I-116 - UTILIZAÇÃO DA MODELAGEM HIDRÁULICA PARA PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES DE REDUÇÃO DE PERDAS REAIS

Paulo Rogério Palo[(1)]
Engenheiro Civil pela Universidade Anhembi Morumbi e Mestre em Hidráulica pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro da Divisão de Controle de Perdas da Unidade de Negócio Centro da Sabesp.
Débora Soares[(2)]
Engenheira Química pela Escola Politécnica da USP, pós-graduada em Engenharia de Controle de Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP, em Administração de Empresas pela Faculdade de Economia e Administração de Empresas da USP, em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica da USP, Mestre em Saneamento pela Escola Politécnica da USP e MBA Gestão Empresarial pela FIA. Gerente da Divisão de Controle de Perdas da Unidade de Negócio Centro da Sabesp.

Endereço[(1)]**:** Rua Dona Antônia de Queirós, 218 - Consolação - São Paulo - SP - CEP: 01307-010 - Brasil - Tel: (11) 3138-5452 - e-mail: prpalo@sabesp.com.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi demonstrar a utilização da simulação hidráulica como ferramenta para a determinação dos parâmetros necessários na definição de ações para a redução de perdas reais. O estudo foi dividido em seis fases, sendo: (a) montagem da topologia, (b) carregamento de informações, (c) coleta das medições pressão e vazão em campo, (d) calibração do modelo, (e) avaliação das perdas por trecho de rede, e (f) definição de cenários para o combate às perdas reais. O resultado da simulação hidráulica permitiu a criação de cenários, nos quais pode ser testado o potencial de redução das perdas obtido com a aplicação das ações de combate às perdas reais, que auxiliaram na escolha das ações para combate às perdas, bem como, sua priorização. Também foi possível a quantificação dos materiais e serviços, pois a topologia foi construída sobre a base cadastral da infraestrutura existente.

ABSTRACT

This study had a objetive to demonstrate how the use of hydraulic simulation can help to determine the necessary parameters to define actions to reduce water real losses. It was divided into six phases: (a) topology assembly, (b) information loading, (c) pressure and flow measurements, (d) model calibration, and (f) scenarios definition to combat real losses. The hydraulic simulation results allowed the scenarios creation in which the actions to combat real losses were tested, which helped to choose actions to combat losses witch bring plus result, as well as their prioritization . It was also possible to quantify the materials and services, since the topology was built on the cadastral basis of the existing infrastructure.

PALAVRAS-CHAVE: Redução de Perdas, Perdas Reais, Perdas Aparentes, Crise hídrica, Simulação Hidráulica, Modelagem Matemática.

INTRODUÇÃO

Devido ao fato de o sistema de abastecimento de água ter sido submetido a grandes variações de pressão ao longo do dia, durante à crise hidrica ocorrida no período de 2014 e 2015, surgiu a necessidade de se executar intervensões na malha de distribuição de água para a correção de falhas causadas pela fadiga mecânica nas conexões e em trechos cujo tempo de instalação estava acima dos 40 anos. Estas intervensões situam-se em áreas densamente urbanizadas e com grande movimentação de pessoas e veículos em suas vias públicas.

Nas grandes metrópoles, grandes intervenções físicas na infraestrura de rede de distribuição de água ou interrupções no abastecimento normal dos clientes, geram transtornos e podem prejudicar a imagem da empresa concessionária. Visando a minimização das intervenções e a maximização de recursos, a utilização da simulação hidráulica foi escolhida para auxiliar na definição dos trechos mais críticos, e quais ações devem ser executadas. [(1)]"Os modelos de simulação hidráulica são eficazes no fornecimento de informações para a elaboração de um diagnóstico de perdas de água em um sistema de distribuição. [...]. As simplificações da realidade efetuadas no modelo, não afetam os resultados críticos. Desta forma, o comportamento do sistema real é reproduzido, o que permite a elaboração do diagnóstico operacional do sistema". Este conceito foi

aplicado neste trabalho cujo resultado orientou a definição e o planejamento de ações para redução de perdas e otimização operacional.

Em uma reunião de análise crítica na, realizada em agosto de 2016, foi apontada a necessidade de escolha de áreas com maior o potencial de vazamentos para direcionar os investimentos de recursos onde haja maior retorno com redução de perdas de água. Após a crise hídrica, que tornou os recursos existentes e o tempo para a combate às perdas se escassos, face a dimensão do crescimento das perdas e das condições operacionais da rede distribuição. Foi sugerido, pela equipe de engenheiros presentes, a utilização da ferramenta de simulação hidráulica para potencializar o direcionamento das empresas de detecção de vazamentos e ainda gerar um diagnóstico operacional da rede existente. Esta sugestão foi aceita pelo corpo gerencial presente e um plano de ação foi esboçado imediatamente.

