

## I-074 – METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO PARA RENOVAÇÃO OU REABILITAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

**Alex Orellana<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Produção Mecânica pelo Centro Universitário Nove de Julho. Tecnólogo em Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Gerente da Divisão de Operação de Água Norte da Sabesp. Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas.

**Paulo Rastelli Júnior<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo – FESP. Tecnólogo em Construção Civil pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Pós-Graduado em Engenharia de Saneamento Básico pela Universidade de São Paulo. Engenheiro da Divisão de Operação de Água Norte da Sabesp.

**Irineu Delatorre Júnior<sup>(3)</sup>**

Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica (POLI/USP). Supervisor na Divisão de Operação de Água Norte da Sabesp.

**Robson Luis de Oliveira<sup>(4)</sup>**

Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Tecnólogo da Divisão de Operação de Água Norte da Sabesp.

**José Gilberto Kuhl<sup>(5)</sup>**

Historiador pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Guarulhos. Pós-Graduação em Educação Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Supervisor da Divisão de Operação de Água Norte da Sabesp.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Conselheiro Saraiva, 519 - Santana – São Paulo - SP - CEP: 02037-021 - Brasil – Tel: (11) 2971.4076 - e-mail: alexorellana@sabesp.com.br

### RESUMO

Diversos operadores de sistemas de distribuição de água estão confrontando-se com a importante tarefa de reabilitar ou renovar suas redes de abastecimento. O envelhecimento das tubulações leva a aumentos na frequência de vazamentos, nos custos de manutenção, nos problemas de regularidade do fornecimento de água, na qualidade da água e no volume de água perdida, acarretando em um decréscimo da eficiência do sistema.

O presente trabalho consiste na proposição e na aplicação de uma metodologia para o planejamento da renovação da infra-estrutura de redes de distribuição de água em larga escala. Trata-se de uma metodologia para seleção da área objeto de reabilitação ou renovação através da análise de indicadores de desempenho e histórico de dados operacionais e cadastrais, mapas critério factíveis a uma empresa de saneamento.

Para o desenvolvimento da metodologia de renovação de infra-estrutura de larga escala e sua posterior aplicação, será utilizado o caso real do planejamento de reabilitação de redes de distribuição da Unidade de Negócio Norte da Sabesp.

**PALAVRAS-CHAVE:** eficiência hidráulica, planejamento, reabilitação de redes de distribuição, perdas reais.

### INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água é um conjunto de infra-estruturas, equipamentos e instalações com a finalidade de prover água, atendendo a requisitos técnicos de disponibilidade, quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano.

Em função da complexidade do sistema de abastecimento de água, o mesmo é dividido em etapas e processos, iniciando-se na captação e tratamento da água bruta, adução e reservação de água tratada e distribuição de água tratada, chegando até o cliente final através de um complexo sistema de tubulações de diferentes diâmetros, materiais e idade de instalação.

Os sistemas de abastecimento de água possuem a característica de acompanharem o desenvolvimento das cidades, o crescimento populacional e sua distribuição geográfica. Desta maneira sua capacidade de

atendimento da demanda sofre constantes ampliações e adequações, o que resulta em uma condição heterogênea das características construtivas da infra-estrutura.

Como os sistemas de abastecimento de água são um dos primeiros serviços a serem implantados na formação de conglomerados humanos, seja desde uma pequena comunidade até as grandes cidades, conclui-se que grande parte dos sistemas de abastecimento de água foram projetados e implantados há dezenas de anos. Isto leva na atualidade a diversos problemas de operação e manutenção eficientes de forma a garantir o abastecimento de água dentro dos padrões de disponibilidade, quantidade e qualidade adequados.

O envelhecimento natural dos sistemas de abastecimento de água é inevitável e, a medida que estes componentes atingem o final da vida útil, a quantidade de vazamentos tende a aumentar, as rupturas e interrupções do abastecimento tornam-se cada vez mais constantes. Muitas tubulações acabam por apresentar um alto grau de tuberculização, que aumentam a rugosidade interna e reduzem o diâmetro hidráulico, ocasionando frequentes problemas de qualidade da água e pressões abaixo da mínima recomendada. Assim, os custos de manutenção e operação do sistema aumentam e a satisfação dos clientes com o serviço diminui.

As empresas e autarquias responsáveis pela gestão desses sistemas são confrontadas com a necessidade de continuar investindo na expansão da infra-estrutura para atender a crescente demanda por água tratada e iniciar a renovação ou reabilitação da existente, que na maioria dos casos é mais onerosa e de execução mais complexa que a implantação de um novo sistema. Isto porque, estão localizadas em áreas consolidadas e com pouco espaço disponível no subsolo, em virtude das demais infra-estruturas de serviços existentes.

Outra dificuldade é o fato dessas instalações terem sofrido uma série de intervenções e adequações ao longo dos anos. Muitas vezes sem o cuidado de manter os registros técnicos e cadastrais atualizados, fator que gera uma série de incertezas nas análises técnicas.

Muitos dos componentes dos sistemas de abastecimento de água já excederam o tempo de vida útil para o qual foram dimensionados. Entende-se por vida útil (técnica) de um componente de uma infra-estrutura de abastecimento de água, o período durante o qual este desempenha adequadamente as funções para as quais foi concebido e projetado, sem que para tal haja custos de operação e manutenção elevados. A infra-estrutura sendo constituída por um conjunto de componentes de diferentes naturezas, com vidas úteis também diferentes e datas de construções diversas apresentam uma vida útil de difícil definição. Uma forma de diagnosticar se esta vida útil já está ultrapassada e se o componente necessita de intervenção, é o monitoramento através de indicadores de desempenho que reflitam as condições operacionais do mesmo.

Neste contexto, uma grande parcela dos investimentos atuais e futuros em sistemas de abastecimento de água deverão ser em programas de renovação e reabilitação de infra-estruturas hidráulicas.

Dadas todas as condições e os custos envolvidos na reabilitação e renovação do sistema de abastecimento de água, torna-se necessária empregar uma metodologia adequada à realidade do gestor deste sistema.

### **A deterioração do desempenho dos sistemas de distribuição de água**

As redes de distribuição de água devem transportar água em quantidade e qualidade de acordo com os níveis de serviço desejáveis. Estes requisitos se alteram com o tempo. Além disso, há alterações no padrão de serviço em função do crescimento do consumo per capita e das mudanças associadas. Requisitos de qualidade da água estão se tornando cada vez mais rigorosos, até porque o entendimento que a qualidade de água é diretamente associada à saúde da população atendida é cada vez maior. Estes fatores resultam em uma mudança na definição do que deve ser alcançado pelos ativos que essencialmente compõem a rede de distribuição (Engelhardt et al. – 2000).

Segundo Alegre et al. (2006), infra-estruturas hídricas fornecem um serviço essencial e atemporal para as comunidades. Contudo, estas infra-estruturas são compostas de bens com vidas úteis finitas, variáveis de ativo para ativo, com nível de desempenho decrescente com o tempo. Inversamente, cada componente é parte de um sistema integrado, e seu comportamento poderá afetar o nível global do serviço.

O envelhecimento das tubulações leva a um aumento na frequência de rupturas e vazamentos, e um decréscimo na eficiência do sistema (Alvisi et al. – 2006). Segundo Hadzilacos et al. (2000), quando as tubulações tendem para o fim de sua vida útil, a falha aumenta a taxas exponenciais.

De acordo com Kleiner et al. (2001), a rede de distribuição de água, que é tipicamente o componente mais caro de um sistema de abastecimento, está continuamente sujeita a condições ambientais e operacionais que levam à sua deterioração. Maiores custos de operação e manutenção, perdas de água, redução na qualidade da água e do serviço são resultados típicos da deterioração.

