



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA  
E URBANISMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PLANEJAMENTO DE  
REABILITAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Alex Orellana

Campinas  
Novembro / 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

Alex Orellana

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PLANEJAMENTO DE  
REABILITAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Dissertação de Mestrado, apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> José Gilberto Dalfré Filho

Campinas

Novembro / 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Or3c Orellana, Alex  
Contribuição ao estudo do planejamento de  
reabilitação de redes de distribuição de água / Alex  
Orellana. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: José Gilberto Dalfré Filho.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e  
Urbanismo.

1. Água - Distribuição. 2. Abastecimento de água. 3.  
Análise multicritério. I. Dalfré Filho, José Gilberto. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Contribution to the study of planning for rehabilitation of water  
distribution networks

Palavras-chave em Inglês: Water – distribution, Water supply e Multicriteria  
analysis

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Alberto Luiz Francato e Luisa Fernanda Ribeiro Reis

Data da defesa: 24/11/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PLANEJAMENTO DE  
REABILITAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**Alex Orellana**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**



Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho  
**Presidente e Orientador / UNICAMP - FEC**



Prof. Dr. Alberto Luiz Francato  
**UNICAMP – FEC**



Profa. Dra. Luisa Fernanda Ribeiro Reis  
**USP – EESC**

Campinas, 24 de Novembro de 2011

Dedico aos meus pais Francisco (in memoriam)  
e Marlene, e a minha esposa Silvia e filhas  
Carolina e Bárbara.

#### Agradecimentos:

Ao Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> José Gilberto Dalfré Filho, pela orientação e pelo incentivo na elaboração da dissertação.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Antonio Carlos Zuffo, pela orientação quanto aos modelos multicriteriais.

Ao Tecg<sup>o</sup> Mario Alba Braghioli, Gerente do Departamento de Engenharia de Operação Norte da Sabesp, por autorizar e incentivar a realização do curso de Mestrado.

Ao companheiro de ida a Campinas, Tecg<sup>o</sup> Aldo Roberto da Silva Diniz e ao Eng<sup>o</sup> Paulo Rastelli, na colaboração para o levantamento de dados.

A todos os profissionais e acadêmicos pela colaboração no preenchimento do questionário.

## Resumo

Orellana, Alex. **Contribuição ao estudo do planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 2011. 122p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 2011.

Diversos operadores de sistemas de distribuição de água estão confrontando-se com a importante tarefa de reabilitar as redes de abastecimento de água. O envelhecimento das tubulações leva a aumentos na frequência de vazamentos, nos custos de operação e manutenção, nos problemas de regularidade do fornecimento de água, na qualidade da água e no volume de água perdida, acarretando em decréscimo da eficiência do sistema. Contudo, a reabilitação dos sistemas de distribuição de água ainda é uma questão controversa para os gestores dos serviços de saneamento, pois se há consenso sobre os efeitos negativos gerados pela deterioração das redes de distribuição, não há a mesma certeza quanto à decisão de reabilitá-las. Diante deste cenário, desenvolveu-se uma metodologia para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água em larga escala. Trata-se de uma metodologia de planejamento para a identificação e classificação das áreas objeto de reabilitação utilizando-se a análise de dados cadastrais, indicadores de desempenho e histórico de dados operacionais, factíveis a uma empresa de saneamento. Para o desenvolvimento da metodologia foi utilizado o caso real do planejamento de reabilitação de redes da Unidade de Negócio Norte da Sabesp. Como resultados, apresentam-se as áreas elegíveis para reabilitação no sistema de abastecimento em estudo.

**Palavras-chave:** eficiência hidráulica, abastecimento de água, reabilitação-renovação, perdas reais, métodos de reabilitação.

## Abstract

Orellana, Alex. **Contribution to the study of planning for rehabilitation of water distribution networks**. Campinas: School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design - UNICAMP, 2011. 122p. Dissertation (Master's Degree). School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design - UNICAMP, 2011.

Several operators of water distribution systems are confronted with the important task of rehabilitating their supply networks. The aging of the pipes increases in the frequency of leaks, operation and maintenance costs, the problems of regular water supply, water quality and volume of water lost, resulting in a decrease in efficiency. However, rehabilitation of water distribution systems is still a controversial issue for managers of sanitation services, because if there is consensus about the negative effects generated by the deterioration of distribution networks, there isn't the same certainty about the decision to rehabilitate them. In this scenario, was developed a methodology for planning the rehabilitation of water distribution networks on a large scale. It is a planning methodology for the identification and classification of the subject areas of rehabilitation using the analysis of registration data, performance indicators and historical operational data, feasible at a sanitation company. In order to develop the methodology, it was studied the real case of rehabilitation planning from Business Unit North of Sabesp. As a result, shows the areas eligible for rehabilitation in the supply system under study.

**Key words:** hydraulic efficiency, water supply systems, rehabilitation-renovation, real losses, rehabilitation methods.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>página</b>
Figura 3.1	Amostra de tubo de ferro fundido sem revestimento instalado em 1963, no setor de abastecimento Cachoeirinha, retirado para análise de estado em 2009..... 18
Figura 3.2	Detalhe do interior da amostra de tubo de ferro fundido sem revestimento instalado em 1963, no setor de abastecimento Cachoeirinha, retirado para análise de estado em 2009..... 18
Figura 3.3	Detalhe do interior da amostra de tubo de PEAD, retirado para análise de estado após 20 anos de operação..... 21
Figura 3.4	Cabeçote de aspersão de aplicação da resina epóxi..... 47
Figura 3.5	Tubo reabilitado por aplicação de resina epóxi..... 47
Figura 3.6	Inserção de tubulação por tração..... 50
Figura 3.7	Técnica de Inserção de nova tubulação..... 52
Figura 3.8	Redução diametral através da passagem por rolos ou ferramentas..... 54
Figura 3.9	Após a inserção, retorna as suas dimensões originais..... 54
Figura 3.10	Processo de dobragem do tubo na fábrica..... 55
Figura 3.11	O tubo dobrado é inserido na tubulação, recuperando em seguida sua forma original..... 55
Figura 3.12	A substituição por arrebentamento utiliza uma cabeça cortante de para romper a rede existente, instalando simultaneamente uma nova tubulação..... 59
Figura 4.1	Caracterização da Unidade de Negócio Norte..... 72
Figura 4.2	Organograma da Unidade de Negócio Norte..... 73
Figura 4.3	Função de valor do parâmetro NVR..... 89

Figura 4.4	Função de valor do parâmetro IPDT.....	89
Figura 4.5	Função de valor do parâmetro IIP.....	90
Figura 4.6	Função de valor do parâmetro IQA.....	90
Figura 5.1	Distribuição dos materiais das redes por época de implantação.....	99
Figura 5.2	Mapa Critério do Setor de Abastecimento Casa Verde.....	106
Figura 5.3	Mapa Critério do Setor de Abastecimento Santana.....	107
Figura 5.4	Mapa Critério do Setor de Abastecimento Mirante.....	108
Figura 5.5	Mapa Critério do Setor de Abastecimento Vila Jaguará.....	109

