, preconizado pela NBR 15538 – Medidores de água potável – ensaios para a avaliação de eficiência (ABNT, 2014), sendo a curva de desempenho utilizada nessa pesquisa foi a recomendada pela Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento – AESBE, apresentada na Figura 5.



**Figura 5: Curva de desempenho para hidrômetros utilizada para a determinação do volume de submedição**  
**FONTE: AESBE (2015).**

A outra parcela das perdas aparentes corresponde ao volume não autorizado, que é o volume de fraudes e ligações clandestinas. Tal volume, por não ter medição, foi estimado por profissionais da SANEPAR, com base na experiência operacional do SAIC.

Para melhor visualização, foi apresentado na Tabela 2 um resumo dos procedimentos de cálculo utilizados para a determinação das perdas reais e aparentes de acordo com o método do balanço hídrico.

**Tabela 2: Resumo para a determinação das perdas pelo método do balanço hídrico da IWA (2017)**

Tipo de perda	Forma de determinação (equação)	Descrição	
Perdas totais (PT) (m <sup>3</sup> /ano)	$PT = VE - VAT$	VE = Volume de entrada no sistema, que corresponde ao volume medido pelo macromedidor instalado a jusante do reservatório, somado ao volume importado para o DMC e descontado o volume exportado do DMC (m <sup>3</sup> ). VAT = Volume autorizado total, que é a soma do volume autorizado faturado e o volume autorizado não faturado para o ano de 2017 (m <sup>3</sup> /ano).	equação (1)
Perdas aparentes (PA) (m <sup>3</sup> /ano)	$PA = VS + VF$	VS = Volume de submedição dos hidrômetros, definido pela curva de desempenho da medição, conforme ABNT (2014) e AESBE (2015) em (m <sup>3</sup> /ano). VF = Volume de fraudes e ligações clandestinas, que foi estimada com base na experiência operacional no SAIC (m <sup>3</sup> /ano).	equação (2)
Perdas reais (PR) (m <sup>3</sup> /ano)	$PR = PT - PA$	PR = volume de perdas reais (m <sup>3</sup> /ano); PT = volume de perdas totais (m <sup>3</sup> /ano); PA = volume de perdas aparentes (m <sup>3</sup> /ano).	equação (3)

**FONTE: Adaptado de Alegre et al. (2017).**

## RESULTADOS DA ETAPA 1

A aplicação do método do balanço hídrico resultou nos valores apresentados na Tabela 3.



**Tabela 3: Número de ligações, volumes autorizados totais, perdas totais, perdas reais, perdas aparentes dos DMCs selecionados do SAIC em 2017.**

