DIAGNÓSTICO DE PERDAS DE ÁGUA: UMA METODOLOGIA APLICADA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Débora Soares Melato[(1)]
Engenheira Química pela Escola Politécnica da USP (1992), pós-graduada em Engenharia Ambiental pela USP (1996), em Administração de Empresas pela USP (1998), em Engenharia de Segurança do Trabalho pela USP (2002), e Mestre em Saneamento pela Escola Politécnica da USP (2010). Engenheira da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) desde 1994.
Kamel Zahed Filho
Engenheiro Civil, formado pela Escola Politécnica da USP, em 1978. Doutor em Engenharia Hidráulica, pela mesma Escola, em 1990. Engenheiro da Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, desde 1985. Professor Doutor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, desde 1980.

Endereço[(1)]: Rua Dona Antônia de Queirós, 218 - Consolação - São Paulo - SP - CEP: 01307-010 - Brasil - Tel: +55 (11) 3138-5417 - **e-mail: dsoares@sabesp.com.br**

RESUMO

O presente trabalho apresenta um caso prático de aplicação de metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água, auxiliando na determinação do perfil das perdas, permitindo uma melhor priorização das ações de combate e redução de perdas reais (físicas) e perdas aparentes (comerciais).

A metodologia aqui proposta desenvolve a avaliação das perdas através do balanço hídrico, utilizando o software gratuito desenvolvido pelo Banco Mundial (W-B Easy Calc - v1.17), e foi aplicada no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Foram levantados os dados básicos de controle do sistema e realizados ensaios de campo, com medições de pressão e ensaios para determinação das perdas aparentes.

Como estudo de caso, a metodologia foi aplicada em três setores de abastecimento da área central da RMSP, com características sócio-econômicas e demográficas diferentes. Os resultados do diagnóstico das perdas foram coerentes com as expectativas. Em função dos resultados, em cada setor deverá ser desenvolvida uma estratégia específica para a redução de perdas.

PALAVRAS-CHAVE: Perdas de água; Perdas aparentes (comerciais); Perdas reais (físicas)

INTRODUÇÃO

Assim como a maior parte das regiões metropolitanas, a região metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta vários problemas devido a sua grande concentração populacional, entre eles a escassez de recursos hídricos e o comprometimento da qualidade dos mesmos devido à ocupação desordenada do entorno de seus mananciais. Embora a RMSP tenha índices de perdas em seu sistema de abastecimento que podem ser considerados elevados, em outras cidades brasileiras, esse problema é ainda maior, o que leva a uma média nacional dos índices de perdas de faturamento de 39,8% em 2006 (PMSS/SNIS, 2007).

Uma forma de reduzir este problema por parte das prestadoras de serviços de saneamento é a redução e controle de perdas nos sistemas de abastecimento de água, proporcionando um aumento na sua eficácia e eficiência do controle operacional do sistema, além da redução de despesas, aumento do faturamento e postergação de novos investimentos.

Primeiramente, é necessária uma avaliação das perdas através da auditoria das águas, utilizando-se metodologias de avaliação de perdas consagradas e aplicadas internacionalmente, como o balanço hídrico, podendo-se utilizar softwares específicos desenvolvidos para esta tarefa.

Para se realizar um diagnóstico adequado, é necessário o desenvolvimento de uma metodologia, a utilização das ferramentas adequadas, o conhecimento detalhado do sistema a ser aplicada, a confiabilidade dos dados, e por fim a interpretação e entendimento dos resultados. Com isto, será possível direcionar melhor os recursos disponíveis e atingir o objetivo de reduzir as perdas de água mais facilmente.

OBJETIVO

O objetivo principal do presente trabalho é apresentar um caso prático de aplicação de metodologia do balanço hídrico para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água, auxiliando na determinação do perfil das perdas, permitindo uma melhor priorização das ações de combate e redução de perdas reais (físicas) e perdas aparentes (comerciais).