O crescimento das perdas era alvo em reportagens publicadas nos principais meios de comunicação, e as condições operacionais das redes de distribuição, apresenta problemas estruturais que aumentam a probabilidade de vazamentos e arrebentamentos nas redes de distribuição. O risco de investir esforços e recursos em áreas nas quais os ganhos não atendam as expectativas pode ser minimizado com a utilização desta ferramenta, pois permite verificar os trechos de rede com maior potencial de perdas. Assegurando assim, a agilidade necessária para se definir a área com maior chance de bons resultados e direcionar os recursos.

O risco de investir esforços e recursos em áreas nas quais os ganhos não atendam as expectativas, foi estudado por uma equipe multi-organizacional formada pelos profissionais das Divisões de Engenharia, Operação, Manutenção, Comercial e de Apoio administrativo. As tarefas de obtenção das informações necessárias, foram divididas e cada grupo concentrou-se em sua tarefa. Utilizando o método DELPHI (consenso entre especialistas) os principais fatores do aumento das perdas foram identificados como sendo:

- Grande variação de pressão ao longo dia, no período da crise hídrica;
- Redes antigas com mais de 50 anos de operação;
- Tempo muito longo para pesquisa de vazamento em uma grande extensão de rede;
- Aumento dos vazamentos em função da fadiga mecânica das juntas e arrebentamentos, devido a variação de pressão;
- Necessidade de um gerenciamento de pressão mais efetivo.

O fator de tempo na detecção de vazamentos foi o que se definiu como primeiro passo para a redução das perdas, que é o objeto deste trabalho. Os demais itens seriam tratados após os reparos dos vazamentos detectados e com a melhoria da gestão de pressão. Após a construção da topologia da rede de distribuição no software para simulação hidráulica, inicia-se a fase de calibração da topologia e das demandas, por meio de dados de vazão e pressão medidos e coletados “in-loco” por registradores eletrônicos em pontos definidos na topologia. [(1)]“A reprodução aproximada da realidade depende diretamente da confiabilidade das informações obtidas em campo. Assim, toda a coleta de dados proveniente de medições ou ensaios, deve ser tratada com o máximo rigor possível, agindo como se estivesse em um grande laboratório”.

MATERIAIS E MÉTODO

A redução no tempo na detecção de vazamentos, com o uso de uma ferramenta de simulação hidráulica foi tradado em etapas[(1)], sendo:

ETAPA – A – Carregamento das informações no software de simulação hidráulica:

1. Construção da topologia de rede com as condições atuais de operação;
2. Carregamento na topologia das informações comerciais;
3. Coleta de dados operacionais de pressão e vazão em pontos distribuídos ao longo do setor;
4. Calibração do modelo matemático, por meio de algoritmo genético, incluso no software de simulação;

ETAPA – B – Obtenção das vazões de perdas por trecho:

1. Calculo da perda por trecho de rede, baseado na dissertação de mestrado já mencionada em itens anteriores;
2. Elaboração de mapa temático com a perda por trechos;

ETAPA – C – Diagnóstico e propostas de ações:

1. Análise dos resultados;
2. Diagnóstico;
3. Definição de propostas.

Na Etapa A, a construção da topologia, foi examinada toda a base cadastral na busca de falhas e/ou informação incompletas, pois levariam a simulação à resultados errôneos. As equipes de engenharia e de operação trabalharam juntas nesta etapa. Na coleta de dados operacionais a indisponibilidade de equipes e equipamentos para a coleta de dados, dificultou a obtenção de medições de vazão e pressão em campo, em um número maior de pontos. A solução foi utilizar os pontos com telemedição, que estão instalados em controladores de válvulas redutoras de pressão e em pontos críticos de abastecimento. A calibração do modelo se mostrou satisfatória, apesar dos pontos monitorados serem em quantidade inferior ao necessário para uma extensão tão grande de rede de distribuição.