DMC	N	VE	VAT	PT	PR	PA
-	(ligação)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)	(m³/ano)
1	2.163	2.823.192	1.470.841	1.352.351	1.169.114	183.237
2	75	198.611	164.478	34.133	19.052	15.081
3	10.625	7.843.784	3.292.259	4.551.525	3.931.215	620.310
4	8.576	7.601.558	4.238.751	3.362.807	2.833.017	529.790
5	7.808	3.679.629	1.146.122	2.533.507	2.366.355	167.152
6	2.295	3.892.959	3.156.322	736.637	403.954	332.683
7	8.808	5.223.251	2.745.487	2.477.764	2.080.918	396.846
8	2.642	1.695.658	993.400	702.258	559.113	143.145
9	10.244	7.502.918	4.781.757	2.721.161	2.123.145	598.016
10	2.558	3.228.940	2.551.075	677.865	395.391	282.474
11	7.749	3.894.764	1.910.923	1.983.841	1.755.301	228.540
12	3.264	1.550.426	721.861	828.565	731.084	97.481
13	1.606	797.480	392.364	405.116	355.615	49.501
14	7.901	3.460.253	1.549.351	1.910.902	1.675.146	235.755
15	4.866	3.941.197	2.781.876	1.159.321	859.672	299.649
16	8.506	4.691.181	2.709.619	1.981.562	1.166.628	814.934
17	4.672	1.870.323	804.130	1.066.193	952.835	113.358
18	5.170	2.413.769	1.254.428	1.159.341	990.001	169.340
19	10.736	4.940.968	2.603.791	2.337.177	1.970.422	366.755
20	4.675	1.960.432	1.022.389	938.043	782.599	155.444
21	2.065	735.749	327.989	407.760	355.266	52.494
22	3.896	1.576.866	836.671	740.195	386.657	353.538
23	12.308	6.610.485	4.286.802	2.323.683	1.787.351	536.332
24	7.665	2.638.727	1.250.375	1.388.352	1.189.049	199.302
25	5.548	2.169.401	1.166.179	1.003.222	846.815	156.408
26	1.215	434.991	217.624	217.367	175.404	41.962
27	5.375	1.733.813	779.188	954.625	851.975	102.650
28	3.885	1.274.648	584.956	689.692	602.389	87.304
29	3.577	1.085.257	456.248	629.009	557.974	71.035
30	11.559	3.880.791	1.870.227	2.010.564	1.745.590	264.974
31	4.290	1.475.958	739.564	736.394	641.370	95.024
32	12.325	4.049.795	1.943.442	2.106.353	1.826.135	280.219
33	571	164.555	67.131	97.424	82.490	14.934
34	10.331	3.741.432	1.983.271	1.758.161	1.459.200	298.961
35	28.178	12.009.285	7.250.302	4.758.983	3.645.486	1.113.497
36	3.958	1.368.500	701.583	666.917	572.360	94.557
37	4.309	1.126.737	404.862	721.875	578.339	143.536
38	10.211	5.636.517	3.942.640	1.693.877	1.235.173	458.704
39	5.549	2.846.581	1.954.779	891.802	514.444	377.358
40	4.740	1.314.860	554.975	759.885	611.460	148.425
41	880	560.450	419.899	140.551	84.962	55.589
42	4.089	1.287.545	640.171	647.374	552.117	95.257
43	26.913	12.098.567	7.900.651	4.197.916	3.008.785	1.189.131
44	4.606	1.422.427	723.698	698.729	599.762	98.967
45	2.757	757.140	357.503	399.637	345.504	54.133
46	2.390	667.947	327.238	340.709	291.186	49.523