## LISTA DE TABELAS

	<b>página</b>
Tabela 3.1	Influência do pH na corrosão das tubulações de ferro fundido..... 15
Tabela 3.2	Variação do coeficiente C ao longo dos anos..... 16
Tabela 3.3	Resultados dos testes após 20 anos de operação..... 21
Tabela 3.4	Resultados dos testes após 10 anos de operação..... 23
Tabela 3.5	Principais tipos de materiais utilizados para abastecimento de água. 25
Tabela 3.6	Principais métodos de limpeza não agressivos..... 42
Tabela 3.7	Principais métodos de limpeza agressivos..... 43
Tabela 3.8	Principais métodos de reabilitação de tubulações..... 61
Tabela 4.1	Média do indicador de vazamentos de rede por setor de abastecimento..... 81
Tabela 4.2	Média do indicador de perdas por setor de abastecimento..... 82
Tabela 4.3	Média do indicador de insuficiência de pressão da água por setor de abastecimento..... 83
Tabela 4.4	Média do indicador de reclamações de qualidade da água por setor de abastecimento..... 84
Tabela 4.5	Pesos e relevâncias..... 86
Tabela 4.6	Pesos dos indicadores..... 86
Tabela 4.7	Classificação do desempenho dos setores de abastecimento de acordo com o IP2R..... 88
Tabela 4.8	Pesos relativos dos critérios..... 92
Tabela 5.1	Extensões de redes por época de implantação..... 97
Tabela 5.2	Extensões de redes por tipo de material..... 98

Tabela 5.3	Distribuição das redes elegíveis à reabilitação por setor de abastecimento.....	101
Tabela 5.4	Distribuição das redes elegíveis à reabilitação por diâmetro e extensão.....	102
Tabela 5.5	Alternativa 1 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação.....	104
Tabela 5.6	Alternativa 2 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação.....	105
Tabela 5.7	Comparação dos resultados entre as Alternativas 1 e 2.....	110

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Carbono
Cesan	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CWWA	Canadian Water and Wastewater Association
CIPP	Cured in Place Pipe
DE f <sup>º</sup> f <sup>º</sup>	Diâmetro Externo Ferro Fundido
DIN	Deutsches Institut für Normung
Fe	Ferro
Fe(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Ferro
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Óxido de Ferro
f <sup>º</sup> f <sup>º</sup>	Ferro Fundido
GIS	Geographic Information System
ISO	International Organization for Standardization
JE	Junta Elástica
JEI	Junta Elástica Integrada
NBR	Normas Brasileiras
PBA	Ponta Bolsa Água
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	potencial hidrogeniônico
PN	Pressão Nominal

PRFV	Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro
PVC	Policloreto de Vinila
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SI	Spatial Intelligence
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGNOS	Sistema de Informações Geográficas no Saneamento
TIO	Tempo de indução à Oxidação

# SUMÁRIO

	<b>página</b>
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	5
3. Revisão Bibliográfica.....	7
3.1 Materiais Constituintes e Critérios de Seleção.....	7
3.2 A Deterioração do Desempenho dos Sistemas de Distribuição de Água.....	10
3.2.1 Tubulações em Materiais Metálicos.....	14
3.2.2 Tubulações em Materiais Plásticos.....	19
3.3 Planejamento de Reabilitação de Redes.....	26
3.4 Métodos de Reabilitação de Tubulações.....	39
3.4.1 Métodos de Revestimento Não Estruturais.....	44
3.4.2 Métodos de Revestimento Estruturais.....	49
3.4.3 Substituição por Arrebetamento pelo Mesmo Caminhamento.....	58
3.5 Modelos de Apoio à Decisão para a Reabilitação de SAA.....	64
3.6 Método Multicriterial de Apoio à Tomada de Decisão Selecionado para este Planejamento.....	67
3.6.1 Método CGT – Teoria dos Jogos Cooperativos (Cooperative Game Teory).....	67
4. Materiais e Métodos.....	69
4.1 Caracterização Geral da Unidade de Negócio Norte.....	71
4.2 Planejamento.....	74
4.2.1 Objetivo.....	74

4.2.2	Premissas.....	75
4.2.3	Indicadores de Desempenho.....	77
4.2.4	Alternativas para a priorização de redes de distribuição de água a reabilitar.	85
4.2.5	Mapas Critérios.....	92
4.2.6	Projetos Executivos.....	93
5.	Resultados e Análise.....	97
5.1	Características das Redes de Distribuição da U.N. Norte.....	97
5.2	Setores de Abastecimento com Redes Elegíveis à Reabilitação.....	100
5.3	Priorização dos Setores de Abastecimento.....	103
5.4	Análise dos Resultados.....	110
6.	Conclusões.....	115
7.	Referências Bibliográficas.....	119
	Anexo A: Questionário.....	125
	Anexo B: Notas atribuídas aos critérios pelos decisores.....	128

# 1. INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água é um conjunto de infraestruturas, 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, reservação e distribuição de água tratada, chegando até o cliente através de um complexo sistema de tubulações de diferentes diâmetros, materiais e idades 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 infraestrutura.

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, à medida que seus componentes atinjam 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 aumenta 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 infraestrutura para atender a crescente demanda por água tratada e iniciar a 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 infraestruturas 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 da infraestrutura 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 infraestrutura 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 suas condições operacionais.

Em função desses fatores é necessário definir estratégias de intervenção através de procedimentos, normas e modelos de apoio à decisão no que se refere a como, quando, onde e o que fazer em cada situação específica.

Muitos sistemas enfrentam o problema do envelhecimento das suas infraestruturas, principalmente de suas tubulações, que são o componente de maior complexidade e influência no resultado final do processo de distribuição de água tratada. Tal fato se traduz na ocorrência de vazamentos e interrupções do abastecimento cada vez mais frequentes, um elevado volume de perdas (físicas) de água, problemas de qualidade da água, pressão de serviço abaixo da mínima recomendada e elevados custos de manutenção corretiva e emergencial. 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 infraestruturas hidráulicas.

Existem inúmeras alternativas e técnicas de reabilitação de tubulações. A seleção da alternativa mais adequada para cada caso deve considerar todas as variáveis envolvidas e o estabelecimento de prioridades de reabilitação. Como condições, podem-se citar os aspectos econômicos, a minimização de impactos, riscos e externalidades à própria entidade gestora do sistema de abastecimento. Por externalidades, entende-se a coordenação com os planos de pavimentação de vias ou intervenções em outras infraestruturas envolvidas, por forma a minimizar custos, interrupções de abastecimento e perturbação a terceiros.

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



## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água em larga escala, selecionando a área objeto de reabilitação através da análise de indicadores de desempenho e do histórico de dados operacionais, factíveis a uma empresa de saneamento. Para o desenvolvimento da metodologia foi utilizado o caso real do planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água da Unidade de Negócio Norte da Sabesp, no âmbito da Região Metropolitana de São Paulo.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica realizada está calcada no estado da arte e análise que envolve as diferentes etapas de conhecimento que são necessárias para a definição da reabilitação das redes de abastecimento. Assim, dividiu-se este capítulo em seis subcapítulos. O primeiro conceitua o histórico dos materiais e dos elementos que hoje constituem as redes de abastecimento. O segundo relata o problema do envelhecimento das tubulações e as suas conseqüências. Na sequência são abordadas as questões consideradas no planejamento de reabilitação da infraestrutura. Então, apresentam-se as técnicas e as tecnologias existentes para a reabilitação do sistema de abastecimento de água. O quinto subcapítulo aborda os modelos de apoio à decisão. Por fim, são apresentadas as conclusões da revisão bibliográfica.

#### **3.1 Materiais constituintes e critérios para seleção**

As redes de distribuição de água são constituídas por tubos e peças, tais como, curvas, tês, reduções, registros, válvulas, hidrantes, entre outros, que precisam ter resistência suficiente para suportar não somente as pressões internas estáticas e dinâmicas, mas também capacidade para suportar os esforços externos atuantes sobre as mesmas, assim como, a variação de pressão que surge de maneira repentina e pode ser gerado pela abertura ou fechamento rápido de uma válvula, hidrante ou partida de uma bomba. Os esforços externos atuantes sobre a tubulação normalmente são o peso de terra sobre o tubo e o carregamento devido ao trânsito de veículos na superfície (Chama Neto - 2005).