CONCEITOS

Pela terminologia da *International Water Association* (IWA), perda de água "é o volume referente à diferença entre a água entregue ao sistema de abastecimento e os consumos autorizados, medidos e não-medidos, faturados ou não-faturados, fornecidos aos consumidores cadastrados, à própria Prestadora de Serviços e a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo" (ALEGRE et al., 2006).

Em um sistema de abastecimento, as perdas de água se dividem em perdas reais (físicas) e aparentes (comerciais). As perdas reais correspondem a aquele volume de água que é realmente perdido e desperdiçado, basicamente através de vazamentos. Já as perdas aparentes correspondem ao volume de água que foi consumido, porém não foi medido e faturado pela prestadora, referindo-se basicamente às perdas comerciais. Porém, para reduzir cada uma dessas parcelas são necessárias ações distintas.

As principais ações de redução de perdas reais são: controle de pressão, controle ativo de vazamentos, gerenciamento da infraestrutura e agilidade e qualidade dos reparos de vazamentos.

Já para perdas aparentes, as principais ações de redução são: combate às fraudes e ligações clandestinas, melhorias no sistema comercial, redução de imprecisão dos medidores e qualificação da mão-de-obra.

Para se saber o nível atual das perdas, definir metas de redução e medir o desempenho ao longo do tempo, é fundamental o cálculo periódico de indicadores de perdas.

Para permitir a comparação de índices de desempenho de diferentes sistemas em diversos países, em 2000, a IWA definiu os quatro principais indicadores de perdas (ALEGRE et al., 2006):

- Indicador percentual (IP);
- Índice de perdas por ramal (IPR);
- Índice de perdas por extensão de rede (IPER);
- Índice infraestrutural de perdas (IIE).

Entretanto, deve-se mencionar que, apesar das evoluções no assunto, ainda não existe um indicador perfeito, devendo-se se analisar o conjunto dos indicadores e verificar qual retrata melhor a situação das perdas naquele sistema.

O Banco Mundial desenvolveu um guia geral através do software World Bank Easy Calc (WB, 2006), apresentado na Tabela 1, estabelecendo valores de IIE e perdas reais em L/ligação x dia

para sistemas de países desenvolvidos e em desenvolvimento, com diferentes faixas de pressão de operação. Dessa forma, é possível verificar se o sistema encontra-se ou não em níveis aceitáveis, e direcionar melhor as ações.

Tabela 1 - Guia geral para avaliação do Banco Mundial. Fonte: *Software World Bank Easy Calc* (WB, 2006).

Categoria de performance técnica		IIE	litros/ligação/dia				
			Sistema está pressurizado numa pressão média de:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
País Desenvolvido	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
País em Desenvolvimento	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

A:	Redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva.
B:	Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede.
C:	Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos.
D:	Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário.

- **AVALIAÇÃO DAS PERDAS**

A avaliação das perdas corresponde basicamente a uma auditoria das águas, através de técnicas de avaliação de perdas reconhecidas e aplicadas internacionalmente.

A auditoria de água identifica o volume de água perdido e o custo do volume de perdas para a empresa. A auditoria tem como objetivo subsidiar a empresa, com dados e resultados de medições e sistemas de controle, na seleção e implementação de programas para redução de perdas no sistema de abastecimento de água.

Basicamente, existem três métodos para avaliação geral das perdas (THORNTON, 2008):

- Top-down: conhecido como balanço hídrico;
- Bottom-up: conhecido como avaliação da vazão mínima noturna.
- Método de análise de componentes de perdas reais BABE – Background and Bursts Estimates

- **BALANÇO HÍDRICO**

O método top-down, consiste em avaliar as perdas por meio do cálculo do balanço hídrico "de cima para baixo", ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água consumido. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se às perdas reais. Recomenda-se utilizar o período de um ano para avaliação dos volumes.

O balanço hídrico é uma forma estruturada de avaliar os fluxos, usos e as perdas de água no sistema. É uma poderosa ferramenta de gestão, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais (TARDELLI FILHO, 2004).