Segundo Alvisi et al. (2009), com o envelhecimento das tubulações que compõem um sistema de abastecimento de água, as suas características mecânicas sofrem deterioração e diminuição de sua resistência estrutural, resultando em um aumento no número de quebras.

A deterioração das tubulações pode ser classificada em estrutural, quando diminui a sua resistência estrutural e a capacidade de suportar vários tipos de tensões, e deterioração interna, quando resulta na diminuição da capacidade hidráulica, na degradação da qualidade da água e até mesmo diminuindo a resiliência estrutural, em casos de grave corrosão interna (Kleiner et al. – 2001).

Atualmente, no Brasil, as maiores deficiências dos sistemas de abastecimento estão relacionadas principalmente à deterioração dos sistemas mais antigos, especialmente as redes de distribuição de água (Martins e Sobrinho - 2005). Neste contexto, observa-se a diminuição da satisfação dos clientes com o serviço, dado pela quantidade de reclamações de deficiência do abastecimento, falta d'água, baixa pressão e baixa qualidade da água.

No que se refere à vida útil destas tubulações, Tardelli (2005) aponta que os componentes de um sistema de distribuição têm uma vida útil que depende da qualidade do material empregado, das condições físico-químicas do solo, da qualidade da execução de implantação e, posteriormente, da manutenção e das proteções contra o fenômeno da corrosão.

Para as redes primárias e secundárias, estima-se a vida útil da tubulação em torno de 50 anos. Já os ramais prediais a vida útil estimada é bem menor. Considerando-se o valor de 50 anos para a vida útil das redes de distribuição, deve existir um programa de renovação da infra-estrutura abrangendo um percentual de 2% da extensão total ao ano, incluindo a troca dos ramais (Tardelli - 2005).

Quanto ao desempenho hidráulico dos sistemas de distribuição, um dos principais fatores está relacionado com a dissipação de energia em função da perda de carga através das tubulações que o compõe. O aumento da rugosidade das paredes internas das tubulações com o passar do tempo resulta na diminuição da capacidade hidráulica das tubulações. A diminuição da capacidade hidráulica de um sistema de distribuição está diretamente relacionada com a deterioração, ao longo do tempo, do coeficiente C da equação de Hazen-Williams (Azevedo Netto et al. - 1998).

Neste contexto de envelhecimento, problemas com os parâmetros de qualidade da água são variáveis dentro de uma rede, o que os torna muito difíceis de medir diretamente. Além disto, a compreensão das alterações dos parâmetros de qualidade da água na distribuição é, atualmente, muito limitada para permitir que modelos que reflitam fielmente a realidade sejam desenvolvidos, da mesma forma como foi possível para o desempenho hidráulico. Assim, as investigações de campo ajudam a estabelecer as causas básicas de problemas. Esta são cruciais para decidir sobre a melhor tratativa, de acordo com Evins et al. (1989).

Atualmente o maior desafio atual dos operadores dos sistemas de distribuição é a redução do índice de perdas de água tratada.

Segundo Alvisi et al. (2009), o envelhecimento e a reabilitação das tubulações de distribuição de água também influenciam nas perdas. As perdas reais, ou seja, as perdas devido às rupturas nas tubulações de distribuição de água aumentam na medida em que os sistemas de distribuição tornam-se mais velhos. Porém tendem a diminuir conforme os sistemas são reabilitados. Assim, as perdas reais devem ser tidas em conta, juntamente com os custos de manutenção e confiabilidade, uma vez que são afetadas pelas ações de reabilitação.

De acordo com Thornton et al. (2008), em muitos sistemas um programa de substituição de tubulações irá resolver o problema de um grande volume de perdas, pois em muitos casos, os maiores volumes anuais de

perda real residem nos menores vazamentos nas linhas de distribuição que se estendem por longos períodos não detectados ou declarados. Além disso, na maioria das vezes, a substituição da rede ou dos ramais de serviço reduz a frequência de novas quebras e, conseqüentemente, reduz os custos anuais de manutenção e a frequência necessária para a atividade de detecção preventiva de vazamentos.

### Planejamento de Reabilitação de Redes

Muitos sistemas de abastecimento existentes atingiram sua vida útil e os investimentos de capital necessários para renová-los são elevados. O desenvolvimento de métodos para o planejamento da reabilitação é necessário, a fim de definir quando e como reabilitar as tubulações de um sistema de distribuição. A reabilitação de um sistema de distribuição de água pode ser motivada não somente pelo envelhecimento ativo, mas também por uma combinação de outros fatores concorrentes, tais como o desempenho hidráulico insatisfatório, os problemas de qualidade de água, a necessidade de expansão, a confiabilidade insuficiente e um alto nível de perdas de água (Alegre et al. – 2006).

O desafio para o tomador de decisão é determinar o plano mais rentável de reabilitação, levando-se em conta a priorização, as alternativas de reabilitação e o momento no horizonte de planejamento. Isto, sem prejuízos do serviço prestado, da confiabilidade do sistema, da pressão de serviço, da qualidade da água, entre outros (Kleiner et al. – 2001; Berardi et al. – 2008; Giustolisi and Berardi – 2009; Tanyimboh e Kalungi – 2008).

Há vários fatores que tornam o planejamento da reabilitação dos sistemas de distribuição de água uma tarefa complexa, algumas delas são a escassez de recursos disponíveis, a grande dimensão real das redes, a escolha correta da técnica de reabilitação, entre todas as alternativas disponíveis e a oportunidade de melhorar o desempenho das redes, renovando os elementos de infra-estrutura (Berardi et al. – 2009).

Segundo Marinis et al. (2008), um problema frequente que surge nesta análise é a seleção de qual solução deverá ser adotada, a fim de prestar um serviço adequado e, simultaneamente, minimizar os custos da reabilitação. Esta decisão pode ser facilitada, considerando o volume de água que deixou de ser fornecido para os consumidores, por causa da estrutura inadequada do sistema, o que representa uma fonte de receita perdida para as empresas de água. Este custo é avaliado em função do nível de inadequação do sistema hidráulico e do custo unitário da água.

Segundo Grigg (2006), a taxa média de substituição de tubulações nos Estados Unidos está em uma vez em 200 anos, demonstrando a necessidade de uma avaliação efetiva da condição do tubo para planejar programas de renovação dos sistemas de distribuição.

A *Canadian Water and Wastewater Association (CWWA)* (1997) estimou que \$ 11.5 bilhões de dólares Canadenses seriam necessários para renovar as redes de distribuição de água pelos próximos 15 anos, naquele país (Kleiner et al. – 2001).

Segundo Boulos et al. (2000), A *American Water Works Association Research* estima que há cerca de 880.000 milhas de tubulação subterrânea de distribuição nos Estados Unidos, com um valor de substituição de quase \$348 bilhões de dólares americanos.

A Reabilitação das redes de um sistema de abastecimento de água fornece às empresas operadoras, um grande desafio técnico e estratégico, bem como um enorme fardo financeiro. Por esta razão, uma eficaz e pró-ativa gestão de ativos tem assumido um papel muito importante nos últimos anos. (Poultron et al. – 2009).

Ainda, segundo Poulton et al. (2009), a avaliação de risco de rupturas pode ser considerada tanto no nível macro (grupos de tubos com características semelhantes) e a nível micro (tubos individuais). Esta distinção afeta a escolha final dos candidatos à reabilitação. Trabalhando no nível macro permite-se uma estratégia global para ser implementada, mas a variação de desempenho de tubos de natureza aparentemente semelhantes pode levar a reabilitação não ser totalmente otimizada. Por outro lado, a consideração de cada tubo, pode não ser propícia para a reabilitação funcional e eficaz. A relevância é o aspecto espacial. A substituição de um quilômetro de tubos conectados em uma zona, talvez seja mais viável do que substituir o comprimento equivalente, em diferentes seções, por toda a cidade. O desafio é combinar o macro e micro projetos de reabilitação e definir as abordagens que são otimizadas em termos de redução de riscos e proximidade espacial.