Ainda, o autor relata que os critérios para seleção dos materiais empregados nas redes de abastecimento de água são a durabilidade, o material da superfície interna e o material da superfície externa.

A durabilidade está vinculada à capacidade do material em resistir por longo tempo, ou seja, durante sua vida útil, sem sofrer deterioração, pois as substituições de redes frequentemente significam altos custos para as empresas (Chama Neto - 2005).

O material da superfície interna deve ter características que permitam a condução da água de forma satisfatória, e não deve reagir com a água e nem sofrer corrosão. Um dos fatores que geralmente afetam o fluxo da água é o atrito da mesma contra a parede do tubo, que depende da rugosidade do material utilizado no revestimento interno ou do material utilizado na fabricação do tubo. As tubulações novas normalmente têm um coeficiente de rugosidade (coeficiente de Hazen-Williams - C) que varia de 100 a 150 e, para que sejam consideradas duráveis. É importante que as mesmas mantenham este valor durante sua vida útil. Quanto ao material da superfície externa, este precisa ser resistente à corrosão e, caso necessário, um sistema de proteção catódica deve ser implementado (Chama Neto - 2005).

Os principais tipos de tubos e peças utilizados em sistemas de distribuição de água são: tubos de ferro fundido cinzento e dúctil, tubos de PVC (policloreto de vinila), tubos de polietileno (PE) e tubos de fibrocimento. Além desses materiais, podem ser citadas as tubulações de aço com junta elástica, plástico reforçado com fibra de vidro e poliéster reforçado com fibra de vidro (Chama Neto - 2005).

Ainda, segundo Chama Neto (2005), atualmente os materiais mais aplicados nas redes de distribuição no Brasil são o ferro fundido dúctil e o PVC, sendo que, os tubos de PE ainda são aplicados em baixa quantidade. Quanto aos tubos de

fibrocimento e ferro fundido cinzento, existem grandes extensões de redes instaladas no passado, sendo que os tubos de ferro fundido cinzento foram substituídos pelos tubos de ferro fundido dúctil e os tubos de fibrocimento não são mais utilizados.

Em 1995 a IWSA – *International Water Supply Association*, publicou relatório que reporta a experiência em planejamento e projetos de ampliação e reabilitação de sistemas de distribuição de 21 países da Europa, África, Ásia, Oceania e América do Norte, concluindo que mais da metade dos sistemas de distribuição utilizam as tubulações de ferro fundido. Entretanto, em países como República Tcheca, Reino Unido, Alemanha, França, Suíça e Lituânia a utilização desse material é superior a 80%. A grande porcentagem de tubos de ferro fundido dúctil instalado nesses países decorre do fato de terem sido os primeiros e, durante décadas, os únicos disponíveis no mercado (Chama Neto - 2005).

Os tubos de PVC passaram a ter aceitação mais generalizada na Europa após a segunda guerra mundial, no final da década de 40, e os tubos de polietileno, surgidos nos anos 50, encontraram o mercado tomado pelos anteriores, consolidando-se nesse continente apenas a partir da década de 60. Atualmente a utilização de tubos plásticos, PE ou PVC, em redes de distribuição com pequenos diâmetros, tem tido um importante crescimento. Na Finlândia e na Suécia, mais de 80% das tubulações já são de plástico (PVC e PE), em Portugal mais de 40% são de PVC, na Itália e em Taiwan, respectivamente, 33% e 25% das tubulações são em PE. No Brasil, praticamente todas as redes com diâmetros inferiores a 150 mm, implantados nos últimos 20 anos são em PVC. Mais recentemente vem ocorrendo também a utilização de PE, como no caso da cidade de Porto Alegre, que já conta com mais de 500 km de redes implantadas em PE, com diâmetros até 300 mm (Chama Neto - 2005).

Segundo Sarzedas (2009), pode-se dizer que, de um modo geral, as tubulações atualmente instaladas nas redes de distribuição são de 40% a 60% em

ferro fundido cinzento, de 25 a 30% em ferro fundido dúctil, dependendo de cada país as tubulações de cimento amianto e plástico giram entre 10% a 30%. Entretanto, esta distribuição está sendo alterada em função da larga aplicação de material plástico nos últimos anos.

### **3.2 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 de que a qualidade de água está 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), infraestruturas hídricas fornecem um serviço essencial e atemporal para as comunidades. Contudo, estas infraestruturas 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, 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 - 2006).

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. Considerando-se o valor de 50 anos para a vida útil das redes de distribuição, deve existir um programa de renovação da infraestrutura 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).

Segundo Evins *et al.* (1989), problemas hidráulicos são bem compreendidos em comparação com o nosso entendimento da qualidade da água e os problemas estruturais associados ao abastecimento de água. Existem métodos convenientes e confiáveis de acompanhamento das pressões e fluxos na rede. Fórmulas empíricas e programas de computador para análise de rede podem ser usados para quantificar o desempenho hidráulico para um nível de detalhe que seria muito caro por medição direta.

A maioria das redes de distribuição de água é um grande sistema integrado, no qual mudanças hidráulicas podem ter grandes efeitos. Por conseguinte, variações de pressão e de vazão são investigadas com a ajuda de modelos de redes devidamente calibrados. Se os problemas hidráulicos estão confinados a pequenas partes de uma rede, as medições de campo e cálculos manuais podem muitas vezes produzir respostas adequadas (Evins *et al.* – 1989).

Ainda segundo Evins *et al.* (1989), neste contexto de envelhecimento, problemas com os parâmetros de qualidade da água são variáveis dentro de uma rede, de difícil mensuração direta. Assim, as investigações de campo ajudam a estabelecer as causas básicas de problemas e, são cruciais para decidir sobre a melhor tratativa. Atualmente o maior desafio dos operadores dos sistemas de distribuição de água é a redução do índice de perdas de água tratada.

De acordo com 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.

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 perdas reais residem nos menores vazamentos nas linhas de distribuição que ocorrem por longos períodos sem que seja 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 (Thornton *et al.* - 2008).

O envelhecimento das tubulações e suas conseqüências variam fortemente conforme o material empregado nas tubulações. Assim, serão descritas as características das tubulações metálicas e das plásticas, bem como os respectivos processos de deterioração.

### 3.2.1 Tubulações em materiais metálicos

Existem dois tipos de ferro fundido: o cinzento e o dúctil. O termo ferro fundido cobre uma larga variedade de ligas Fe-C-Si e são classificados em famílias segundo a forma da grafita, com diferenciação suplementar devida à estrutura da matriz metálica (ferrita, perlita). Os ferros fundidos cinzentos apresentam a grafita em forma de lamelas, cada uma dessas lamelas de grafita pode, sob uma concentração de esforços anormais em certos pontos, provocar um início de fissura. A centrifugação, desenvolvida a partir de 1920, permitiu obter lamelas muito finas que aumentaram sensivelmente as qualidades mecânicas do ferro. Através de pesquisas realizadas nos Estados Unidos e na Grã-Bretanha, a partir de 1948, obteve-se o ferro fundido dúctil. Neste caso, a grafita deixa de cristalizar-se sob a forma de lamelas e passa a cristalizar-se sob a forma de esferas, eliminando-se as linhas preferenciais de propagação das fissuras. Embora o ferro fundido cinzento seja resistente e tenha uma longa vida útil, apresenta a desvantagem de ser frágil em relação ao ferro dúctil, podendo romper facilmente devido, principalmente, impactos externos ou transientes hidráulicos. O ferro fundido dúctil, através de sua forma esferoidal da grafita veio aprimorar as propriedades mecânicas relativas à resistência à tração, a resistência ao impacto, o limite elástico. Contudo, em função da mudança da composição da liga, o ferro fundido dúctil se tornou mais suscetível à corrosão (Chama Neto - 2005).

Segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), ensaios e verificações feitos em linhas de aço e ferro fundido, executadas com tubos de boa qualidade, sem revestimento interno, mostraram que, para o início de funcionamento, o coeficiente C de Hazen-williams assume valores em torno de 140. Pouco depois, esse valor cai para 130 e com o decorrer do tempo passa a valores cada vez mais baixos. A tendência de o ferro entrar em solução e a presença de oxigênio dissolvido na água, fatores primordiais da corrosão, são responsáveis pela formação de tubérculos na superfície interna dos tubos. Da redução da seção e do aumento da rugosidade (e, logo,

decréscimo do coeficiente  $C$ ) resulta a diminuição da capacidade de transporte da canalização.

Ainda, segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), tal fenômeno de tuberculização é, algumas vezes, erroneamente designado por incrustação. O termo incrustação deve ser reservado ao fenômeno da constituição de camadas ou crostas devidas a certas substâncias presentes em quantidades excessivas na água, que vão se depositando ou aderindo às paredes dos tubos, especialmente os tubos metálicos, diminuindo o diâmetro interno do tubo. O caso típico de incrustação ocorre quando a água transportada pelo tubo apresenta elevados teores de cálcio.

Entre os vários fatores que afetam a corrosão, o  $pH$  tem uma grande influência, conforme constata-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Influência do  $pH$  na corrosão das tubulações de ferro fundido

Perda de capacidade de tubulações de ferro fundido não revestido internamente ao fim de 30 anos ( $C$ inicial: 135 ou 100%)		
$pH$ da água	Valor de $C$	Porcentagem da capacidade inicial
6,0	20	15
6,5	52	40
7,5	85	65
7,0	72	55
8,0	91	70

Fonte: Azevedo Netto (1998)

Costa e Telles (2007) mencionam que a intensidade da reação de corrosão de uma tubulação metálica depende do metal e das condições de temperatura e pressão do sistema, das impurezas presentes na água, das condições de operação, e do valor do  $pH$ , o potencial hidrogeniônico que expressa a concentração de íons de

hidrogênio na solução. Quanto mais baixo o *pH*, ou mais ácida a água, mais intensa será a reação de corrosão.

Segundo Gentil (2007), o óxido ou hidróxido de ferro, insolúvel, pode ficar aderido em forma de tubérculos, apresentando coloração castanho-amarelada ou alaranjada, nas paredes da tubulação.

De acordo com Azevedo Netto *et al.* (1998), o aumento da rugosidade, a redução de diâmetro e as dimensões relativas dos tubérculos maiores para os tubos de menor diâmetro, causam, para estes, um envelhecimento mais rápido.

Tabela 3.2: Variação do coeficiente C ao longo dos anos  
Valores do coeficiente C segundo dados analisados por Hazen-Williams.  
Tubos de ferro fundido sem revestimento interno

Diâmetro (mm)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	750	900	1050	1500
Anos														
	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
<b>0</b>	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
<b>5</b>	117	118	119	120	120	120	120	120	120	120	121	122	122	122
<b>10</b>	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113	113	113
<b>15</b>	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106	106	106
<b>20</b>	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100	100	100
<b>25</b>	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95
<b>30</b>	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90	90	91
<b>35</b>	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86	87	88
<b>40</b>	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
<b>45</b>	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
<b>50</b>	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78

Fonte: Azevedo Netto (1998)

De acordo com Gentil (2007), as incrustações nas tubulações ocasionam inconvenientes como:

- Condições para corrosão por aeração diferencial, ocorrendo corrosão embaixo dos tubérculos com conseqüente formação de resíduo preto de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ou  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .
- Condições anaeróbias, embaixo dos tubérculos, que propiciam o ambiente para o desenvolvimento de bactérias redutoras de sulfato.
- O deslocamento dos tubérculos ao longo da tubulação, por altas velocidades do fluxo e tensões de cisalhamento, causando o fenômeno da água vermelha.
- As conseqüências do grau elevado de incrustação nas tubulações são a alteração da cor e do sabor da água, além das baixas pressões na rede de abastecimento.



Figura 3.1: Amostra de tubo de ferro fundido sem revestimento, instalado em 1963, no setor de abastecimento Cachoeirinha, retirado para análise de estado em 2009.  
Fonte: Sabesp (2009)



Figura 3.2: Detalhe do interior da amostra de tubo de ferro fundido sem revestimento instalado em 1963, no setor de abastecimento Cachoeirinha, retirado para análise de estado em 2009.  
Fonte: Sabesp (2009)

### 3.2.2 Tubulações em materiais plásticos

O tubo plástico foi introduzido nos Estados Unidos por volta de 1920, e desde então, tem sido empregado. A maior aceitação deste material ocorreu a partir de 1960. No Brasil, o início da produção comercial do principal material plástico utilizado em redes de distribuição de água (o PVC - Policloreto de Vinila), ocorreu em 1954. Existem muitos tipos de materiais plásticos, sendo que o PVC e o PE (Polietileno) são os mais utilizados para as redes de distribuição de água. Os materiais plásticos podem ser termoplásticos ou termofixos. Os termoplásticos podem ser amolecidos e moldados mais de uma vez através de aquecimento, os materiais de PVC e PE são classificados como termoplásticos. Os termofixos não podem ser amolecidos e moldados como os termoplásticos após sua conformação. Observa-se que os materiais plásticos reforçados com fibra de vidro estão entre os termofixos. Os materiais plásticos destacam-se pela baixa rugosidade da superfície interna, boa resistência química e resistência a corrosão (Chama Neto - 2005).

Os tubos e conexões de PVC rígidos aplicados para distribuição de água potável em redes enterradas são produzidos de acordo com a NBR 5647 (PBA) e NBR 7665 (DE f°f°). Os tubos e conexões PBA são fabricados na cor marrom, com juntas elásticas (JE), nos diâmetros nominais de 50, 75 e 100mm, de acordo com a NBR 5647, nas classes 12, 15 e 20, para pressões de serviço de 60, 75 e 100 mca, incluindo-se as variações dinâmicas. Os tubos de PVC DE f°f° são fabricados na cor azul, com juntas elásticas (JE) ou juntas elásticas integradas (JEI), nos diâmetros nominais de 100 a 500mm, de acordo com a NBR 7665, para a pressão de serviço de 100mca. Os tubos de PVC DE f°f° possuem a característica de terem o diâmetro externo compatível com o diâmetro externo dos tubos de ferro fundido, sendo, portanto, facilmente conectados às conexões e tubos de ferro fundido. Por outro lado, podem ser utilizados nas redes de PVC PBA, conexões de ferro, produzidas especialmente para aplicação em redes de PVC (Chama Neto - 2005).

Sobre o polietileno de alta densidade (PEAD), foi introduzido comercialmente na década de 50 e, atualmente é o quarto termoplástico mais vendido e a segunda resina mais reciclada no mundo. A resina de PEAD tem alta resistência ao impacto, inclusive em baixas temperaturas, e boa resistência contra agentes químicos. Os tubos de PE estão disponíveis no mundo em diâmetros que variam de 20 até 1.600 mm, entretanto, em redes de distribuição de água, normalmente são aplicados em diâmetros até 315 mm, excetuando-se os diâmetros de 20 e 32mm que são aplicados especificamente em ramais prediais de água. Os compostos de polietileno utilizados para a fabricação dos tubos e conexões de polietileno devem atender a classificação PE 80 e PE 100, e são classificados conforme norma ISO DIS 12162 (Chama Neto - 2005).