Atualmente, o balanço hídrico é a forma mais simples e fácil de fazer a auditoria das águas, sendo utilizado no mundo todo. Hoje, existem vários softwares gratuitos e planilhas no mercado que auxiliam no seu cálculo, conforme Tabela 2 (FANTOZZI, 2007).

Tabela 2 – Alguns *softwares* gratuitos para cálculo do balanço hídrico e indicadores de performance da IWA. Fonte: adaptado de FANTOZZI (2007).

***Software* gratuito**	**Informações complementares**	**Disponibilidade**	**e-mail ou página da Internet**
AquaLite	Aguardando conclusão	Internacional	RonnieM@wrp.co.za
Benchleak	Disponível	África do Sul	
CheckCalcs	Aloca os valores de IIE para as faixas do sistema do Banco Mundial, e identifica ações prioritárias. Também identifica as possibilidades e benefícios do gerenciamento de pressão	Europa	www.studiomarcofantozzi.it
		Oriente	mfarley@alvescot.demon.co.uk
		Austrália e Nova Zelândia	sammiep@widebaywater.com.au
		Canadá e Estados Unidos	veritec@sympatico.ca
		Todos os outros países	www.leakssuite.com
Leakage CheckUp	*Software* não pode ser baixado, cálculos realizados na própria página da internet	Europa	www.waterportal.com
WaterAudit	Versões no sistema métrico e americano, customizadas para a terminologia americana	América do Norte	www.awwa.org/WaterWiser/waterloss/Docs/WaterAuditSoftware.cfm
W-B Easy Calc	Aloca os valores de IIE para as faixas do sistema do Banco Mundial	Internacional	www.liemberger.cc

As vantagens do balanço hídrico são:

- Facilidade de utilização;
- Aplicação em sistemas de tamanhos variados ou partes do sistema;
- Disponibilidade dos dados da macromedição e micromedição nas prestadoras de serviços de saneamento;
- Custo reduzido.

As desvantagens são:

- Forte dependência das hipóteses adotadas na estimativa da perda aparente;
- Baixa precisão nos resultados, devido às hipóteses e estimativas adotadas.

METODOLOGIA

A metodologia aqui desenvolvida utiliza o balanço hídrico como método de avaliação das perdas. Conforme já citado, este é um método de avaliação top-down, isto é, “de cima para baixo”, onde são feitas hipóteses para determinar as perdas comerciais (aparentes) e, pela diferença, chega-se às perdas físicas (reais).

Para se iniciar a análise do balanço hídrico, deve-se primeiro definir o software a ser utilizado, podendo ser utilizados softwares gratuitos, adquirir algum software comercial ou mesmo desenvolver um aplicativo próprio. A metodologia aqui aplicada (MELATO, 2010) foi baseada na utilização do software desenvolvido pelo Banco Mundial W-B Easy Calc - v1.17 (WB, 2006), disponível em mais de 10 línguas, incluindo o português. Atualmente já se encontra também disponível no site www.liemberger.cc a versão mais atualizada do W-B Easy Calc – v300, disponível em 20 línguas.

Posteriormente, foram levantados os dados básicos de controle do sistema, por um período de 12 meses: volume de entrada, consumo faturado, consumo não faturado, consumo não autorizado, erros de medição, dados da rede, pressão média, intermitências no abastecimento e informações financeiras.

São necessários também ensaios de campo, com medições de pressão e ensaios para determinação das perdas aparentes (comerciais): índice de fraudes em ligações ativas e inativas, perdas através das ligações clandestinas em favelas e áreas invadidas, e determinação dos erros de medição em macromedidores e submedição em hidrômetros.

Então, após a realização dos ensaios de campo e preenchimento dos dados citados anteriormente, é calculado o balanço hídrico, nos moldes da matriz da IWA (Figura 1).