Na Etapa B, o uso do Teorema de transporte de Reynolds[2], o que facilitou e simplificou o trabalho da detecção dos trechos com vazamentos.
Considerando um escoamento incompressível (r= r(x, y, z, t) = cte), temos:

$$0 = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \rho \forall \cdot d\forall + \int_{SC} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Equação 1

Colocando-se r como fator obtemos a Equação 2

$$0 = \rho \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} d\forall + \rho \int_{SC} \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Dividindo-se a Equação 2 por r obtemos a Equação 3

$$0 = \frac{\partial \forall}{\partial t}\int_{SC} \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Onde:
- ρ = massa específica do fluído
- VC = Volume de controle
- SC = Superfície de controle
- $\forall$ = Volume contido na superfície de controle
- $\vec{V}$ = Velocidade do escoamento
- $\vec{A}$ = Área da superfície de controle
- $d\forall$ = Variação no volume de controle
- $d\vec{A}$ = Variação na área da superfície de controle

Para simplificação dos cálculos, considerando que a deformidade no volume de controle (no caso a tubulação) seja nula, ou seja, $\frac{\partial \forall}{\partial t} = 0$, a variação do volume no tempo é constante, assim temos:

$$0 = \int_{SC} \vec{V} \cdot d\vec{A} = Q_R$$

Para um escoamento incompressível, a vazão volumétrica resultante Q_R (afluxo e efluxo) pelas SC e VC é nula.

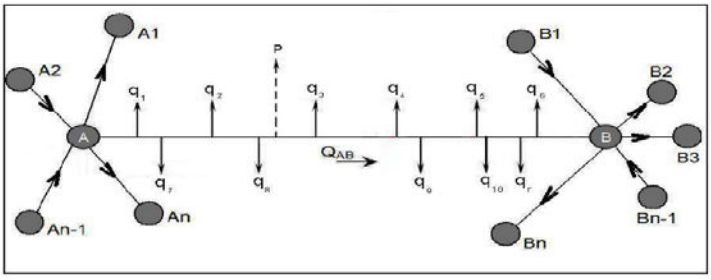

Figura 1 – Esquema de cálculo

Neste trabalho foi aplicada o teorema considerando o esquema hidráuliclo abraixo ver Figuras 1 e 2.

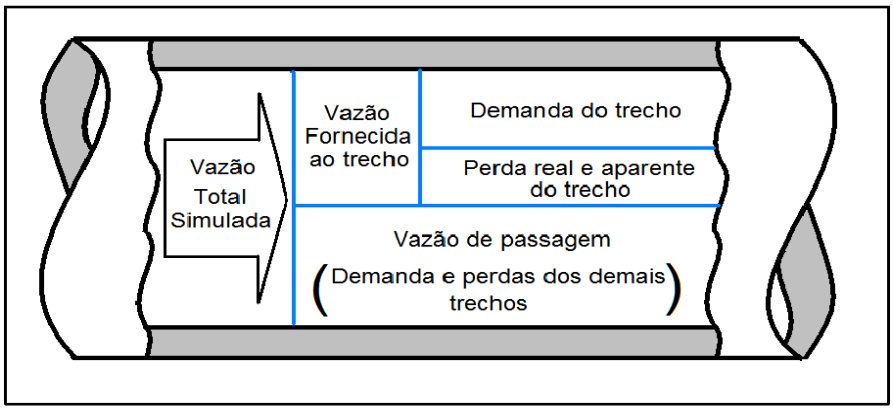

Figura 2 - Esquema de estratificação da vazão simulada no trecho (Palo, 2010).

Por meio do balanço hídrico das vazões, apresentadas no esquema da Figura 1, faz-se a estratifcação das vazões como apresentado na Figura 2.

A International Water Association – IWA, estabelece valores de referência para vazões de vazamentos em tubulações de distribuição de água tratada, com base em diversos ensaios em diversos países. Estes valores são apresentados na Tabela 1, e foram utilizados para classificar os vazamentos, e também, nos casos onde a simulação apresenta vazões de vazamentos nula, são adotadas as vazões de referência para vazamentos inevitáveis.

Tabela 1 - Valores de referência IWA[(3)] (Adaptada)

Tipo Vazamento	Componente da infraestrutura	Frequência	Vazão	Duração
Inerente	Rede	-	20 L / km . h	-
	Ramal	-	1,25 L / ramal.h	-
Visível	Rede	0,124 / km . ano	12 m³ / h	3 dias
	Ramal	2,25 ‰	1,6 m³ / h	8 dias
Detectável	Rede	0,006 / km . ano	6 m³ / h	50 dias
	Ramal	0,75 ‰	1,6 m³ /h	100 dias

O uso dos resultados da simulação hidráulica, executada em software próprio para este fim, em período estendido (24 horas) para a obtenção das vazões de perdas por trecho de rede.