Há pouca literatura sobre a deterioração das tubulações de materiais plásticos, provavelmente em função das características desses materiais não apresentarem os mesmos fenômenos de oxidação e tuberculização das redes de ferro fundido sem revestimento. Grilo (2007) cita que de acordo com o levantamento efetuado da prática atual, não se identificou a necessidade de proceder a reabilitação de redes de PVC e PEAD.

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são apresentados os resultados da avaliação realizada em tubos de Polietileno aplicados na cidade de Porto Alegre após 10 e 20 anos de operação, de acordo com Flores (2010).



Figura 3.3: Detalhe do interior da amostra de tubo de PEAD, retirado para análise de estado após 20 anos de operação.

Fonte: Flores (2010)

Tabela 3.3: Resultados dos testes após 20 anos de operação

Propriedades	Requisitos NBR	Resultados após 20 anos	Unidade	Norma
MI 190°C/5kg	< 1,3	0,63	g/10min	ASTM D 1238
Tempo de indução à oxidação	> 20	16,6	Min	ASTM D 3895
Teor de Carbono	2 para 3	2	%	ASTM E 1131
Teste de Pressão Hidrostática	> 1000	> 1000 (*)	h	NBR 14683

(\*) Teste interrompido sem apresentar falhas

Fonte: Flores (2010)

#### Identificação da amostra:

- Instalação: 1988
- Amostras: coletadas em 04/04/2008
- Endereço: Rua das Laranjeiras 246, Porto Alegre
- Identificação do Tubo: DIN 8075, PE 5-A == 50 x 5.1 - PN = 60
- Norma de Fabricação: DIN 8075
- Material: não identificado (PE63)
- Avaliação de acordo com a NBR (Norma Brasileira, semelhante ao padrão ISO 4427).

O tubo de PE instalado há 20 anos, embora fabricado na época em conformidade com a norma DIN padrão, não preenche todos os requisitos da norma NBR (e padrão ISO) atual. No entanto, essas características não eram exigidas pela norma DIN, na época da instalação. Durante estes 20 anos, houve muitos avanços nas aplicações de polietileno para tubos. Foram desenvolvidos os tubos de PE 80 e PE100 e atualmente os tubos de PE63 não são mais utilizados para a distribuição de água. Os desenvolvimentos das normas e das resinas tornaram-se mais restritivas e desafiadoras. Além disso, o tubo instalado há 20 anos ainda está sob pressão, em operação contínua durante todo o tempo, sem qualquer incidente ou problema (Flores - 2010).

O tubo PE instalado há 10 anos cumpriu todos os requisitos da norma NBR (ISO e padrão) dos dias de hoje. Além disso, em comparação com propriedades típicas da resina, os tubos em operação contínua durante os últimos 10 anos não apresentaram perdas de propriedades mecânicas. Resultados satisfatórios foram

observados em testes de pressão hidrostática, de acordo com a norma ISO. Não foram observadas falhas nos tubos durante os testes de pressão hidrostática. Todos eles foram interrompidos sem qualquer falha. Os resultados do TIO (tempo de indução à oxidação) reforçam a expectativa de longevidade. Baseado nestes resultados, pode-se estimar uma expectativa de vida útil de pelo menos 50 anos a partir de agora, como previsto na análise de regressão da resina GM5010T2 (Flores - 2010).

Tabela 3.4: Resultados dos testes após 10 anos de operação

Propriedades	Requisitos NBR	GM 5010T2 Típico	Resultados após 10 anos	Unidade	Norma
MI 190°C/5kg	< 1,3	0,35 – 0,55	0,41	g/10min	ASTM D1238
Tempo de indução à oxidação	> 20	> 60	(ext) 102 (med) 101 (int) 75	Minutos	ASTM D3895
Teor de Carbono	2 para 3	2 – 3	3	%	ASTM E1131
Densidade	> 0,938	0,955	0,956	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1505
Alongamento na ruptura	> 350	800	785	%	ASTM D638
Resistência à tração	> 15	23	23,1	MPa	ASTM D638
Teste de Pressão Hidrostática	> 1000 > 165 > 100	> 1000 > 165 > 100	1212(*) 3235(*) 439(*)	Horas	NBR 14683

(\*) Teste interrompido sem apresentar falhas  
Fonte: Flores (2010)

Identificação da amostra:

- Instalação: 1998
- Amostras: coletadas em 04/04/2008
- Endereço: Estrada Retiro da Ponta Grossa, Porto Alegre
- Identificação do Tubo: Brastubo PE80 GM5010T2 SANEAMENTO ISO CD4427 d63mm x 4,7 milímetros PN10 SDR 13,6
- Standard Pipe: ISO 4427 CD
- Material: GM5010T2 (preto Braskem PE 80)
- Avaliação de acordo com a NBR (Norma Brasileira, semelhante a ISO 4427).

A Tabela 3.5 apresenta de forma resumida os principais tipos de materiais de tubulações utilizadas para o abastecimento de água e suas principais vantagens e desvantagens.

Tabela 3.5: Principais tipos de materiais utilizados para abastecimento de água.

Tubulação	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Ferro Fundido Cinzento	Adutoras Redes de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta resistência à ação de carga externa</li> <li>✓ Resistência a corrosão                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Suporta altas temperaturas</li> </ul> </li> <li>✓ Fácil instalação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixa resistência ao choque devido a cristalização do carbono</li> <li>✓ Resistência ao escoamento aumenta com o tempo</li> <li>✓ Material rígido</li> </ul>
Aço Carbono	Adutoras Travessias Barriletes Sifões	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Suporta pressões de serviço elevadas até 600 mca</li> <li>✓ Alta resistência diametral</li> <li>✓ Grande variedade de acessórios de ligação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistência ao escoamento aumenta com o tempo</li> <li>✓ Baixa resistência à corrosão</li> <li>✓ Alto Custo</li> </ul>
Ferro Fundido Dúctil	Adutoras Redes de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta resistência à pressão interna – 3 vezes maior que o ferro fundido cinzento, podendo chegar a 640 mca em função do diâmetro</li> <li>✓ Alta resistência diametral                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Boa resistência a corrosão</li> </ul> </li> <li>✓ Grande gama de diâmetros (80 a 2000 mm)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Suporta altas temperaturas</li> </ul> </li> <li>✓ Fácil instalação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistência ao escoamento aumenta com o tempo</li> <li>✓ Material rígido</li> <li>✓ Alto custo</li> </ul>
Policloreto de Vinilo (PVC)	Redes de distribuição de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixo custo                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flexível</li> <li>✓ Leve</li> </ul> </li> <li>✓ Fácil instalação</li> <li>✓ Resistência ao escoamento não aumenta com o tempo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pressões de serviço até 160 mca</li> <li>✓ Suporta temperaturas até 83°C</li> <li>✓ Baixa resistência diametral</li> <li>✓ Cuidados especiais na instalação, necessita de recobrimento com materiais finos</li> </ul>

Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	Aduadoras Redes de distribuição Ramais domiciliares	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Boa resistência a pressão interna e externa, suporta até 200 mca</li> <li>✓ Grande gama de diâmetros (25 a 1200 mm) <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flexível</li> <li>✓ Fácil instalação</li> <li>✓ Resistência ao escoamento não aumenta com o tempo</li> </ul> </li> <li>✓ Médio custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não resiste a altas temperaturas</li> <li>✓ Instalação requer equipamento específico e mão de obra especializada</li> <li>✓ Baixa resistência diametral</li> </ul>
Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)	Aduadoras Redes de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grande gama de diâmetros (200 a 2400 mm) <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Leve</li> </ul> </li> <li>✓ Baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pressões de serviço até 160 mca</li> <li>✓ Baixa resistência diametral <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Suporta temperaturas até 90°C</li> </ul> </li> </ul>
Fibrocimento	Aduadoras Redes de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Relativa resistência à carga externa</li> <li>✓ Fácil instalação</li> <li>✓ Baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixa resistência estrutural</li> <li>✓ Constituído por fibras cancerígenas (amianto)</li> </ul>

Fonte: Venturini (2003) e Dias (2004).