Ainda segundo Selvakumar et al. (2002), dado o custo e a perturbação causada pela substituição das tubulações do sistema de distribuição de água, utilizando a tecnologia de vala aberta convencional, os operadores dos sistemas estão começando a aumentar a aplicação de técnicas de reabilitação ou substituição para prolongar a vida útil da tubulação existente. O custo de reabilitação e de substituição é uma função de uma série de fatores como a duração total do projeto, o diâmetro do tubo, o material da tubulação, o acesso à tubulação, a limpeza antes da aplicação do revestimento, a escavação de poços de inserção e recepção, a remoção do pavimento e a substituição acima dos poços de acesso, a remoção e substituição de válvulas existentes, hidrantes, e a necessidade de tubulações de *bypass*, além das conexões para os serviços existentes e outros itens, tais como controle de tráfego e remoção de obstáculos.

Segundo Evins et al. (1989), o objetivo de uma empresa de água é prestar economicamente um serviço satisfatório aos seus clientes, portanto é o desempenho dos seus sistemas de distribuição que, em última instância importa, ao invés de sua condição.

Ainda segundo Evins et al. (1989), o plano estratégico deve abranger as atividades durante um longo período, estimado em 20 anos. Isto é importante porque o planejamento financeiro é dependente de estimativas de investimentos requeridos à longo prazo e porque algum investimento de longo prazo pode ser necessário para superar os problemas de serviço existentes.

Segundo Kleiner et al. (2001), em função da magnitude dos custos envolvidos há pouca dúvida da necessidade de um planejamento cuidadoso e de grande empenho em considerar todas as alternativas, abordando simultaneamente os problemas de segurança operacional, confiabilidade, qualidade, perdas e eficiência no abastecimento de água.

A estratégia de reabilitação deve assegurar que um sistema de distribuição de água continue a operar de forma suficiente e econômica dentro de requisitos de funcionamento durante um período prolongado. A atenção está se afastando de estratégias de reação, que envolvem pouco planejamento de longo prazo, para abordagens pró-ativas baseadas em análises de previsão (Engelhardt et al. – 2000).

De acordo com Giustolisi et al. (2009), uma abordagem pró-ativa para a manutenção e reabilitação é fundamental para oferecer uma solução viável para evitar a deterioração não-controlada e também melhorar o desempenho da rede. Para um horizonte de tempo determinado, um regime de intervenção deve apontar onde e como uma ação de reabilitação deve ocorrer.

Segundo Hadzilacos et al. (2000), apesar de vários bons argumentos para a manutenção pró-ativa, ainda, em geral, a reabilitação das redes de água baseia-se em reparações após falhas ocorridas. É um fato, porém, que será menos dispendioso não intervir, apesar de uma elevada taxa de falha, se os custos indiretos e outros inconvenientes da falta de água e ações de reparo estão incluídos em critérios de decisão. Quando várias falhas ocorrem dentro de uma área limitada, isto pode dar um forte argumento para ações de reabilitação.

De acordo com Thornton et al. (2008), infelizmente, a manutenção é muitas vezes ignorada até que se instaure uma situação de emergência. No entanto, a gestão pró-ativa de perdas deve abordar a manutenção contínua e o gerenciamento da infra-estrutura como uma das questões-chave.

Ainda segundo Thornton et al. (2008), de uma perspectiva de redução da perda de água a decisão de substituir ou reabilitar uma tubulação muitas vezes pode ser feita em função do custo benefício, embora haja outros fatores que muitas vezes influenciam a decisão, tais como; as considerações ambientais, as preocupações com a saúde, os problemas estruturais, os riscos de emergência, o crescimento da procura, a redução da capacidade hidráulica e a falta de fontes alternativas.

O custo da não substituição ou reabilitação da tubulação pode ser avaliado usando os seguintes componentes; a frequência de ruptura média histórica, os custos do volume de água perdida por incidente, dos danos causados pela ruptura, para reparar a tubulação e para reintegrar a área circundante. Esses custos devem ser comparados com os custos de substituir ou reabilitar as tubulações em questão e a expectativa de vida da intervenção proposta (Thornton et al. – 2008).

De acordo com Grigg (2006), é compreensível que, do ponto de vista prático e por boas razões, o uso da avaliação do estado é muito variável pelos operadores dos serviços de água. É mais difícil avaliar a condição de ativos no subsolo do que dos bens visíveis que podem ser instrumentados. Embora as técnicas utilizadas em outras indústrias possam ser úteis, sistemas de distribuição de água requerem ferramentas e métodos únicos. A



avaliação de estado pode ser cara e pode envolver impactos visíveis, como escavação ou desperdício de água. A avaliação de estado muitas vezes traz à mente avançadas tecnologias, mas o potencial é muito escondido em função do uso de registros existentes, experiências e conhecimento operacional dos técnicos das empresas.

Ainda segundo Grigg (2006), os serviços de água continuam a enfrentar obstáculos como a falta de registros, a incapacidade para inspecionar tubos em serviço, e o fato de não haver suporte financeiro para a avaliação de estado, apesar do alto valor de substituição do segmento de tubulação.

O limite dos avanços na condição de avaliação não é tecnológico, e sim econômico. A falta de motivação para investir na avaliação de estado deve-se ao fato da tubulação poder permanecer em serviço, apesar de sua condição de deterioração. Portanto, enquanto os operadores continuarem a extrair resultados úteis da avaliação dos dados existentes, métodos de baixo custo para avaliação da condição serão buscados, empregados em conjunto com os bancos de dados dos sistemas de tecnologia da informação.

No curto prazo, as soluções podem estar ao alcance através de uma melhor gestão da informação existente. No longo prazo, o maior uso das tecnologias de ponta ajudará a superar os problemas de envelhecimento, a deterioração, os danos e as ameaças, que são inerentes em ambientes urbanos congestionados.

Apesar de haver consenso referente aos efeitos negativos da deterioração dos sistemas de distribuição de água e da necessidade de sua reabilitação ou renovação, a decisão de quando e como intervir dependerá da análise de desempenho de cada sistema de abastecimento e dos objetivos organizacionais de cada empresa operadora do sistema, levando a ações diferentes para cada situação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da metodologia de reabilitação e renovação de infra-estrutura em larga escala e sua posterior aplicação, será utilizado o caso real do planejamento de renovação de redes de distribuição de água da Unidade de Negócio Norte da Sabesp.

Para a elaboração deste trabalho serão identificadas as redes candidatas a reabilitação e renovação. Esta etapa será composta pela coleta, organização e tratamento dos dados cadastrais das redes de distribuição de água, extratificando-as por setor de abastecimento, data de instalação, material, diâmetro e extensão. Os dados cadastrais serão obtidos do banco de dados da Sabesp, através do Sistema de Informações Geográficas da empresa, denominado SIGNOS. Finda esta etapa será possível determinar as características das redes de distribuição de água da Unidade de Negócio.

A segunda etapa do trabalho consistirá no levantamento de indicadores de desempenho e informações operacionais que permitam qualificar as redes de distribuição de água, no que se refere a sua condição estrutural e de eficiência hidráulica.

Finda esta etapa será elaborada uma planilha contendo a média dos últimos 3 anos dos indicadores de desempenho por setor de abastecimento e atribuídos pesos aos mesmos, de acordo com a relevância dos problemas para o planejamento. A partir da correlação entre os valores médios dos indicadores com os pesos atribuídos, será possível gerar o *rancking* dos setores de abastecimento com extensões de redes candidatas a reabilitação e substituição.