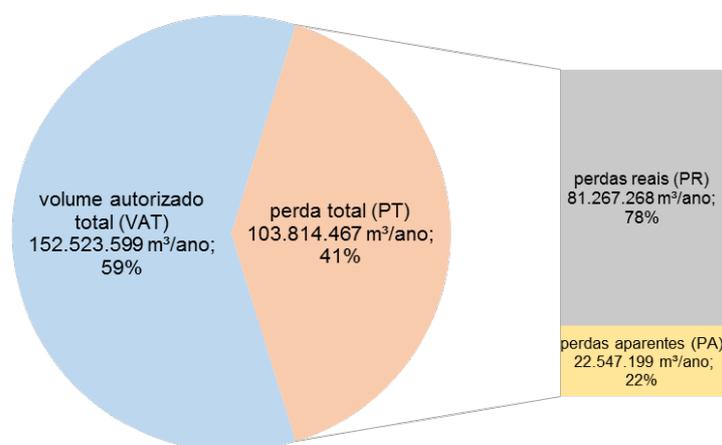


DMC	N	VE	VAT	PT	PR	PA
-	(ligação)	(m <sup>3</sup> /ano)				
47	6.358	3.171.251	2.282.863	888.388	602.896	285.492
48	25.379	7.969.372	4.454.289	3.515.083	2.775.712	739.371
49	4.993	1.398.859	713.501	685.358	591.829	93.529
50	10.682	3.259.530	1.806.359	1.453.171	1.231.480	221.691
51	7.243	2.200.039	1.231.701	968.338	801.826	166.513
52	4.649	1.415.994	796.259	619.735	505.202	114.533
53	9.922	2.724.864	1.410.133	1.314.731	1.106.841	207.890
54	6.528	2.472.973	1.608.734	864.239	646.930	217.309
55	14.355	3.913.145	2.023.329	1.889.816	1.611.427	278.389
56	2.118	540.132	273.462	266.670	216.541	50.129
57	6.626	1.823.882	996.582	827.300	691.375	135.925
58	3.539	3.163.604	2.729.547	434.057	133.959	300.098
59	11.750	3.691.264	2.263.392	1.427.872	1.164.690	263.182
60	13.798	3.251.762	1.657.056	1.594.706	1.371.439	223.266
61	18.112	7.330.438	5.279.139	2.051.299	1.487.098	564.201
62	1.448	357.091	193.368	163.723	127.255	36.467
63	48.043	12.439.431	7.083.151	5.356.280	3.975.423	1.380.857
64	6.474	1.688.222	969.896	718.326	581.891	136.434
65	2.761	545.588	265.297	280.291	235.613	44.678
66	1.777	425.983	251.801	174.182	138.468	35.714
67	42.838	10.918.621	6.805.362	4.113.259	2.832.200	1.281.059
68	2.205	581.300	372.305	208.995	151.834	57.161
69	5.503	1.643.872	1.126.918	516.954	374.439	142.515
70	2.207	562.180	355.899	206.281	152.452	53.829
71	4.176	1.211.329	827.270	384.059	287.326	96.732
72	10.578	2.592.082	1.630.414	961.668	752.494	209.174
73	361	156.771	125.357	31.414	21.170	10.244
74	3.026	706.427	456.448	249.979	179.969	70.010
75	2.799	708.057	480.423	227.634	160.453	67.181
76	2.390	554.208	360.091	194.117	137.912	56.205
77	7.145	1.486.556	910.636	575.920	434.680	141.240
78	3.936	855.396	580.643	274.753	192.677	82.077
79	8.832	2.044.651	1.437.309	607.342	419.940	187.401
80	4.989	1.378.605	1.046.749	331.856	193.240	138.616
81	6.437	1.422.505	994.982	427.523	302.217	125.306
82	1.311	246.683	161.238	85.445	58.221	27.224
83	5.287	1.080.404	737.681	342.723	239.419	103.305
84	3.181	968.509	784.422	184.087	81.083	103.004
85	31.661	8.298.084	6.482.640	1.815.444	891.578	923.866
86	1.438	583.625	501.783	81.842	29.455	52.386
87	10.604	1.778.005	1.175.186	602.819	442.682	160.137
88	19.319	3.131.714	2.085.167	1.046.547	702.307	344.240
89	7.754	1.649.312	1.238.466	410.846	226.696	184.151
90	1.101	208.318	152.069	56.249	32.983	23.266
91	11.847	1.742.848	1.281.449	461.399	284.955	176.444
92	533	164.264	143.642	20.622	19.172	1.451
<b>TOTAL</b>	<b>706.142</b>	<b>256.338.067</b>	<b>152.523.599</b>	<b>103.814.467</b>	<b>81.267.268</b>	<b>22.547.199</b>

Fazendo uma comparação em relação ao tamanho dos DMCs que constitui o SAIC, verifica-se que alguns, isoladamente, tem tamanho igual ou superior cidades com 100.000 habitantes.

Observa-se, por exemplo, que a população da cidade de Nanaimo (Canadá) e Drama (Grécia) correspondem a 90.504 habitantes (RDN, 2016) e 44.823 habitantes (DRAMA, 2011) respectivamente; porém, a soma do número de habitantes dessas duas cidades (135.327 habitantes) é inferior a população atendida pelo DMC 63, que é o maior DMC do SAIC e atende a uma população aproximada de 145.000 habitantes (considerando um fator de 3 habitantes por ligação). O mesmo se verifica quando os volumes de perdas são comparados entre esses sistemas: o volume de perdas totais para o DMC 63, de 5.356.280 m<sup>3</sup>/ano, é superior à soma do volume de perdas totais das duas cidades, de 3.719.000 m<sup>3</sup>/ano, sendo 1.946.000 m<sup>3</sup>/ano referente a cidade de Nanaimo e 1.773.000 m<sup>3</sup>/ano para a cidade de Drama.

Em uma análise global, observa-se na Figura 6 que as perdas totais dos 92 DMCs correspondem a 103.814.467 m<sup>3</sup>/ano ou 3.291,93 L/s (41% do volume total de entrada do sistema). Deste valor, 2.576,97 L/s (78%) corresponde às perdas reais.



**Figura 6: Volume autorizado total, perda total, perda real e perda aparente do SAIC em 2017.**  
**FONTE: Autores (2019).**

Entretanto, em 2006, o Banco Mundial realizou um estudo em 900 SAAs e encontrou uma proporção entre perdas reais e aparentes de 80% e 20%, respectivamente, para países desenvolvidos; e de 60% e 40% para países em desenvolvimento, sendo tais proporções consideradas como referência de perdas de água em SAA (KINGDOM, LIEMBERGER e MARIN, 2006). Logo, verifica-se a proximidade do SAIC, como um todo, aos resultados obtidos para países desenvolvidos, o que pode ser justificado pelo alto Índice de Desenvolvimento Humano de Curitiba (de 0,826) (ATLAS BRASIL, 2013).