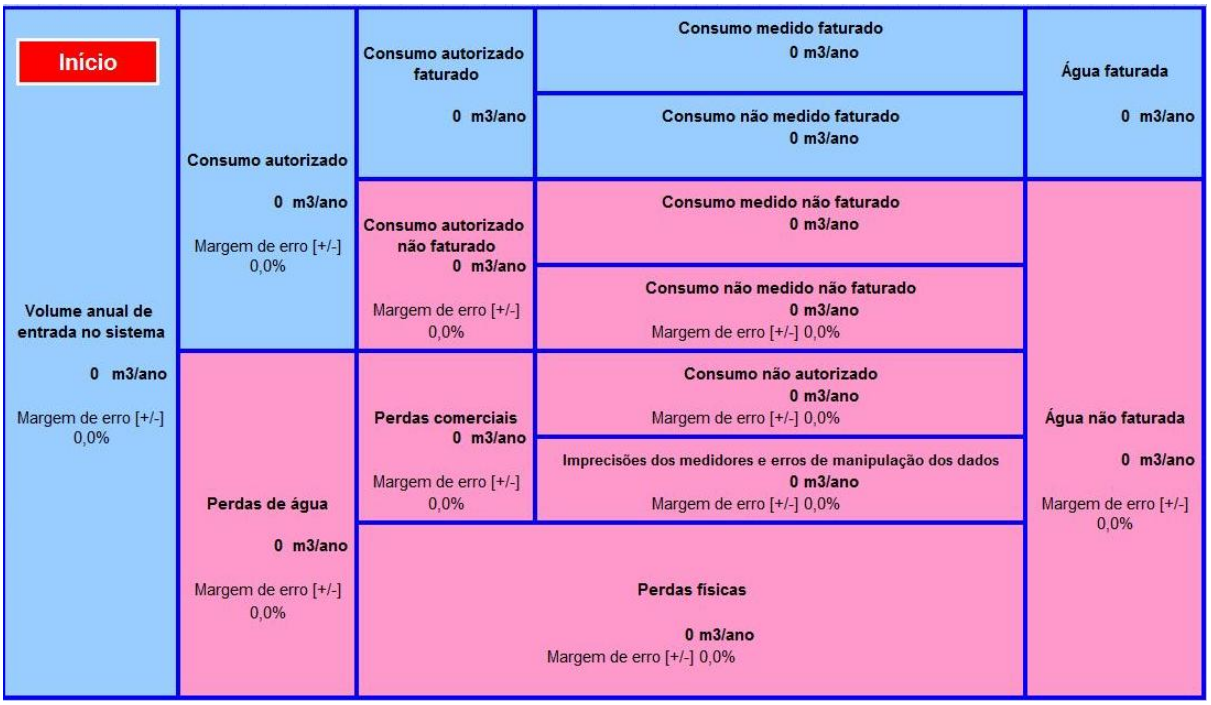
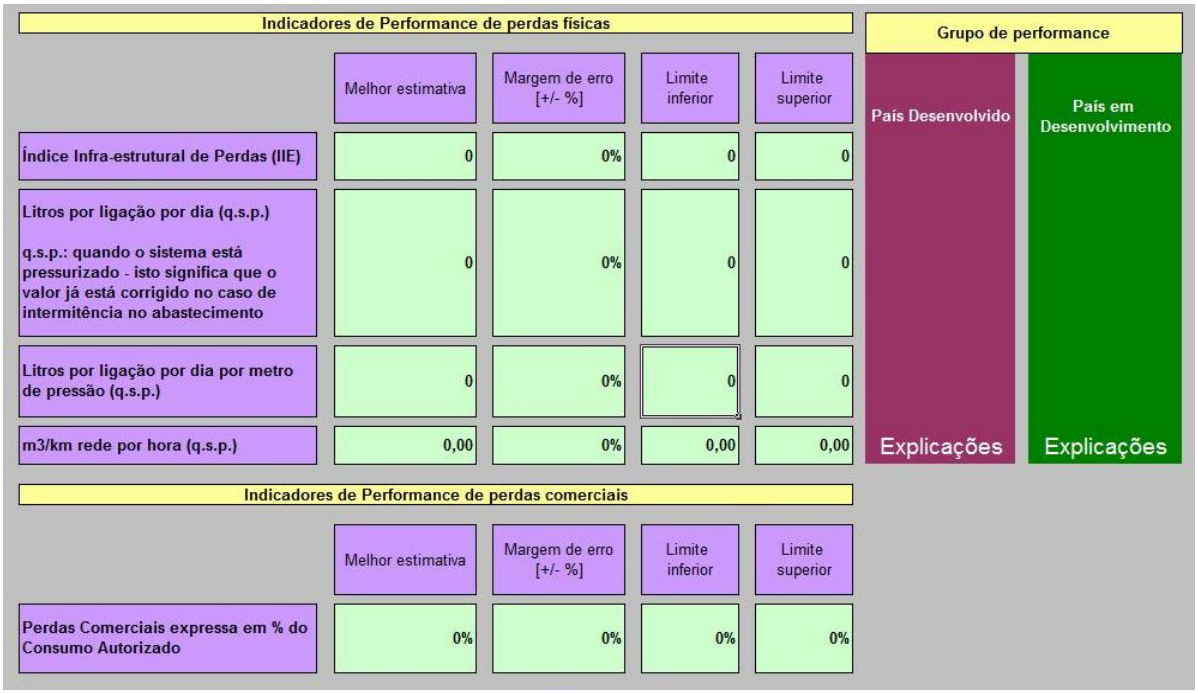