Em seguida serão elaborados mapas critérios dos 3 primeiros setores de abastecimento do *rancking*, correlacionando as redes de distribuição por época de implantação com os históricos dos últimos 3 anos das ocorrências de vazamentos de redes, reclamações de pouca pressão e qualidade da água, os mapas serão gerados através do aplicativo SI – *Spatial Intelligence*, a partir da base de dados do SIGNOS. Esta etapa tem a finalidade de identificar trechos ou grupos de redes com maior incidência de ocorrências, para auxiliar na seleção das extensões para reabilitação.

Por fim será analisado quais os métodos de reabilitação ou renovação que melhor atendem as necessidades e características da área, sendo elaborada uma análise comparativa entre o custo operacional do setor de abastecimento, considerando as suas deficiências, e o custo para renovação ou reabilitação de sua infra-estrutura.

## CARACTERÍSTICAS DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DA UN NORTE

A Unidade de Negócio Norte da Sabesp possui 5.896 km de redes de distribuição de água, entende-se como redes de distribuição a infra-estrutura instalada a partir dos reservatórios setoriais de distribuição, portanto as linhas de adução, seja de água tratada ou bruta, não estão contabilizadas neste levantamento, por não serem objeto deste estudo.

A grande expansão das redes de distribuição na área da Unidade de Negócio Norte ocorreu nas décadas de 1970 e 1980, quando foram implantadas 56,99% do total de redes da unidade. Posteriormente, entres os anos de 1991 a 2010, a unidade continua expandindo o seu sistema de distribuição implantando mais 31,16% do total de redes.

**Tabela 1: Extensões de redes por época de implantação**

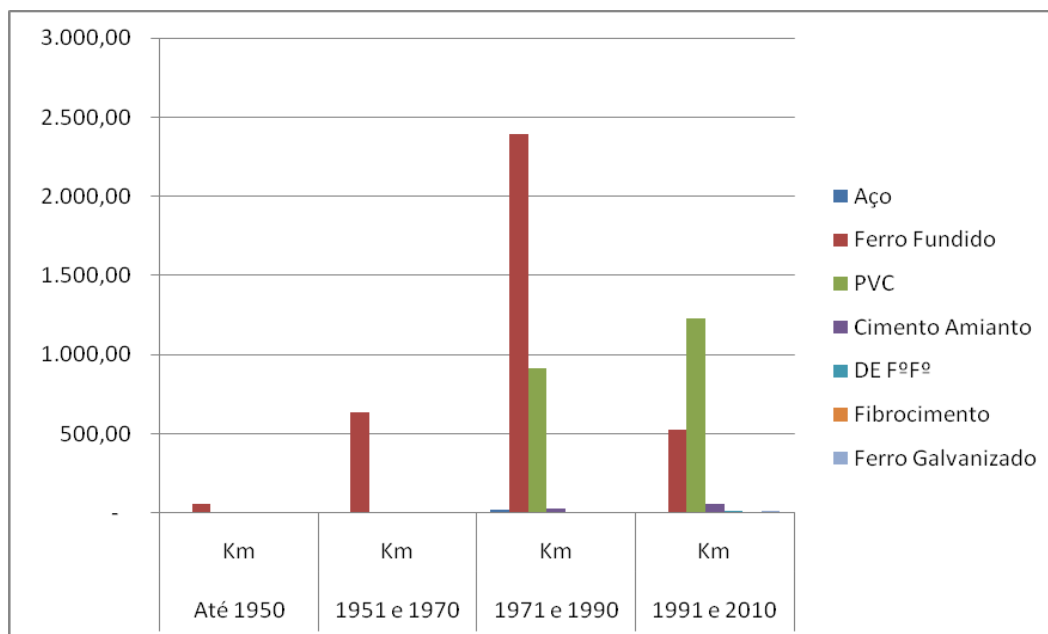
<b>Implantação</b>	<b>Km</b>	<b>%</b>
Até 1950	<b>56,26</b>	<b>0,95</b>
1951 e 1970	<b>642,04</b>	<b>10,89</b>
1971 e 1990	<b>3.360,59</b>	<b>56,99</b>
1991 e 2010	<b>1.837,62</b>	<b>31,16</b>

Na distribuição dos materiais empregados nas redes de distribuição da UN Norte, a predominância é do Ferro Fundido (FºFº), atingindo 61,25% do total, seguido pelo PVC com 36,37% do montante de redes de distribuição. Em relação ao Ferro Fundido é importante destacar que 11,78% das redes foram implantadas antes de 1970, quando os tubos de Ferro Fundido não possuíam revestimento interno. Demais materiais, tais como Ferro Galvanizado, DE FºFº, Fibrocimento e Cimento Amianto somam apenas 2,02% das redes de distribuição de água.

**Tabela 2: Extensões de redes por tipo de material**

<b>Material</b>	<b>Km</b>	<b>%</b>
Aço	<b>21,40</b>	<b>0,36</b>
FºFº sem revestimento	<b>694,85</b>	<b>11,78</b>
FºFº com revestimento	<b>2.917,07</b>	<b>49,47</b>
PVC	<b>2.144,51</b>	<b>36,37</b>
Cimento Amianto	<b>88,59</b>	<b>1,50</b>
DE FºFº	<b>19,18</b>	<b>0,33</b>
Fibrocimento	<b>0,54</b>	<b>0,01</b>
Ferro Galvanizado	<b>10,38</b>	<b>0,18</b>

Em relação aos tipos de material por períodos de implantação observa-se a predominância da aplicação do FºFº até o final da década de 1980, já registrando uma forte tendência de utilização de tubos de PVC e a partir de 1991 o PVC passa a ser o principal material utilizado nas redes de distribuição de água, superando em mais de duas vezes a extensão de FºFº implantada no período. Esta preferência pelo PVC dá-se principalmente pelo baixo custo em relação ao FºFº.



**Figura 1: Distribuição das materiais das redes por época de implantação**

Os setores de abastecimento mais antigos da UN Norte são compostos praticamente na sua totalidade por redes de FºFº, com índices entre 95% e 99% de redes neste material, enquanto os setores mais recentes são compostos predominantemente por redes de PVC com índices entre 50 e 80% neste material.

### SETORES DE ABASTECIMENTO CANDIDATOS À REABILITAÇÃO

Conforme as premissas adotadas foram selecionados os setores de abastecimento que possuem redes de distribuição de água com as seguintes características:

- Redes de Ferro Fundidos instaladas antes de 1970
- Redes de Cimento Amianto
- Redes de DE FºFº (redes de PVC com diâmetro externo compatível com FºFº)

As extensões de redes de distribuição candidatas a reabilitação ou renovação é de 753,75 km ou 12,75% do total de redes de distribuição da UN Norte, dos quais 62,10% são de redes em 75mm.

Portanto, em função do montante de redes e do elevado recurso necessário é fundamental o estabelecimento de critérios que possibilitem identificar e priorizar ao longo do horizonte de planejamento as redes de distribuição objeto de intervenção.