Porém, ao se analisar os DMCs individualmente, foi possível verificar que muitos DCMs apresentam valores percentuais de perdas reais e aparentes acima e abaixo do que foi encontrado pelo estudo do Banco Mundial para países em desenvolvimento. Dos 92 DMCs analisados, 78 resultaram com valores de perdas reais acima de 60%, sendo que os maiores valores observados correspondem aos DMCs 5 e 92, com 93% de perdas reais em relação a perda total.

Já os demais DMCs ficaram abaixo da faixa verificada para países em desenvolvimento do Banco Mundial, sendo o menor observado no DMC 58, com 31% para perdas reais. Portanto, essas proporções encontradas pelo Banco Mundial estabelecem apenas condições que os SAA avaliados possuíam, e não necessariamente são condições ideais, sendo que podem ainda não retratar a realidade do SAA, como foi observado nos resultados do balanço hídrico do SAIC.

Outra condição observada foi que não se deve avaliar e priorizar apenas DMCs com maiores volumes de entrada, uma vez que nem sempre sistemas de grande porte terão perdas de água superiores a sistemas de menor porte. Considerando o volume de perdas totais, o DMC 5 resultou em 2.533.507 m<sup>3</sup>/ano (80,3 L/s), sendo muito superior ao quinto DMC com maior volume de entrada observado, o DMC 85, que possui

1.815.444 m<sup>3</sup>/ano (57,6 L/s) de perda total. O mesmo acontece com os volumes de perdas reais: para o DMC 5 o volume de perdas reais corresponde a 2.366.355 m<sup>3</sup>/ano (75 L/s) e para o DMC 85, 891.578 m<sup>3</sup>/ano (28 L/s).

Essas diferenças em perdas de água observada entre os DMCs citados devem-se às condições variadas em que cada um está submetido, como por exemplo: diferentes tempos de instalação da rede de distribuição (RDA), diferentes materiais utilizados nas tubulações e diferentes pressões na RDA influenciam especialmente o volume de perdas reais. Associada também a essas condições, pode-se destacar o investimento em ações de combate e controle de perdas de água, o qual envolve estabelecer áreas prioritárias.

Portanto, as peculiaridades de cada DMC que compõe o SAIC requerem ações distintas para controle e combate de perdas de água, não sendo possível ou recomendável analisar o SAIC como um único sistema sem divisões, ou seja, como se fosse um único DMC.

## ETAPA 2: AVALIAÇÃO DAS PERDAS REAIS E APARENTES DO SAIC

Depois de aplicar o método do balanço hídrico, foi feita a avaliação do SAA por meio do indicador de perdas reais de água por ligação, denominado IPLr 2017, e do indicador de perdas aparentes por ligação, denominado IPLa 2017, cujas equações utilizadas foram apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4: Determinação dos indicadores para avaliação de perdas de água nos DMCS do SAIC**

Nome	Forma de determinação (equação)	Descrição das variáveis
Indicador de perdas reais por ligação - IPLr 2017 (L/ligação.dia)	$IPLr\ 2017 = \frac{PR \times 1000}{N \times 365}$	PR = Perdas reais (m <sup>3</sup> /ano); N = número de ligações de água (ligação). equação (4)
Indicador de perdas aparentes por ligação - IPLa 2017 (L/ligação.dia)	$IPLa\ 2017 = \frac{PA \times 1000}{N \times 365}$	PA = Perdas aparentes (m <sup>3</sup> /ano); N = número de ligações de água (ligação). equação (5)

FONTE: Adaptado de Alegre et al. (2017).

## RESULTADOS DA ETAPA 2

Os menores valores desse indicador observados foram encontrados nos DMCs 58,75, 76, 78 a 92, os quais representam áreas com elevada densidade de ligações (entre 80 ligações/km e 100 ligações/km) (Figura 7), portanto, podem ser consideradas áreas mais residenciais. Logo, o indicador dessas regiões é mais baixo e pode ser comparado a cidades em países desenvolvidos, como Bordeaux (França) e Anglian Water (Inglaterra), cujo IPLr é 103 L/ligação.dia e 105 L/ligação.dia, respectivamente (União Européia, 2015). Outra justificativa é a existência de um controle de perdas reais mais rigoroso por meio de pesquisas de vazamento e gerenciamento de pressão nessas regiões por parte da concessionária em relação aos demais DMCs.