Figura 1 – Balanço Hídrico extraído do software *W-B Easy Calc.*

Desta forma, através da elaboração do Balanço Hídrico, é possível desagregar a parcela das perdas do sistema, com avaliação das perdas físicas e comerciais. Seu correto entendimento é uma ferramenta essencial para a priorização de ações de redução das perdas.

Além do balanço hídrico, o software também calcula os principais indicadores de perdas propostos pela IWA, grupos de performance segundo guia de avaliação geral de perdas do Banco Mundial

para país desenvolvido e em desenvolvimento, conforme Figura 2, além de outros indicadores de performance financeira.



Indicadores de Performance de perdas físicas	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	0	0%	0	0
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	0	0%	0	0
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	0	0%	0	0
m3/km rede por hora (q.s.p.)	0,00	0%	0,00	0,00

Indicadores de Performance de perdas comerciais	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	0%	0%	0%	0%

Figura 2 – Principais indicadores de performance calculados pelo software *W-B Easy Calc.*

METODOLOGIA

Para aplicação da metodologia foram escolhidos três setores de abastecimento, com características distintas, situados na área central da RMSP: Mooca, Paulista e o conjunto dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista.

O setor Mooca é o mais antigo e bastante heterogêneo. Possui 820,6 km de rede e 110.763 ligações ativas de água, com uma pressão média de 45 mH2O.

Já o setor Paulista é um setor menor, bastante verticalizado e de alta renda. Possui 227,9 km de rede e 15.019 ligações ativas de água, com uma pressão média de 45 mH2O.

O conjunto dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista foi analisado como um bloco, por apresentarem transferência de água entre eles. São setores predominantemente residenciais de baixa renda, com vários núcleos de favelas e áreas invadidas. Possuem 290,3 km de rede e 51.569 ligações ativas de água, com uma pressão média de 40 mH2O.

A seguir são apresentados na Tabela 3 os principais dados dos setores estudados em 2008.

Tabela 3 – Principais dados dos setores estudados em 2008 (Fonte: Signos Sabesp).

Dados	Mooca	Paulista	Jd. S. Pedro/ Jd. Conquista
Área (km^2)	38.522	8.141	21.081
Ligações ativas (un)	110.763	15.019	51.569
Volume macromedido total (m^3/ano)	54.309.056	28.513.714	19.523.663
Volume micromedido total (m^3/ano)	37.387.230	25.552.932	7.635.122
Cota máxima (m)	800	830	880
Cota mínima (m)	720	785	740
Extensão de rede (km)	820,6	227,9	290,3
Porcentagem da rede c/ mais de 50 anos (%)	30,6	16,4	0,0
Vazamentos na rede (un/ano)	625	148	142
Vazamentos no ramal (un/ano)	3.110	579	3.433

Foram analisados os períodos dos anos de 2007 e 2008, mas como houve pouca diferença entre os resultados obtidos, no trabalho foram apresentados somente os resultados do ano de 2008.