No resultado da simulação obtém-se a vazão total que passa por um trecho de rede, esta vazão contém em si, a vazão que alimenta os demais tubos a jusante e a vazão consumida no trecho mais as perdas, ver detalhe na figura 2.

Esta análise inusitada e engenhosa permitiu estimar a perda por trecho de rede de forma simples agilizando o processo de detecção de vazamentos, independente da extensão de rede. No cálculo, toma-se trecho-a-trecho de rede e calcula-se as vazões fornecida ao trecho e a vazão que passa pelo trecho. Estas vazões são calculadas efetuando-se a soma das vazões de afluxo e efluxo das extremidades do trecho, e compondo a vazão fornecida ao trecho temos o consumo dos clientes e a perda, ver esquema na figura 1. Desta forma, subtraindo da vazão fornecida ao trecho o consumo dos clientes, temos a perda total no trecho. Com os valores de perdas é feita uma classificação em função da vazão de perdas seguindo o seguinte critério:

- Vazamentos Classe A: aqueles que possuem vazões acima da média interna dos valores simulados, isto é, excluindo-se os valores extremos;
- Vazamentos Classe B: aqueles que possuem vazões entre a vazão de perdas inevitáveis e a média interna dos valores simulados;

- Vazamentos Classe C: aqueles que possuem vazões iguais ou menores que a vazão de perdas inevitáveis.

Com a classificação das perdas por trecho de rede é feito um mapa temático destacando-se a classificação dos trechos de rede. Por fim, pode ser determinada a área na qual a recuperação de volume seja maior e nela realizar as ações de combate as perdas.

Os modelos e mapas são arquivados em pastas sob a responsabilidade da Divisão de Controle de Perdas, a qual faz a manutenção e controle das atualizações das informações no modelo e do mapa temático regularmente.

Na Etapa C, o uso dos mapas temáticos permitiu a visualização espacial dos trechos de rede mais comprometidos, e desta forma agilizou e simplificou a definição da área mais crítica.

Durante a execução dos trabalhos, foram consultados os operadores e manobristas, para colher outras informações operacionais indisponíveis nos sistemas corporativos e suas impressões sobre as causas do elevado número de vazamentos que estavam ocorrendo.

A solução proposta, tornou-se uma ferramenta que direciona os serviços de detecção de vazamentos e ações de perdas de forma a diminuir risco de investir esforços e recursos em áreas nas quais os ganhos não atendam as expectativas, e obter os melhores resultados. O resultado da ação foi apresentado em um evento interno da companhia, no qual são avaliadas as ações de perdas realizadas no período, e toda a equipe foi parabenizada pelo esforço, e juntamente com corpo gerencial presente comemoraram os êxitos da ação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização regular da ferramenta, permite que a base cadastral e as condições operacionais dos setores de abastecimento estejam em conformidade com a situação atual, o que contribui para prevenir outras ocorrências de vazamentos, por antever quaisquer aumentos de vazões ou pressões no setor, permitindo a mitigação de perdas.

A agilidade está na criação de diversos cenários que permite a análise de novos fatores ou situações impactantes no abastecimento, possibilitando seu uso em diversas análises diferentes, tais como: na proposição de novas redes, fornecimento de diretrizes para novos empreendimentos imobiliários, previsão de demanda futura, renovação da infraestrutura, entre outras, o que demonstra sua adaptabilidade ao processo de operação das redes de distribuição de água.

Com o uso da ferramenta foi possível elaborar um mapa temático mostrando em tons de vermelho os pontos mais críticos em perdas, e assim identificar a área mais crítica em setores de abastecimento, ver figura 3.

Com isso agilizou e simplificou o direcionamento das ações de combate as perdas para áreas com maior potencial de ganhos.

Comparando os consertos de vazamentos realizados no mês seguinte a definição da área crítica, se constatou que 49% dos vazamentos em redes consertados foram apontados pela ferramenta. E o tempo necessário para a realização dos cálculos foi de 40 dias corridos (este tempo considera a construção e verificação da topologia e a calibração do modelo matemático, e pode variar dependendo da extensão de rede e das informações disponíveis), com isso diminuiu em 6,5 vezes o tempo de pesquisa de vazamentos, pois direcionou as equipes nas áreas com maior potencial de perdas. A figura 4 ilustra a quantidade de vazamentos em rede e ramal que foi apontado pela ferramenta, os círculos de cor roxa representam reparos em rede e os de cor verde escuro os reparos em ramal.