Por outro lado, os maiores valores de IPLr 2017, localizados nos DMCs 1 a 21, 24, 25, 27, 28, 29, são regiões mais verticalizadas, com densidades de ligações entre 20 ligações/km a 60 ligações/km, sendo algumas áreas próximas entre si e do centro de Curitiba. Logo, o indicador é maior, e mesmo que a edificação possua hidrômetros individualizados, a SANEPAR contabiliza apenas uma medição realizada no hidrômetro principal. Outra explicação provável do elevado nível de vazamentos (perdas reais) é devido a infraestrutura antiga que necessita de reparo. É possível que os reparos necessários sejam mínimos ou nem realizados devido ao tráfego intenso de veículos e prováveis transtornos que seriam causados na região.

Quanto ao IPLa 2017, observou-se que os maiores valores obtidos para esse indicador (pertencentes aos DMCs 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 35, 37, 38, 39, 41, 43, 47, 54, 58 e 86) correspondem a economias cujo consumo médio mensal era de 19 m<sup>3</sup>/mês (Figura 8), enquanto os menores valores observados correspondiam a ligações com média de 13m<sup>3</sup>/mês.

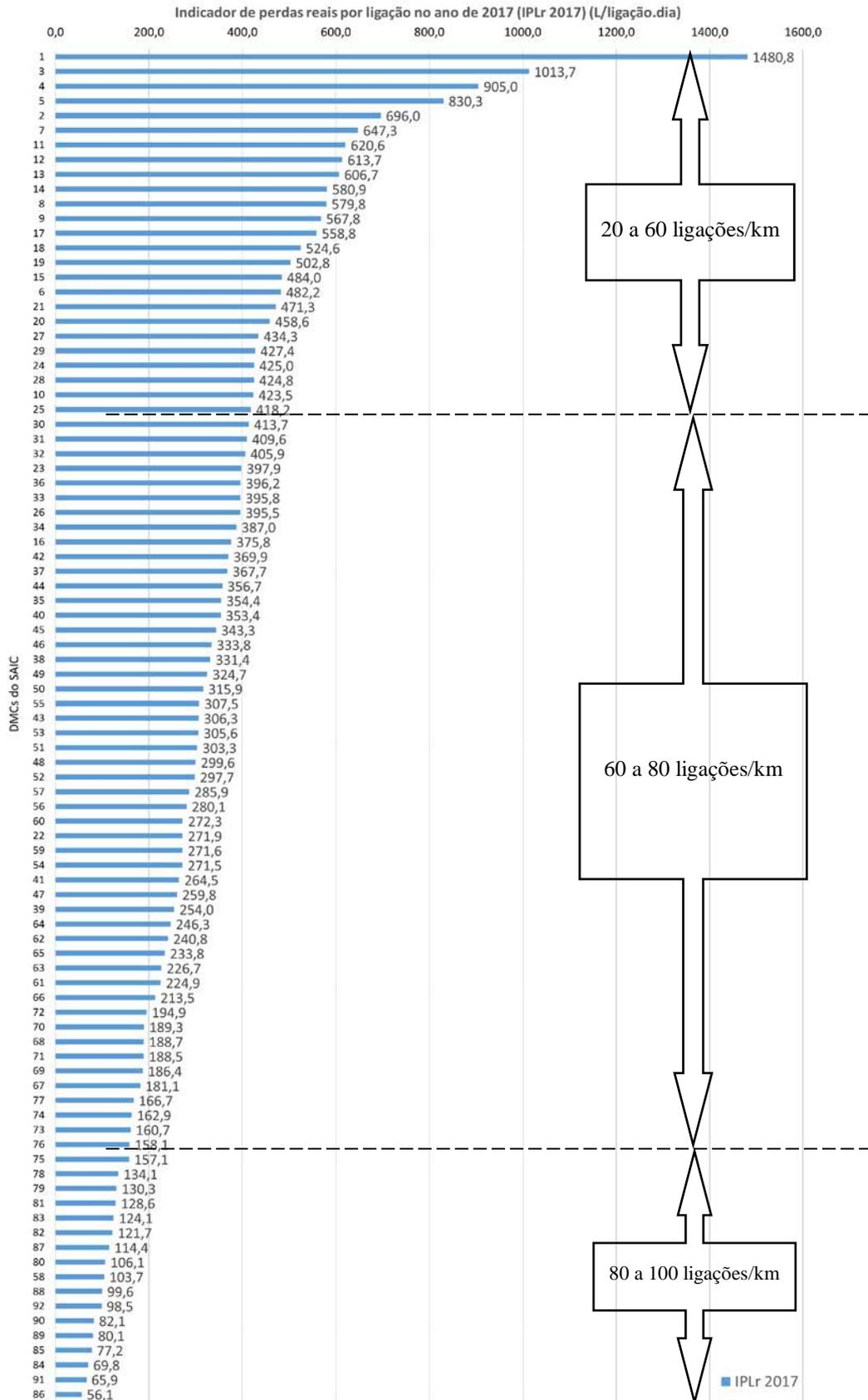


Figura 7: Indicador de Perda real por Ligação dos DMCs do SAIC.  
FONTE: Autores (2019).