Para todos os setores, foi adotada uma margem de erro de 5% para os dados que são medidos e/ou se tem mais confiabilidade, e uma margem de erro de 10% para aqueles que são estimados e/ou cuja confiabilidade é menor.

A seguir é apresentado um resumo dos principais resultados obtidos com a aplicação da metodologia (Tabela 4).

Tabela 4 – Principais resultados da aplicação da metodologia.

Setor	% das Perdas Totais		IIE	Perda Física (L/lig x dia)	Grupo de Performance	Perdas Comerciais (%)
	Física	Comercial				
Mooca	63,8	36,2	5,9	250	B	15
Paulista	19,2	80,9	1,9	90	A	8
Jd. S. Pedro/ Jd. Conquista	65,0	35,0	8,9	320	C	32

Apesar dos três setores de abastecimento pertencerem ao município de São Paulo, observa-se que os resultados do diagnóstico das perdas foram bastante distintos, levando a estratégias totalmente diferentes para a redução de perdas em cada setor, bem como o respectivo grupo de performance.

O perfil das perdas no setor Mooca é predominantemente de perdas físicas (63,8% do total), sendo necessária uma ênfase maior nas ações de redução de perdas físicas para reduzir as perdas mais rapidamente neste setor, assim como nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista (65% de perdas físicas).

Porém, ao se analisar o IIE e a perda física em L/lig x dia, verifica-se que a situação das perdas nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista é pior do que no setor Mooca.

O IIE do setor Mooca foi de 5,9 indicando que este setor está 5,9 vezes pior do que o nível tecnicamente aceitável, enquanto o IIE dos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista foi de 8,9. Além disto, a perda física destes setores foi de 320 L/lig x dia, ao passo que no setor Mooca foi um pouco menor, apresentando o valor de 250 L/lig x dia.

Em termos de grupo de performance, segundo guia geral para avaliação do Banco Mundial, em função do IIE, da pressão e da perda física, o setor Mooca se enquadrou no grupo B para país em desenvolvimento: "potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos e uma melhor manutenção da rede." Neste setor, portanto, deverão ser melhoradas as práticas de gerenciamento de pressão e controle ativo de vazamentos.

Já os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista se enquadraram no grupo C: "registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos". Nestes setores, portanto, deverá ser analisada a natureza dos vazamentos, principalmente os vazamentos nos ramais, cuja incidência é maior, e deverão ser implantadas práticas de controle ativo de vazamentos.

Para o setor Paulista, o diagnóstico das perdas foi bem diferente. As perdas são predominantemente comerciais (80,9% do total), o IIE apresentou um resultado relativamente baixo, indicando que este setor está apenas 1,9 vezes pior do que o nível tecnicamente aceitável, a perda física foi de apenas 90 L/lig x dia e o setor se enquadrou no grupo de performance A: redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva.

Portanto, observa-se que de posse destes diagnósticos, as estratégias e ações para redução de perdas nestes setores devem ser totalmente distintas. As ações de redução de perdas físicas devem ser priorizadas nos setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, seguidas de ações também de redução de perdas físicas no setor Mooca. Já no setor Paulista, caso haja interesse em reduzir mais as perdas e recursos disponíveis, já que não há insuficiência de abastecimento, devem ser priorizadas ações de redução de perdas comerciais.

Para efeito de comparação dos principais resultados, foi utilizado também outro software, o Programa de Indicadores de Desempenho de Perdas de Água "FastCalc" Brasil, na sua versão personalizada para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Basicamente, o que muda entre um software e outro, é a forma de preenchimento e apresentação dos resultados, os quais foram praticamente iguais.

Observa-se, portanto, que os resultados são muito próximos, mostrando que é possível utilizar qualquer um dos softwares para o cálculo do balanço hídrico e dos principais indicadores de performance.

CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, as principais conclusões do trabalho apresentado são:

- A metodologia do balanço hídrico, utilizada neste trabalho para o diagnóstico das perdas de água, mostrou-se acessível, fácil e simples de ser utilizada, apesar de estar sujeita a imprecisões, mas que não comprometem as tomadas de decisões para ações específicas nas áreas analisadas;
- A metodologia foi aplicada em três setores de abastecimento da área central da RMSP com características distintas: Mooca, Paulista e o conjunto Jd. São Pedro/Jd. da Conquista. Os resultados dos diagnósticos mostraram que em cada setor deverá ser desenvolvida uma estratégia específica para redução de perdas. O perfil das perdas no setor Mooca é

predominantemente de perdas físicas, assim como os setores Jd. São Pedro/Jd. da Conquista, porém serão necessárias ações mais básicas e intensas nesses setores. Já no setor Paulista, as perdas são predominantemente comerciais e se encontram próximas do patamar aceitável, onde uma redução adicional de perda pode não ser econômica;

- A metodologia desenvolvida nesta pesquisa se mostrou adequada, permitindo um diagnóstico das perdas dos setores avaliados, e um posterior direcionamento das ações de redução dessas perdas, podendo ser utilizada em outros sistemas de distribuição de água, com características diversas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O início de qualquer Programa de Redução de Perdas pressupõe o conhecimento do problema a se enfrentar. A realização de um bom diagnóstico é fundamental para a redução eficiente das perdas. Focalizar ações de perdas comerciais (aparentes) numa área onde o problema são as perdas físicas (reais) poderá levar ao desperdício de recursos e não se atingir a redução de perdas desejada.

Este diagnóstico pressupõe a elaboração da matriz do Balanço Hídrico, através do qual é possível calcular os principais indicadores de performance e obter um perfil das perdas, quantificando as perdas físicas (reais) e comerciais (aparentes).

Cabe ressaltar que, a elaboração do Balanço Hídrico não é uma atividade única e estanque ao longo do tempo, ao contrário, este deve ser atualizado constantemente, conforme sejam obtidos maiores e melhores informações do sistema, calibrando, se possível, com ensaios de campo. Também é importante a confiabilidade dos dados e informações que alimentarão as planilhas, pois a precisão dos resultados depende dessa confiabilidade.

É recomendável também, na medida do possível, fazer a avaliação das perdas através das outras metodologias: avaliação da vazão mínima noturna e análise das componentes das perdas de água, confrontando seus resultados e permitindo uma calibração das variáveis e hipóteses assumidas, de forma a buscar um conjunto de resultados mais precisos e confiáveis.

Deve-se ressaltar também que, a redução das perdas de modo geral é um processo contínuo, que exige controle e continuidade das ações. A aplicação da metodologia aqui descrita deve ser feita frequentemente, permitindo a priorização das ações necessárias conforme o perfil de perdas de cada setor.

Por fim, tão importante quanto o conhecimento do problema e a aplicação das ferramentas adequadas, é o envolvimento e comprometimento de todas as áreas do prestador de serviços de saneamento, pois a redução das perdas não é um ato isolado, de responsabilidade de uma área ou de um grupo de pessoas, mas sim de cada um e de todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, H. et al. Performance Indicators for Water Supply Services – Second Edition, London: IWA Publishing, 2006.

2. FANTOZZI, M. et al. Some internacional experiences in promoting the recent advances in practical leakage management, International Water Association, Water Loss Task Force, 2007. Disponível em <www.iwaom.org/wltf> Acesso em março de 2008.

3. MELATO, D. S. Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Hidráulica/Saneamento Básico) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

4. PMSS/SNIS – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2006. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2007.

5. TARDELLI FILHO, J. Controle e Redução de Perdas, In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

6. THORNTON, J., STURM, R., KUNKEL, G., Water Loss Control. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

7. WB - World Bank, Software WB – EasyCalc, Version 1.17, 2006. Disponível em <www.liemberger.cc>.