CONCLUSÃO

O resultado, representado pelo ganho de tempo e agilidade na escolha da área a ser pesquisada, proporcionou economia de recursos na pesquisa de vazamentos em campo, pois este serviço tem um custo relativamente alto e uma vez que a pesquisa é direcionada em áreas cujo potencial de vazamentos é grande, proporciona uma

economia de recursos financeiros e humanos. Por exemplo, na pesquisa sem o uso desta ferramenta, seria necessário pesquisar a área toda, cuja extensão é de aproximadamente 910 km, tomando-se por base a produtividade de apenas uma equipe de detecção de vazamentos, que é da ordem de 3,5 km por 8 horas de serviço, levaria 260 dias corridos, no entanto com o auxílio da ferramenta, a pesquisa é realizada somente na área crítica cuja a extensão é de aproximadamente 14,7 km, e em aproximadamente 5 dias corridos, o que representa uma economia substancial de recursos.

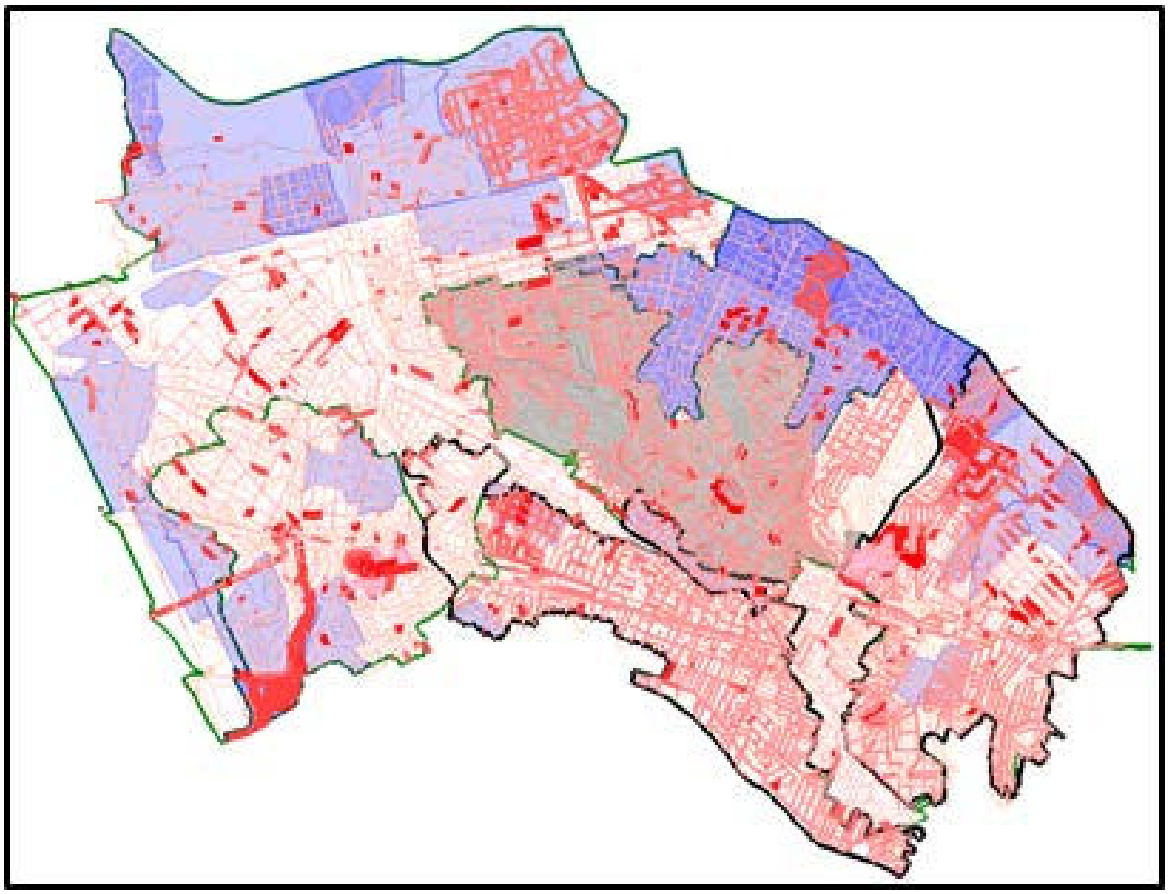

Figura 3 - Área simulada, em destaque os trechos com maiores perdas.