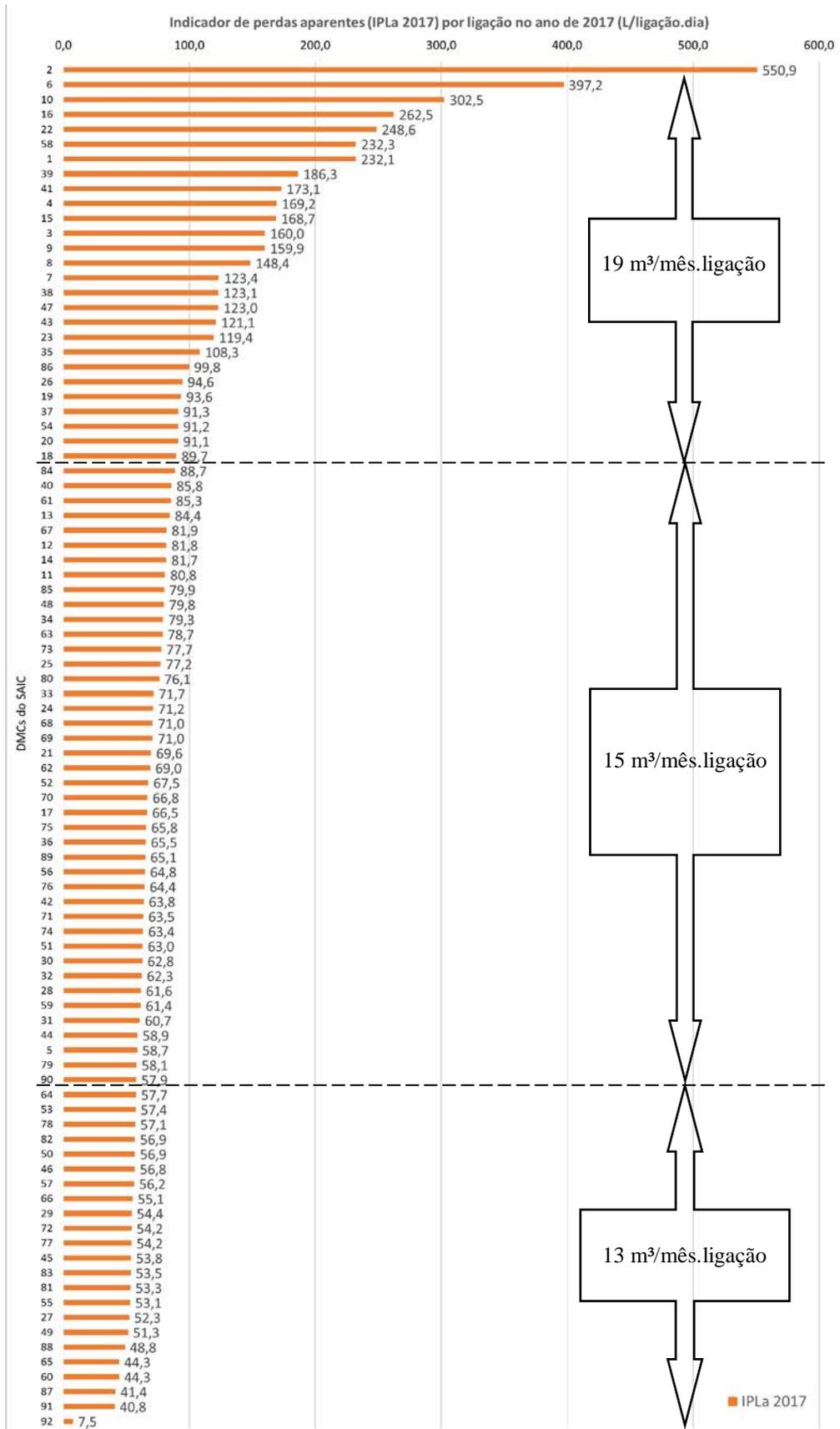


Figura 8: Indicador de Perda aparente por Ligação dos DMCs do SAIC.  
FONTE: Autores (2019).

Essa condição diretamente proporcional entre o indicador de perdas aparentes e o consumo mensal justifica-se fato do volume de submedição de hidrômetros, que está associado ao tempo que o hidrômetro instalado, corresponder a 77% das perdas aparentes no SAIC (Figura 9).



**Figura 9: Relação entre volume de fraudes e ligações clandestinas e volume submedição de hidrômetros no SAIC.**

**FONTE: Autores (2019).**

Dessa forma, é possível que os hidrômetros dos DMCs 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 35, 37, 38, 39, 41, 43, 47, 54, 58 e 86 estejam muito antigos, devendo ser a substituição dos medidores a principal ação a ser realizada pela concessionária. A troca periódica dos hidrômetros deve ser realizada conforme a diretriz de troca especificada pela companhia, que no caso da SANEPAR, corresponde a Tabela 5.

**Tabela 5: Diretriz de troca de hidrômetro da SANEPAR**

Faixa de vazão mensal do hidrômetro (m <sup>3</sup> /mês)	Período de utilização do hidrômetro (anos)
6 - 10	10
11 - 20	6
21 - 30	9
30 - 60	6
61 - 200	5
Superior a 200	4

**FONTE: SANEPAR (2017b).**

Assim, o controle das perdas aparentes no SAIC está associado principalmente a troca de hidrômetros nos DMCs, sendo esta uma tarefa mais imediata e menos complexa quando comparada a ações de combate a perdas aparentes, como por exemplo a pesquisa de campo para detecção de vazamentos.