**Tabela 3: Distribuição das redes candidatas a reabilitação por setor de abastecimento**

Setor de Abastecimento	f"t"		DE f"t"		Cimento Amianto	
	km	%	km	%	km	%
Casa Verde	36,36	43,85	-	-	-	-
Pq. Anhanguera	-	-	-	-	9,84	5,04
Santana	143,14	43,23	-	-	-	-
Tucuruvi	74,39	23,52	-	-	-	-
Francisco Morato	-	-	1,13	0,55	-	-
Edu Chaves	53,12	18,95	-	-	-	-
Mirante	30,06	36,16	-	-	-	-
Jaguara	20,30	27,03	-	-	-	-
Freguesia do Ó	75,22	31,98	-	-	-	-
Derivação Pq. Cantareira	18,63	15,19	-	-	-	-
Cajamar	-	-	5,27	2,21	17,46	7,31
Mairiporã	-	-	-	-	0,25	0,10
Caieiras	-	-	0,23	0,14	12,98	8,19
Vila Maria	54,04	31,73	-	-	-	-
Franco da Rocha	-	-	2,08	1,73	-	-
Cachoeirinha	89,70	26,07	-	-	-	-
Vila Medeiros	82,82	41,52	-	-	-	-
Pirituba	6,27	2,16	-	-	-	-
Perus	-	-	5,21	2,77	4,48	2,38
Brasilândia	10,78	5,89	-	-	-	-
Total	694,83		19,18		93,45	
<b>Total Geral</b>			<b>753,75 km</b>			

**Tabela 4: Distribuição das redes candidatas a reabilitação por diâmetro****FERRO FUNDIDO SEM REVESTIMENTO**

Diâmetro	Km	%	Diâmetro	Km	%
50	1,65	0,24	400	12,69	1,83
75	431,54	62,10	450	1,61	0,23
100	72,78	10,47	500	4,96	0,71
125	3,46	0,50	550	1,62	0,23
150	56,91	8,19	600	9,98	1,44
200	35,22	5,07	700	0,27	0,04
250	26,26	3,78	800	1,35	0,19
275	0,43	0,06	900	0,10	0,01
300	19,24	2,77	400	12,69	1,83
350	10,19	1,47	450	1,61	0,23
375	4,59	0,66			

**Índice de Perdas**

Na tabela 5 são apresentadas as médias dos anos de 2009 e 2010 dos Índices de Perdas Totais por Setor de Abastecimento em litros/lig\*dia.

**Tabela 5: Média do indicador de perdas por setor de abastecimento**

Setor de Abastecimento	IPDT (litros/lig*dia)		
	dez/09	dez/10	Média 09/10
Casa Verde	699	805	<b>752</b>
Mirante	526	949	<b>738</b>
Tucuruvi	550	505	<b>528</b>
Edu Chaves	493	526	<b>510</b>
Francisco Morato	381	638	<b>510</b>
Freguesia do Ó	479	515	<b>497</b>
Cajamar	496	437	<b>467</b>
Vila Maria	533	374	<b>454</b>
Santana	437	455	<b>446</b>
Mairiporã	418	396	<b>407</b>
Vila Jaguará	443	329	<b>386</b>
Franco da Rocha	365	370	<b>368</b>
Deriv Pq Cantareira	299	431	<b>365</b>
Pirituba	352	368	<b>360</b>
Vila Medeiros	337	332	<b>335</b>
V Brasilândia	227	409	<b>318</b>
Perus	302	329	<b>316</b>
Caieiras	266	321	<b>294</b>
Vila Nova Cachoeirinha	247	262	<b>255</b>

### Índice de Vazamentos

Na tabela 6 são apresentadas as médias dos anos de 2008, 2009 e 2010 do Índice de Vazamentos de rede por Setor de Abastecimento, em número de vazamentos para cada 100 km de rede ao ano. É importante destacar que este indicador é influenciado pela intensidade de campanhas de detecção de vazamentos realizadas, ou seja, setores que são alvos dessas campanhas apresentam maiores índices deste indicador, que são reais, porém outros setores que não recebem a mesma intensidade de pesquisas podem apresentar valores baixos, mas que não refletem a real condição das redes.

**Tabela 6: Média do indicador de vazamentos de rede por setor de abastecimento**

Setor de Abastecimento	Vazamentos/100 Km Rede.ano
	Média 08/09/10
Francisco Morato	137,00
Cajamar	133,30
Vila Jaguara	101,50
Perus	93,80
Socorro	92,30
Franco da Rocha	86,10
Deriv Pq Cantareira	85,20
Santana	84,90
Casa Verde	83,80
Mairiporã	80,30
Vila Nova Cachoeirinha	79,80
Caieiras	75,50
Freguesia do Ó	74,90
Mirante	65,40
Tucuruvi	61,00
Vila Maria	60,30
Vila Medeiros	55,50
V Brasilândia	54,60
Edu Chaves	54,40
Pirituba	53,90

### Qualidade da Água

Na tabela 7 são apresentadas as médias dos anos de 2008, 2009 e 2010 dos Índices de Reclamações de Qualidade da Água dos setores de abastecimento, em número de reclamações para cada 100 km de rede ao ano. Este indicador deve ser ponderado pela extensão total de redes e não a sua utilização como totalização do número de reclamações, pois a dimensão do deve ser levada em conta para determinar a gravidade da situação.

**Tabela 7: Média do indicador de reclamações de qualidade da água por setor de abastecimento**

Setor de Abastecimento	Nº Recl/100kmrede.ano
	Média 08/09/10
Santana	33
Casa Verde	32
Caieiras	31
Deriv Pq Cantareira	27
Edu Chaves	27
Vila Nova Cachoeirinha	26
Vila Jaguara	24
Tucuruvi	23
Mairiporã	22
Freguesia do Ó	21
Pirituba	21
Vila Medeiros	21
Francisco Morato	20
Mirante	18
Vila Maria	17
Franco da Rocha	17
V Brasilândia	15
Cajamar	14
Perus	12

### **Índice de Reclamações de Pouca Pressão de Água Geral**

Na tabela 8 são apresentadas as médias dos anos de 2008, 2009 e 2010 dos Índices de Reclamações de Pouca Pressão da Água dos setores de abastecimento, em número de reclamações para cada 100 km de rede ao ano. Este indicador também deve ser ponderado pela extensão total de redes e não a sua utilização como totalização do número de reclamações, pois a dimensão do deve ser levada em conta para determinar a gravidade da situação.

Tabela 8: Média do indicador de reclamações de pouca pressão da água por setor de abastecimento

Setor de Abastecimento	Nº Recl/100kmrede.ano
	Média 08/09/10
Casa Verde	68
Deriv Parque Cantareira	58
Edu Chaves	56
Vila Nova Cachoeirinha	49
Vila Jaguara	48
Santana	44
Vila Medeiros	44
Vila Maria	38
Mirante	33
Tucuruvi	30
Deriv Tremembé	29
Vila Brasilândia	28
Jaraguá	27
Pirituba	26
Freguesia Do Ó	25
Perus	24
Francisco Morato	19
Mairiporã	18
Cajamar	15
Caieiras	12
Franco da Rocha	12

### Pesos dos Indicadores

A determinação de pesos para cada indicador irá definir quais são as prioridades para o operador e quais objetivos o planejamento pretender atender.

A tabela 9 apresenta os pesos a serem adotados e seus critérios de relevância.

Tabela 9: Pesos e relevâncias

Pesos	Relevância
1	Muito Baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Muito Alta

**Tabela 10: Rancking dos setores candidatos a reabilitação**

Setor de Abastecimento	Perdas			Vazamentos de Rede			Qualidade da Água			Pouca Pressão			Rancking Priorização
	litros/lig*dia	Fator	Peso 5	Vaz/100Km rede.ano	Fator	Peso 3	Recl/100Km rede.ano	Fator	Peso 4	Nº Recl/100km rede.ano	Fator	Peso 3	
Casa Verde	752	20	100	84	12	36	32	19	76	68	20	60	272
Santana	446	11	55	85	13	39	33	20	80	44	15	45	219
Edu Chaves	510	16	80	54	2	6	27	16	64	56	18	54	204
Pq. Cantareira	365	7	35	85	14	42	27	17	68	58	19	57	202
Jaguara	386	9	45	102	18	54	24	13	52	48	16	48	199
Pq. Anhanguera	524	17	85	92	16	48	25	14	56	27	1	3	192
Tucuruvi	528	18	90	61	6	18	23	12	48	30	11	33	189
Francisco Morato	510	15	75	137	20	60	20	7	28	19	6	18	181
Mirante	738	19	95	65	7	21	18	6	24	33	12	36	176
Freguesia do Ó	497	14	70	75	8	24	21	10	40	25	8	24	158
Cachoeirinha	255	1	5	80	10	30	26	15	60	49	17	51	146
Mairiporã	407	10	50	80	11	33	22	11	44	18	5	15	142
Cajamar	467	13	65	133	19	57	14	2	8	15	4	12	142
Vila Maria	454	12	60	60	5	15	17	4	16	38	13	39	130
Caieiras	294	2	10	76	9	27	31	18	72	12	3	9	118
Vila Medeiros	335	5	25	56	4	12	21	9	36	44	14	42	115
Franco da Rocha	368	8	40	86	15	45	17	5	20	12	2	6	111
Pirituba	360	6	30	54	1	3	21	8	32	26	9	27	92
Perus	316	3	15	94	17	51	12	1	4	24	7	21	91
Brasília	318	4	20	55	3	9	15	3	12	28	10	30	71

### Mapas Critérios

A utilização de mapas critérios auxiliam na identificação de redes e grupos de redes com alta incidência de vazamentos, reclamações de baixa pressão e qualidade da água, ou a evidenciar que os problemas estão dispersos pelas redes, sendo necessária a atuação em todas as redes do setor para corrigi-los.