Pelos resultados apresentados, à aplicação da metodologia é válida e direciona as ações onde realmente o retorno é maior. A agilidade alcançada e a melhoria no abastecimento dos setores escolhidos demonstraram a eficiência e a eficácia desta metodologia. Alem do direcionamento das pesquisas de vazamentos, através desta metodologia foi possível prever cenários nos setores de abastecimento estudados, bem como priorizar as ações e setores mais críticos na Unidade de Gerenciamento Regional, possibilitando a maximização de resultados e otimização dos recursos

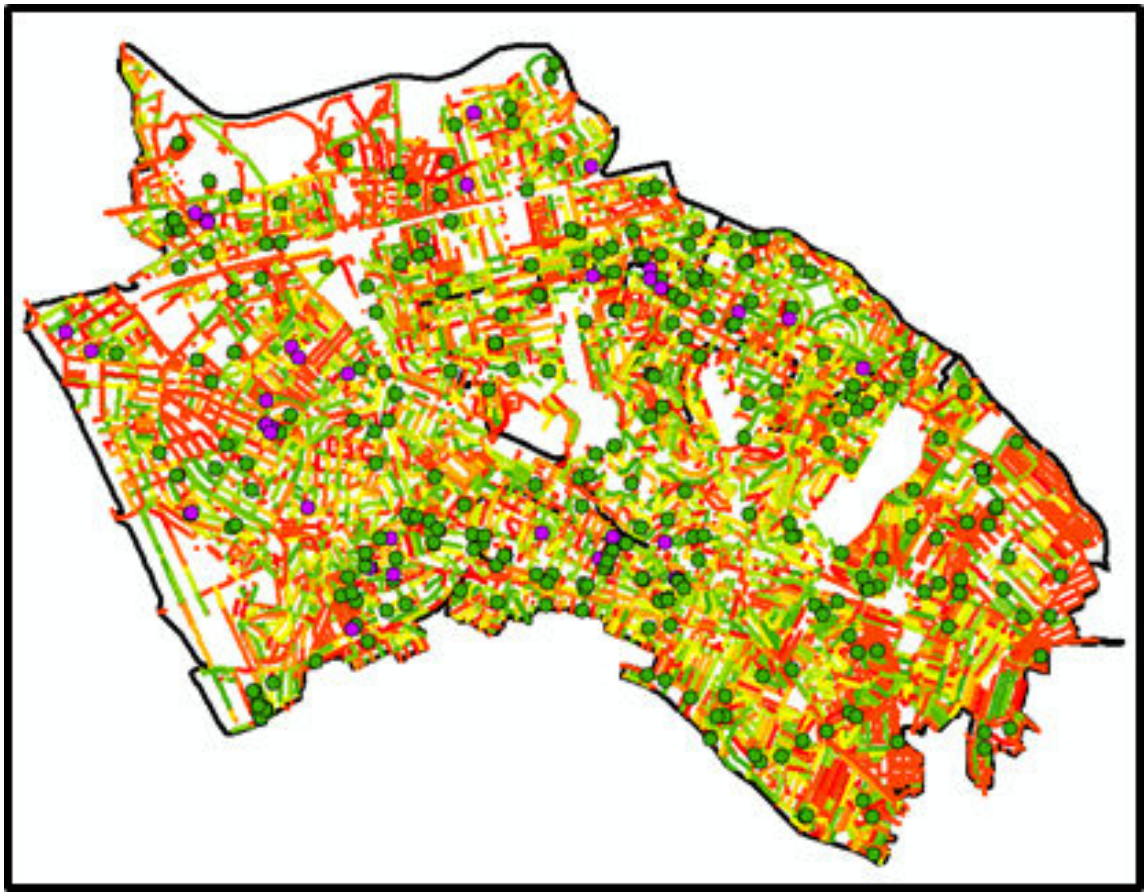

Figura 4 – Quantidade de vazamentos em rede e ramal consertados (49% dentro do previsto)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Palo, Paulo Rogério.** Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água. São Paulo : Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenheria Hidráulica e Sanitária., 2010. p. 169. Disponível no site: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-27092010-104217/pt-br.php.
2. **Netto, José Martiniano de Azevedo.** *Manual de Hidráulica.* São Paulo : Edigard Blucher Ltda, 1998. 85-212-0153-2.
3. **Lambert, Allan and Myers, Stephen and Trow, Stuart.** *Managing Water Leakeage.* London : Financial Times Energy, 1998. 1-84083-011-5.