### 3.3 Planejamento de reabilitação de redes

Muitos sistemas de abastecimento existentes atingiram sua vida útil e os investimentos de capital necessários para reabilitá-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 e 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 da infraestrutura (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 abastecimento. Este custo é avaliado em função do nível de inadequação do sistema hidráulico e do custo unitário da água.

De acordo com Selvakumar *et al.* (2002), um estudo realizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos constatou que 138 bilhões de dólares seriam necessários para manter e substituir os sistemas de água potável existentes

ao longo dos próximos 20 anos. Estima-se que 77 bilhões de dólares serão dedicados à reparação e reabilitação de tubulações.

Segundo Grigg (2006), em média a substituição de tubulações nos Estados Unidos ocorre a cada 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 representa 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) como em nível micro (tubos individuais). Esta distinção afeta a escolha final dos candidatos à reabilitação. Trabalhando no nível macro permite-se uma estratégia global a 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 os macro e micro projetos de reabilitação e definir as abordagens que serão adotadas 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 para prolongar a vida útil da tubulação existente. O custo da reabilitação é 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 *by-pass*, além das conexões para os serviços existentes e outros itens, tais como controle de tráfego e remoção de obstáculos.

De acordo com Evins *et al.* (1989), as falhas estruturais, levando a interrupções não programadas do fornecimento de água, são uma razão menos frequente para a reabilitação das redes do que os problemas de qualidade da água ou os problemas hidráulicos. No entanto, seus efeitos sobre o serviço podem justificar a reabilitação em alguns casos, e seu impacto sobre os custos do serviço podem influenciar a escolha da técnica de reabilitação. O procedimento de identificação das redes que causam interrupções frequentes no fornecimento aos clientes é amplamente baseado no registro de falhas das redes. Certas redes principais desempenham um papel fundamental no sistema, e sua falha tem consequências graves, estes são chamados de pontos "sensíveis" da rede. O risco de sua falha deve ser avaliado.

Ainda, segundo Evins *et al.* (1989), as redes de distribuição de água são sistemas complexos, e as melhores soluções para os problemas nem sempre são evidentes. Os maiores benefícios financeiros das investigações e do planejamento apropriados são as soluções econômicas para os problemas estabelecidos. Desta forma os recursos são menos propensos a serem gastos em obras que não resolvam os problemas a que são dirigidos. A premissa mais adequada para desenvolver um programa de reabilitação é comparar as medições do desempenho real da rede de distribuição com critérios definidos e as normas vigentes. Estes critérios e normas de serviço geralmente são de interesse do cliente. O objetivo de uma empresa de abastecimento 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.

De acordo com Venturini (2003), dentre os objetivos a serem alcançados pelas empresas de saneamento destacam-se a redução de perdas físicas (reais), a redução do custo de bombeamento, a redução do número de rompimento das tubulações e a redução do número de reclamações referentes à regularidade e à qualidade do fornecimento.

A seguir é apresentado um roteiro de planejamento de reabilitação de redes de distribuição recomendado em Evins *et al.* (1989).

A investigação e o planejamento do trabalho de reabilitação são apresentados em dois níveis distintos embora interdependentes. As investigações por zona e planejamento são atividades locais destinadas a identificar os problemas dentro de cada zona e selecionar a solução de melhor custo-benefício para eles. As suas funções principais são:

- Identificar a extensão e a gravidade dos problemas existentes com o serviço inadequado aos clientes no que diz respeito à qualidade da água, pressão e interrupções de fornecimento;
- Investigar as causas do serviço inadequado aos clientes e analisar possíveis soluções;
- Analisar o potencial de problemas futuros do serviço (em particular, a crescente demanda de água);
- Examinar as possibilidades de melhorias na eficiência (na prática, esta é mais provável onde se aplicam as reduções de custos de bombeamento);
- Identificar pontos sensíveis (aqueles para os quais as consequências de falhas seriam graves) e avaliar o seu risco de ocorrência;
- Integrar os resultados dos exames listados acima com os outros e com outras atividades, para selecionar as soluções mais eficazes e econômicas para os problemas da zona;
- Elaborar e implementar um plano de reabilitação por zona, coerente com o plano estratégico de reabilitação;
- Realizar pós-avaliação do projeto.

Já, o planejamento estratégico é uma atividade central concebida para produzir um plano de reabilitação em longo prazo para a empresa. As suas funções principais são:

- A criação de um quadro comum de critérios e procedimentos destinados a promover a tomada de decisão eficaz e equitativa em toda área da empresa.
- Subdividir a área da empresa em zonas que formam as unidades básicas de normas de investigação aprofundada.
- Avaliar amplamente a dimensão dos problemas em cada zona e assim classificar as zonas em ordem de prioridade para a investigação aprofundada.
- Elaborar um plano de reabilitação estratégico, tendo em conta os resultados de investigações detalhados por zona, definindo objetivos específicos e direcionando recursos para onde eles são mais necessários.
- Estimar as necessidades de despesas para o planeamento financeiro de longo prazo.

As atividades nos dois níveis são interdependentes. As Investigações de problemas devem ocorrer no âmbito das orientações e alocação conjunta de recursos. Da mesma forma, o planeamento estratégico se baseia em informações sobre as redes de distribuição e seu desempenho gerado a nível local. O processo é cíclico. As zonas são investigadas com maior detalhe, com informações adicionais na forma de acompanhamento de rotinas e resultados dos trabalhos de reabilitação. Sendo necessário alterar o plano estratégico, ele deve ser revisto em uma base regular. Isto terá consequências para os planos por zonas, como prioridades de mudança entre os projetos identificados.

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. No entanto, o plano estratégico inicial terá de ser revisto anualmente como procedimento de rotina, considerando investigações detalhadas por zona e trabalhos de reabilitação que se tornem disponíveis. É importante que a pós-avaliação do projeto seja realizada em programas de reabilitação, e o aprendizado de tudo isto seja retro alimentado para o processo de planejamento estratégico. O plano estratégico deve ser visto como um documento vivo e será alterado de forma cíclica conforme a informação adicional se torna disponível.

Um passo fundamental neste processo é o estabelecimento de regras e critérios para a tomada de decisão. Toda a abordagem é orientada para o cumprimento de normas definidas de serviço aos clientes, e os padrões e critérios estabelecidos pela empresa devem ser compatíveis com as exigências legais.

Ainda, o planejamento dos trabalhos de reabilitação das redes de distribuição de água começa no nível estratégico com a definição de um quadro que orienta as investigações por zona e a tomada de decisão. Este processo abrange as etapas I, II e III, descritas na sequência.