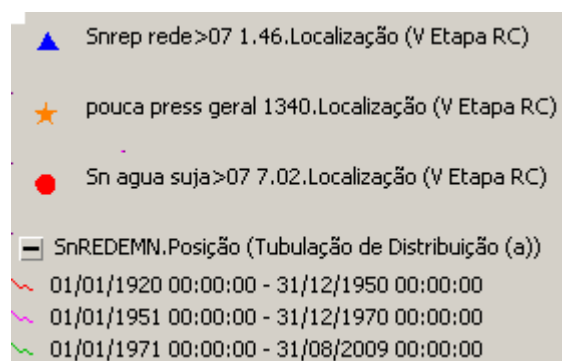
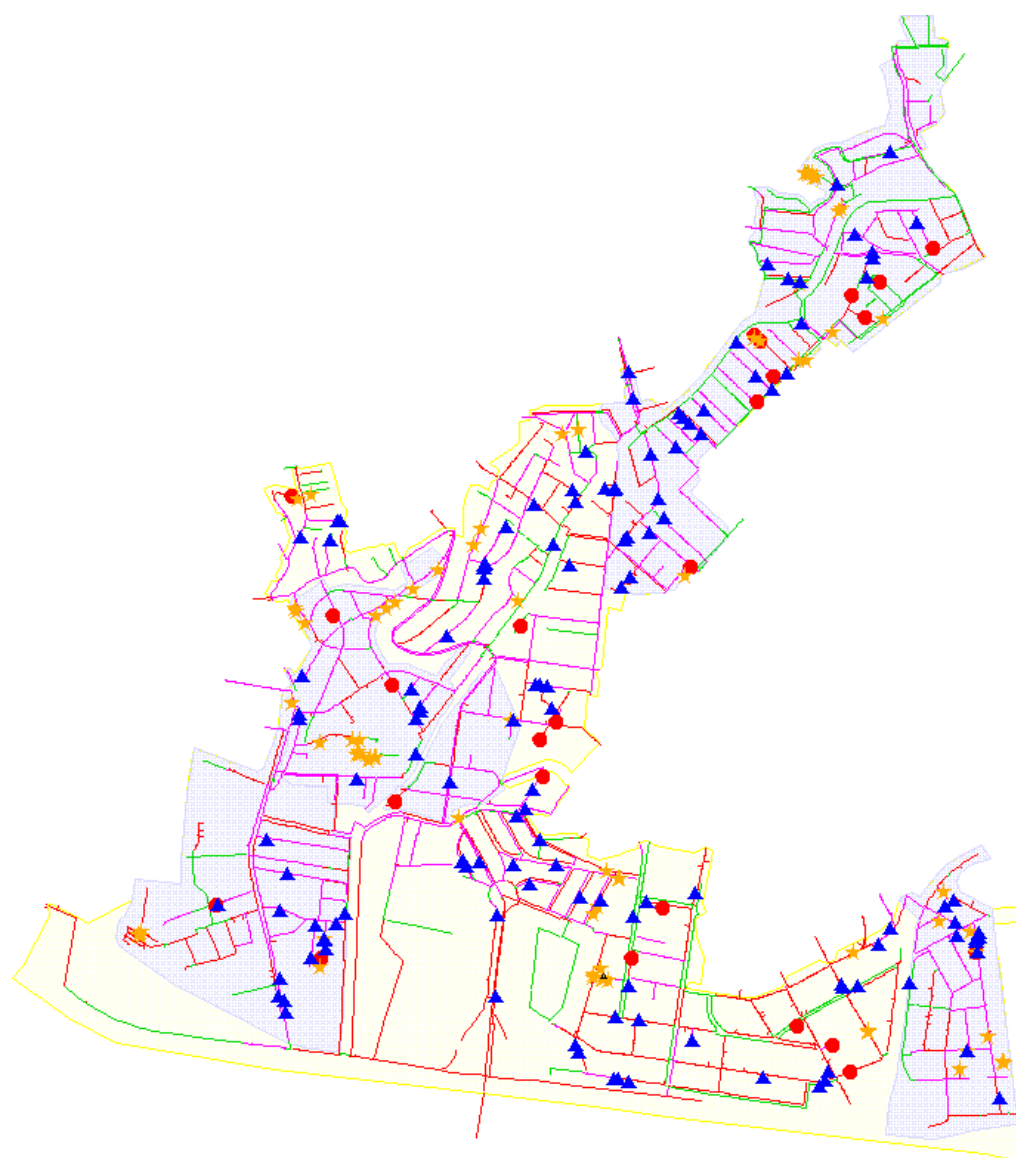