## CONCLUSÕES

O desafio operacional de SAAs não está apenas associado à redução dos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos, mas também com as perdas de água, que atuam em uma esfera social, devido à crescente demanda em função do aumento populacional, e também num contexto econômico, onde maiores investimentos na infraestrutura são necessários. Portanto, a gestão de perdas não pode ser uma condição negligenciada pelas operadoras. Assim, o presente trabalho objetivou determinar as perdas de água por meio do método do balanço hídrico da IWA, o qual é aplicado em diversos sistemas nacionais e internacionais, e a avaliação dos resultados obtidos foi por meio de indicadores que representaram o desempenho operacional do sistema.

Da análise dos volumes, observou-se que o SAIC, como um todo, possui 78% das perdas totais (2.576,97 L/s) correspondente a perdas reais (vazamentos), que por sua vez equivale a capacidade de dois sistemas produtores, aproximadamente. Entretanto, ao analisar os DMCs individualmente, verificou-se que existe o predomínio das perdas reais sobre as aparentes em 78 dos 92 DMCs avaliados, significando que aplicar apenas ações de combate e controle de perdas reais no sistema inteiro, como sugerido pela análise global, não seria eficiente para aqueles

DMCs onde a perda aparente é superior a real. Logo, ações distintas de controle e combate de perdas de água devem ser tomadas por parte da concessionária, o qual não seria possível sem a análise do SAA por DMC.

Também foi verificado que existem perdas reais e aparentes acima e abaixo da proporção encontrada pelo Banco Mundial para países em desenvolvimento (60% e 40%, respectivamente), o que revela que profissionais responsáveis pela avaliação de perdas em SAAs devem ter cautela na utilização de sugestões encontradas na literatura, uma vez que essas sugestões podem não retratar a realidade do sistema.