Na etapa I, os critérios e procedimentos comuns são desenvolvidos para a utilização em toda área da empresa. Estas são projetadas para promover a tomada de decisão eficiente e equitativa, e permitir que sejam feitas comparações entre as diferentes partes da área da empresa. Os critérios mais importantes são aqueles que definem a adequação dos serviços ao cliente. Eles formam a base sobre a qual o trabalho é justificado e as prioridades são atribuídas.

Na etapa II, a área da empresa é dividida em zonas para fornecer unidades convenientes para a investigação detalhada e o planejamento. Fatores que possam

ter uma influência importante sobre a natureza dos problemas e das suas investigações são utilizados na delimitação das zonas para ajudar a fazer investigações eficientes.

Na etapa III, as zonas são classificadas por ordem aproximada da gravidade dos problemas de eficiência hidráulica, estruturais e de qualidade da água utilizando a informação existente. A prioridade é dada à investigação detalhada das zonas com a pior combinação de problemas.

Quando estas três etapas forem realizadas em nível estratégico, investigações detalhadas em zonas selecionadas são efetuadas em nível local. Os resultados destas investigações por zona são relatados para o nível estratégico como sinopses por zona, juntamente com um resumo de todos os regimes que sejam justificadas com base nos critérios estabelecidos na etapa I. Sinopses de informações sobre outras zonas, onde investigações locais detalhadas não foram realizadas também devem ser preparadas.

Na etapa IV (nível estratégico), os resultados das etapas anteriores, juntamente com as informações de cada zona são apresentados em conjunto e um plano de reabilitação estratégico é elaborado. Este plano contém a lista de objetivos específicos para a melhoria do desempenho, um programa geral de trabalho para cada zona e uma estimativa dos recursos que, provavelmente, serão necessários.

Posteriormente, os planos de reabilitação por zona são elaborados de acordo com o plano estratégico de reabilitação e, em seguida, implementados. O trabalho de implementação inclui a elaboração de contratos, a organização do trabalho e de materiais, supervisionando o trabalho e o processo de acompanhamento. A eficácia do trabalho é, então, medida na pós-avaliação do projeto (Evins *et al.* - 1989).

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.

Segundo Cheung e Reis (2006), a complexidade do problema de reabilitação de sistemas de distribuição de água é justificada, pois envolve critérios técnicos, econômicos e institucionais. Os aspectos técnicos estão associados aos indicadores que avaliam o desempenho do sistema em relação ao número de interrupções no

sistema, atual e futura, as deficiências de pressão ocasionadas pela deterioração dos sistemas e a dificuldade em atender a Portaria 518 do Ministério da Saúde no que se refere à manutenção de residual de cloro em todos os pontos do sistema. Os aspectos econômicos estão relacionados ao aumento dos custos de manutenção e operação decorrentes dos processos de deterioração do sistema. Na prática, a reabilitação ocorrerá se os indicadores de desempenho técnico apresentarem-se abaixo dos padrões normais, se os custos e os benefícios estiverem desbalanceados, e se houver exigência institucional (planos diretores, plano de recursos hídricos) quanto à implementação dos planos de melhoria e conservação.

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 infraestrutura como uma das questões-chave.

A manutenção da tubulação pode ser planejada de várias formas e pode ser realizada em frequências de tempo variáveis, dependendo da natureza do problema, da atitude do operador, e da gravidade da situação. No entanto, alguns dos programas de manutenção mais frequentes para compensar as perdas são os de controle da corrosão, de revestimento e de substituição da tubulação (Thornton *et al.* – 2008).

Ainda segundo Thornton *et al.* (2008), de uma perspectiva de redução da perda de água a decisão de 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.

De acordo com a metodologia da *International Water Association* – IWA, o cálculo do Indicador de Perdas de Água é dado pela equação (3.1) (Sabesp – 2005).

$$IPDT = \frac{\left( \frac{(VD - VU)}{\text{número médio de ligações}} \right)}{1000} = \frac{\text{litro}}{\text{lig}} * \text{dia}$$

Equação (3.1)

onde:

VD – volume disponibilizado ou volume macromedido, em m<sup>3</sup>.

VU – volume utilizado ou volume micromedido, somado aos volumes dos usos operacionais, emergenciais e sociais, em m<sup>3</sup>.

O custo de não reabilitar a tubulação pode ser avaliado usando os seguintes componentes; a frequência de ruptura média histórica, os custos do volume de água perdido 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 reabilitação das tubulações em questão e a expectativa de vida da intervenção proposta (Thornton *et al.* – 2008).

A quantidade de vazamentos pode ser mensurada através do Número de Vazamentos em Redes de Distribuição, de acordo com a metodologia da *International Water Association* – IWA, através da equação (3.2). O valor considerado aceitável para este índice é 13 vaz.rede/100km.ano (Sabesp – 2008).

$$NVR = \frac{\text{número de vazamentos em redes}}{\left(\frac{\text{extensão de redes}}{100}\right)} = \frac{\text{vazamentos rede}}{100\text{km}} \quad \text{equação (3.2)}$$

De acordo com Grigg (2006), é compreensível que, do ponto de vista prático e por boas razões, o uso da avaliação de 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 seu potencial é pouco explorado 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 reabilitação do segmento de tubulação. O limite dos avanços na avaliação de estado não é tecnológico, e sim econômico. A falta de motivação para investir na avaliação de estado se deve 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.

Venturini (2003) destaca após visitas a empresas de saneamento, a falta e/ou precariedade de banco de dados cadastrais e técnicos, o baixo nível de capacitação dos operadores e a inexistência de recursos financeiros em quantidade suficiente, como dificultadores para a reabilitação dos sistemas.

Conclui-se, da revisão bibliográfica feita sobre o assunto, que o estado da arte na prática do planejamento de curto e longo prazo de reabilitação de tubulações de água ainda está evoluindo. São envolvidos no processo diversos fatores econômicos, operacionais, de atendimento de normas, da boa prestação do serviço e do impacto gerado no entorno.

Apesar de haver consenso referente aos efeitos negativos da deterioração dos sistemas de distribuição de água e da necessidade de sua reabilitação, 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 diferentes ações para cada situação.

### **3.4 Métodos de reabilitação de tubulações**

Atualmente, existe uma série de técnicas para a reabilitação da infraestrutura das redes de distribuição de água, cada qual possuindo características principais, vantagens e limitações.

Na sequência, os métodos são identificados e apontadas suas aplicações, de acordo com Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002).

- **Métodos de limpeza não-agressivos** – descarga (*flushing*), espuma de limpeza (*foam swabbing*) e limpeza com ar (*air scouring*). Estes são destinados principalmente a problemas de qualidade da água. Todos se destinam a remover os depósitos soltos que são a causa de problemas de coloração, podendo também ser usado no controle de problemas de gosto e odor. Além disso, a limpeza pode ser utilizada para melhorar os fluxos de limos onde estão causando atrito e perdas de carga. Alguma deterioração é possível após o uso desses métodos.

- **Métodos de limpeza agressivos** - jatos de água de alta pressão (*high pressure water jetting*), raspagem de pressão (*pressure scraping*), *pigging* abrasivo (*abrasive pigging*). Estes se destinam a remover incrustações duras dentro de rede de água, e assim melhorar a sua capacidade hidráulica de transporte. No entanto, podem resultar em efeitos secundários graves na qualidade da água.

- **Métodos de revestimento não-estruturais** – revestimento de argamassa de cimento (*cement mortar lining*), revestimento de resina epóxi (*epoxy resin lining*). Estes métodos envolvem a remoção de todos os depósitos e incrustações dentro da tubulação de água, seguido pela aplicação de um revestimento para prevenir nova corrosão interna. Eles são usados para melhorar a qualidade da água, onde a coloração é causada pela corrosão de canalizações de ferro, e para melhorar a capacidade de carga hidráulica da tubulação, onde há elevado nível de incrustações.