Figura 2: Mapa critério do Setor de Abastecimento Casa Verde

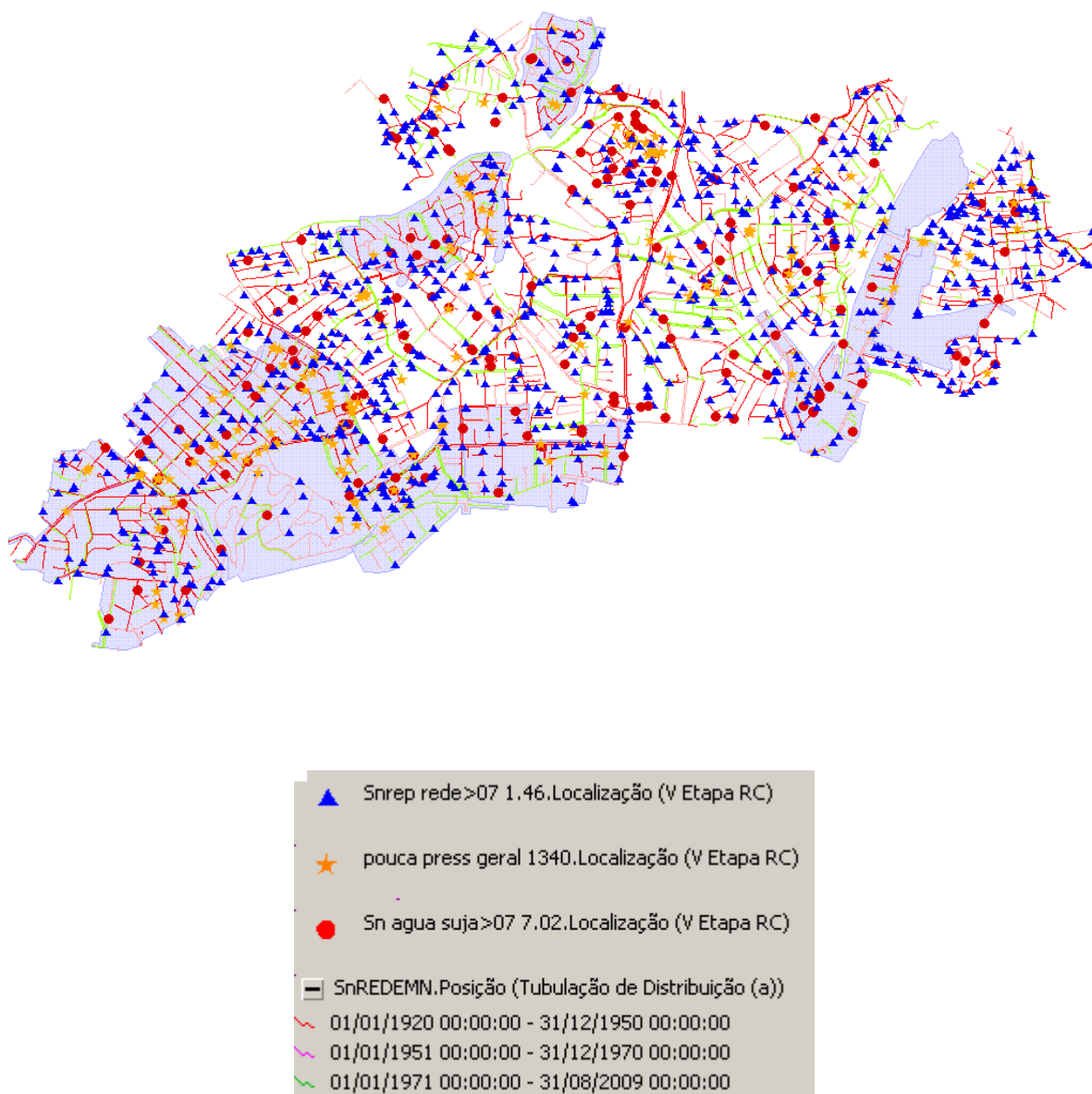


Figura 3: Mapa critério do Setor de Abastecimento Santana

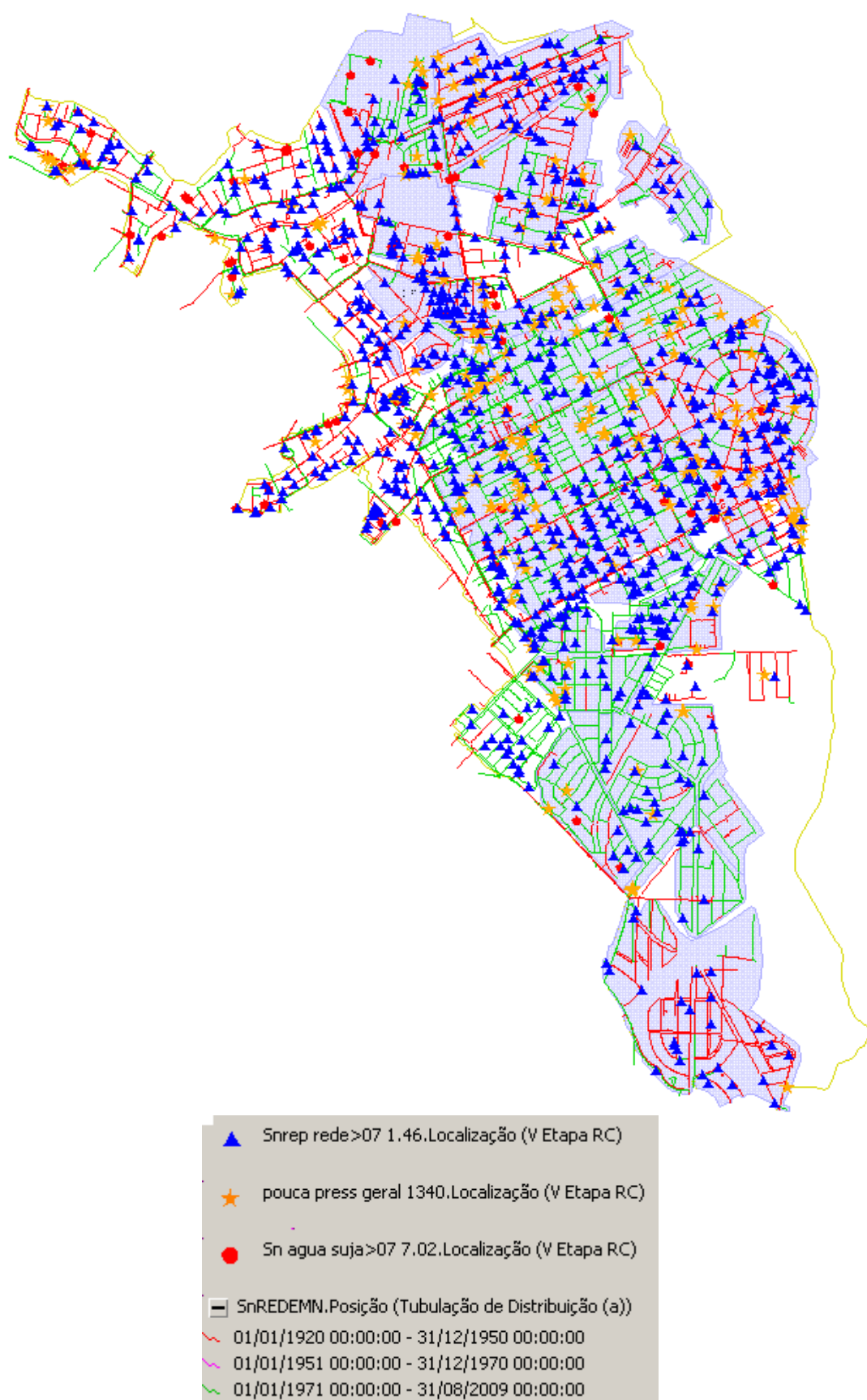


Figura 4: Mapa critério do Setor de Abastecimento Edu Chaves

## Planejamento

O Planejamento de Reabilitação de Redes da Sabesp prevê a aplicação de uma taxa de reabilitação de 1% da extensão total de redes ao ano. No caso da UN Norte isto corresponde a um montante de aproximadamente 60 km.ano de redes a serem reabilitadas, ou seja, será necessário um planejamento com horizonte de 13 anos para reabilitar todas as redes de ferro fundido implantadas antes de 1970, DE FF e Cimento Amianto.

Outra decisão estratégica da UN Norte é concentrar os recursos e esforços nas extensões de redes a serem reabilitadas nos setores prioritários de acordo com a tabela 10, ou seja, será evitada a diluição das extensões anuais de redes reabilitadas entre diferentes setores. Esta ação é baseada nas seguintes premissas:

- Reabilitar parcialmente um sistema interligado pode acarretar no comprometimento do desempenho das redes reabilitadas pelas redes problemáticas remanescentes.
- A medição de resultados pode ser comprometida se as ações estiverem muito difusas, pondo em risco a continuidade do programa, caso este tenha dificuldades em evidenciar o retorno do investimento.
- A divisão da extensão anual entre setores poderá ser feita, desde que as áreas selecionadas estejam setorizadas e sejam passíveis de medições e apuração de indicadores de desempenho.

## Recursos Financeiros

O montante de recursos financeiros necessários para dar suporte ao programa de reabilitação é uma relação direta entre a extensão anual de redes a serem reabilitadas e a técnica empregada.

Para a determinação das técnicas de reabilitação ou substituição a serem empregadas, nesta etapa do planejamento foram consideradas as seguintes premissas.

- Para correção de problemas de qualidade da água e perdas de carga excessivas geradas por tuberculização, neste último desde que o diâmetro original atenda a demanda, os métodos de limpeza e revestimento atendem a necessidade.
- Para correção de problemas de perdas de carga excessivas, onde há também a necessidade de ampliação de diâmetro deve ser prevista a substituição total da rede ou uma composição entre reabilitação mais reforço de rede.
- Para correção de problemas de perdas reais e vazamentos de rede é necessária a substituição completa da rede. Exceção aos casos de redes com diâmetros onde é viável a aplicação de técnicas de revestimento estrutural e que atendam aos requisitos de diâmetro hidráulico mínimo.