Ainda considerando os DMCs, verificou-se que alguns correspondem a soma de dois SAAs de cidades inteiras, o que reflete a complexidade do SAIC e a necessidade de avaliá-lo em função das especificidades locais de cada DMC. Outra condição observada foi que não se deve avaliar e priorizar apenas DMCs com maiores volumes de entrada, uma vez que nem sempre sistemas de grande porte terão perdas de água superiores a sistemas de menor porte.

Quanto aos indicadores, IPLr 2017 variou de 56,1 L/ligação.dia a 1.480,8 L/ligação dia, sendo que foi observado a influência das densidades de ligações no indicador, onde locais mais verticalizados resultaram em IPLr menores e áreas menos adensadas com IPLr maior. A análise do IPLr 2017 também permitiu verificar que existem áreas no SAIC com baixas perdas reais e que se aproximam de valores observados em cidades da Europa, porém existem outras regiões com elevadas perdas reais, especialmente na região central do sistema, onde a provável justificativa é a existência de uma infraestrutura mais antiga que necessita de reparo, porém devido à localização, é possível que os reparos sejam feitos minimamente.

Já o IPLa 2017 variou entre 7,5 L/ligação.dia a 550,9 L/ligação.dia, onde a análise do indicador revelou que nos maiores valores do indicador existe um maior consumo por ligação, justificado pelo fato que a maior parcela das perdas aparentes no SAIC deve-se a submedição de hidrômetros (77%). Nesse caso, destaca-se ainda que a resolução é mais simples quando comparada as perdas reais, uma vez que se faz necessário a substituição do hidrômetro conforme a diretriz de troca já estabelecida pela companhia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15538:2014. Medidores de água potável — Ensaio para avaliação de eficiência. p. 1-18, 2014.
2. AESBE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. Série Balanço Hídrico: Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros. 1ª ed. Brasília, Distrito Federal, 2015.
3. ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J. M., PARENA, R., CABRERA JR., E., CUBILLO, F., DUARTE, P., MERKEL, W. Performance Indicators for Water Supply Services. IWA Manual of Best Practice. 3ª ed. Reino Unido, 2017.
4. ATLAS BRASIL. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. 2013. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/curitiba\\_pr#idh](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/curitiba_pr#idh)>. Acessado em: 25 de mar de 2019.
5. BRASIL. ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017. Relatório pleno. Brasília, Distrito Federal, 2017.
6. BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018.
7. DANILENKO, A., VAN DEN BERG, C., MACHEVE, B., MOFFITT, L. J. The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook. World Bank Group, Washington, DC, 2014.
8. DRAMA. Drama Population. 2011. Disponível em: <<http://population.city/greece/drama/#1>>. Acessado em: 25 de mar de 2019.
9. UNIÃO EUROPÉIA. EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM - Main Report. 2015. ISBN 978-92-79-45069-3, doi: 10.2779/102151
10. SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Plano Diretor SAIC: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana. Curitiba: SANEPAR, p.1-142, 2013.
11. SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Consulta ao Banco de dados do Sistema de Análises e Solução de Problemas de Perdas - Sapiens. 2017a. Acessado em 2018 e 2019.

13. SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. Programa de eficiência do parque de hidrômetros da SANEPAR. Diretoria de Operações. 2017b.
14. KINGDOM, B., LIEMBERGER, R.; MARIN, P. The challenge of reducing non-revenue (NRW) water in developing countries - how the private sector can help: a look at performance-based service contracting. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, The World Bank, vol. 8, p. 1–40, 2006. Disponível em: <<https://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/WSS8fin4.pdf>>
15. KLINGEL, P., KNOBLOCH, A. A Review of water balance application in water supply. Journal American Water Works Association, v.107, p. E339-E350, Jul 2015.
16. LAMBERT, A.; HIRNER, W. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures: The Blue Pages. IWA. International Water Association, London, 2000.
17. PENA, M. M. Aplicação e análise da metodologia da IWA para o controle de perdas no sistema de abastecimento de água da baixada de Jacarepaguá/RJ. Rio de Janeiro, 2010. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
18. RDN. Regional District of Nanaimo. Population Statics. 2016. Disponível em: <<https://www.rdn.bc.ca/population-statistics>>. Acessado em: 25 de mar de 2019.
19. WYATT, A. Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries. RTI Press publication No. MR-0018-1006. Research Triangle Park, NC, USA, 2010.