Na determinação de pesos aos indicadores de desempenho a UN Norte priorizou o combate às perdas reais como principal fator a ser observado em um programa da reabilitação e renovação de redes de distribuição, por acreditar que somente com o retorno financeiro do investimento será possível dar sustentabilidade ao programa e desta maneira também atender as questões de qualidade e regularidade do abastecimento.

Com esta decisão estratégica prevê-se a aplicação em maior quantidade de técnicas de substituição de redes, na seguinte proporção:

- 70% das redes deverão ser substituídas e 30% reabilitadas, sendo que dentro dos 70% de substituições 50% em método não destrutivo.
- A estimativa de custo por diâmetro será baseada nos percentuais de redes conforme a tabela 4.
- Por ocasião da elaboração dos projetos será feito o detalhamento das técnicas a serem aplicadas em cada trecho de rede.
- Os preços para composição dos custos estão baseados nos preços de referência da Sabesp.

Com essas premissas é possível projetar o investimento anual necessário em R\$ 20,5 milhões no primeiro ano, prevendo-se uma taxa de 5% a.a., para a execução do programa durante 15 anos, totalizando R\$ 443 milhões.

Uma projeção, bem próxima da realidade, estima que a perda financeira anual da UN Norte nos setores priorizados equivale a R\$ 79 milhões com as perdas reais. Ainda não há um histórico preciso da recuperação de perdas reais através de trabalhos de reabilitação e renovação de redes de distribuição de água, porém pelos valores envolvidos o potencial de retorno do investimento é muito grande, sem considerar os outros custos envolvidos, como manutenção, descargas de redes, deslocamentos de equipes, custos de imagem, etc.

## CONCLUSÕES

Apesar de haver consenso referente aos efeitos negativos da deterioração dos sistemas de distribuição de água e da necessidade de sua reabilitação ou renovação, a decisão de quando e como intervir dependerá da análise de desempenho de cada sistema de abastecimento e dos objetivos organizacionais de cada empresa operadora, levando a ações diferentes para cada situação.

De um lado, há o aumento dos custos operacionais e prejuízos a imagem da empresa associados ao aumento dos índices de perda de água, dos problemas de abastecimento e da qualidade da água. Além disso, as manutenções corretivas constantes, na maioria dos casos não corrigem o problema, apenas o mantém sob certo controle.

É consenso que a melhor forma de intervir de maneira efetiva nessas condições é a reabilitação ou a renovação da infra-estrutura, atuando na causa dos problemas e não somente nas conseqüências, aproveitando a oportunidade para modernizar os sistemas de distribuição, que possuem, geralmente, elevadas idades de implantação.

Porém, a renovação ou reabilitação da infra-estrutura, apesar de seus benefícios, possui elevado custo e durante a sua execução pode causar considerável impacto na prestação do serviço e no entorno do local sob intervenção. Outras questões fundamentais para a tomada de decisão são onde, quando e qual o melhor método a ser adotado na intervenção. Intervenção esta que poderá ser executada como ação corretiva de problemas mensuráveis ou como ação preventiva, baseada em modelos de previsão de falhas.

Os dois casos requerem a adoção de um planejamento com critérios claros e objetivos que justifiquem técnica e financeiramente a sua adoção. Estes critérios devem levar em conta os objetivos estratégicos dos operadores dos sistemas, o estágio atual do programa de renovação e reabilitação da infra-estrutura, ou seja, se corretivo ou preventivo, as ferramentas de gestão e os dados cadastrais e históricos que permitam a tomada de decisão.

Não é viável a adoção de modelos de previsão de falhas em sistemas onde o programa de renovação da infra-estrutura está na fase corretiva, nestes casos, é mais viável a seleção das áreas objeto de renovação através da análise de indicadores de desempenho e do histórico de falhas do serviço, estes poderão indicar com maior precisão onde atuar e permitir a mensuração dos custos operacionais e sua comparação com os custos da intervenção.

Considerando-se que a reabilitação ou renovação da infra-estrutura é uma oportunidade ímpar de corrigir diversos problemas estruturais simultaneamente e de modernizar o sistema de distribuição, a escolha do método ou métodos a serem aplicados, assim como a seleção da área, requer a adoção de critérios objetivos que permitam que a escolha contemple todas as necessidades, inclusive de impacto no entorno e maior facilidade na obtenção de licenças e permissões de implantação pelos agentes reguladores das vias públicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, H.; et al.. Methodological approach for the rehabilitation of water distribution systems: Case study application based on the CARE-W system. In: **Water Distribution Systems Analysis Symposium**, Cincinnati, August 2006. p.1, 2.
2. ALVISI, S.; FRANCHINI, M. Rehabilitation, repairing and leakage detection optimization in water distribution systems. **Water Distribution Systems Analysis Symposium**, Cincinnati, August 2006. p.1, 2.
3. ALVISI, STEFANO; FRANCHINI, MARCO. Multiobjective optimization of rehabilitation and leakage detection scheduling in water distribution systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**. November/December 2009. p.426.
4. AZEVEDO NETTO et al.. **Manual de hidráulica**. 8º Ed. São Paulo, Editora Blucher, 1998. p. 148 – 153.
5. BERARDI, L et al.. Optimal pipe replacement accounting for leakage reduction and isolation valves. **Proceedings of the 10<sup>th</sup> Annual Water Distribution System Analysis Conference**, South Africa, August 2008. p. 638.



6. BERARDI, L et al.. An operative approach to water distribution system rehabilitation. **World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers**, Kansas City, May 2009. p. 238.
7. BOULOS, P. F. et al.. Optimal desing and rehabilitation of water distribution systems. **Water Resources**, vol. n. 2000. p. 1.
8. EVINS, C. et al.. Planning the rehabilitation of water distribution system. Marlow, England. **Water Research Center, 1989**. p. 3 – 7, 17, 19, 153, 154.
9. ENGELHARDT, M.O. et al.. Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective. **Urban Water 2, 2000**. p153, 154.
10. GIUSTOLISI, O.; BERARDI, L. Prioritizing pipe replacement: From multiobjective genetic algorithms to operational decision support. **Journal of Water Resources Planning and Management**. November/December 2009. p.484.
11. GRIGG, NEIL S. Condition Assessment of water distribution pipes. **Journal of Infrastructure Systems**. September, 2006. p. 147, 148, 152, 153.
12. HADZILACOS, T. et al.. UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system. **Computers, Environment and Urban System**. Elsevier Science 2000. p 217, 218.
13. KLEINER, Y. et al.. Water distribution network renewal planning. **Journal of Computing in Civil Engineering**. January 2001. p.15.
14. MARINIS, G. de et al.. Risk-cost based decision support system for the rehabilitation of water distribution networks. **Proceedings of the 10<sup>th</sup> Annual Water Distribution System Analysis Conference 2008**. South Africa, August 2008. p. 652.
15. MARTINS,G; SOBRINHO, P.A. Abastecimento de água. In: Tsutiya, M.T. **Abastecimento de água**. 2° Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. p. 4.
16. POULTRON, M. et al.. Evaluating risk of multi-segment pipes for prioritizing pipe rehabilitation. **World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers**, Kansas City, May 2009. p. 20, 21.
17. SELVAKUMAR, ARIAMALAR et al.. Costs for water distribution system rehabilitation. **Journal of Water Resources Planning and Management**. July/August 2002. p.303.
18. TARDELLI J. F. Controle e redução de perdas. In: Tsutiya, M.T. **Abastecimento de água**. 2° Ed. São Paulo: **Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2005. p. 496.
19. THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. Water Loss Control. 2° ed. EUA. **McGraw-Hill**. 2008. P. 345 – 350.