- **Métodos de revestimentos Estruturais** - revestimento por inserção de novo tubo – (*sliplining methods*), revestimento por inserção apertada de tubulação deformada (*Close-Fit lining*) e revestimento por inserção com cura *in loco* (*CIPP – cured in place pipe*). Estes métodos envolvem a inserção de revestimentos estruturais em contato com a superfície interna de um tubo, para controle de vazamentos em tubulações previamente limpas. Dependendo do tipo de revestimento utilizado pode-se fornecer uma tubulação independente, flexível dentro

da tubulação a ser reabilitada, ou podem simplesmente evitar perdas. Todos os sistemas irão impedir a coloração causada pela corrosão de tubulações de ferro, mas muitos irão diminuir a capacidade hidráulica por causa da espessura do revestimento estrutural, em comparação com o diâmetro original do tubo. A capacidade de carga hidráulica será obviamente melhorada quando comparada com tubulação incrustada.

- **Substituição por arrebentamento *in loco* pelo mesmo caminhamento (*pipe bursting*).** Este método envolve a ruptura ou quebra da tubulação existente, empurrando os fragmentos para o solo circundante, puxando uma nova tubulação de distribuição no mesmo caminhamento da tubulação existente. Como um novo tubo foi instalado o método pode ser usado para melhorar a qualidade da água e para substituir estruturalmente a tubulação. Além disso, com este método podem ser instalados tubos maiores do que a tubulação existente, o que aumenta a capacidade hidráulica do sistema.

- **Nova tubulação (*new pipe*).** Novos tubos podem ser usados para superar os problemas de qualidade da água, capacidade hidráulica e estrutural. Isso envolve a instalação de uma nova tubulação em uma nova posição, usando métodos de instalação adequados. Os materiais utilizados principalmente são; cloreto polivinílico (PVC), ferro fundido dúctil ( $f^{ef9}$ ) e polietileno de alta densidade (PEAD). Diversas técnicas de novas instalações, incluindo abertura de valas estreitas e perfuração direcional horizontal (HDD), têm sido desenvolvidas para explorar as características do tubo de polietileno; seu objetivo é reduzir custos e interrupções.

- **Dosagem química (*chemical dosing*).** Esses métodos são dirigidos aos problemas de qualidade da água. As substâncias são adicionadas ao fluxo de água que se destinam a reduzir a taxa de corrosão das tubulações de ferro, ou para manter o produto da corrosão em solução e, portanto, invisível.

A Tabela 3.6 apresenta de forma resumida os principais métodos de limpeza não agressivos de tubulações utilizadas para o abastecimento de água e suas principais vantagens e desvantagens, de acordo com Evins *et al.* (1989).

Tabela 3.6: Principais métodos de limpeza não agressivos

<b>Métodos de Limpeza Não Agressivos</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Descarga ( <i>Flushing</i> )	Tubulações com Ø <150mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grandes áreas podem ser limpas em uma única operação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ineficazes a menos que possam ser obtidos elevados fluxo e velocidade da água.</li> <li>✓ Ineficazes em redes muito tuberculadas.</li> <li>✓ Deve ser feito sistematicamente para evitar problemas de qualidade da água em outras partes da rede</li> </ul>
<i>Espuma de Limpeza</i> ( <i>Foam Swabbing</i> )	Tubulações de Ø 50mm a Ø 3000mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Técnica de simples aplicação</li> <li>✓ Mínimo transtorno ao abastecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ineficazes em redes muito tuberculadas.</li> <li>✓ Nas tubulações de ferro, pode causar uma degradação temporária da qualidade da água em termos de coloração em função de tubérculos danificados</li> </ul>
Limpeza com Ar ( <i>Air Scouring</i> )	Tubulações de Ø 75mm a Ø 200mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Podem ser limpos até 8 quilômetros por dia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Difícil aplicação com sucesso em declive.</li> <li>✓ Pode causar uma deterioração temporária na coloração e concentração de ferro</li> </ul>

Fonte: Evins *et al.* (1989).

A Tabela 3.7 apresenta de forma resumida os principais métodos de limpeza agressivos de tubulações utilizadas para o abastecimento de água e suas principais vantagens e desvantagens, de acordo com Evins *et al.* (1989).

Tabela 3.7: Principais métodos de limpeza agressivos

<b>Métodos de Limpeza Agressivos</b>			
<b>Técnica</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Jato d'água de alta pressão ( <i>High Pressure Water Jetting</i> )	Tubulações de Ø 75mm a Ø 200mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ajuste da pressão para remoção de incrustações macias e duras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pode causar severos problemas de qualidade da água devido ao desprendimento de ferro dos tubérculos expostos.</li> <li>✓ Recomendada a execução de novo revestimento subsequente</li> </ul>
Raspagem sob Pressão ( <i>Pressure Scraping</i> )	Tubulações de Ø > 450mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Possibilidade de limpar vários quilômetros em uma única operação</li> <li>✓ Amplamente utilizada para a limpeza de redes de grande diâmetro, antes do revestimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pode provocar graves problemas de qualidade da água por causa do desprendimento de ferro dos tubérculos.</li> <li>✓ É necessária a pressão mínima de água de aproximadamente 20mca para mover o raspador (dependendo do diâmetro)</li> </ul>
<i>Pigging</i> Abrasivo	Tubulações de Ø 75mm a Ø 3000mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Distâncias consideráveis (até 2km) podem ser limpas em uma operação</li> <li>✓ A operação de raspagem é realizada várias vezes em uma base progressiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pode provocar graves problemas de qualidade da água por causa do desprendimento de ferro dos tubérculos.</li> <li>✓ É recomendado novo revestimento subsequente.</li> </ul>

Fonte: Evins *et al.* (1989).

### 3.4.1 Métodos de revestimento não estruturais

#### Revestimento com argamassa de cimento

O revestimento com argamassa de cimento ou *Cement Mortar Lining* (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* 2002) consiste no revestimento do interior da tubulação com uma argamassa de cimento. A camada de argamassa de cimento em contato com material da tubulação forma um conjunto de elevada resistência e durabilidade. Aplica-se a tubulações metálicas (de aço ou de ferro fundido). A ação protetora baseia-se, essencialmente, em dois agentes: passivo e ativo. O passivo é efetuado através do isolamento mecânico da parede metálica da tubulação. O ativo realiza-se através da conversão química da camada de cimento com o óxido de ferro na zona da fronteira entre a argamassa de cimento e a parede de ferro da tubulação, devido à interação da água que se difunde para o interior da argamassa. A argamassa utilizada é composta, em partes iguais, por cimento *Portland* e por areia de quartzo. Pode ser uma solução viável para tubulações com diâmetros entre 80 e 2000 mm. No caso de tubulações de menor diâmetro, são abertos poços de acesso com cerca de 2,00 x 1,50 m, em intervalos 150 m, retirando-se um trecho de tubulação com cerca de 1,00 m. Para tubulações com diâmetros superiores a 600 mm, o intervalo entre poços será da ordem dos 400m.

Um dos procedimentos mais importantes na reabilitação de tubulações é o polimento, que neste método é acompanhado do revestimento com a argamassa de cimento. Após o seccionamento da tubulação, procede-se a raspagem das incrustações e outros resíduos de corrosão com raspadores de aço e limpeza simultânea com escovas de borracha.

Seguidamente, coloca-se a argamassa através do dispositivo de aplicação. Após 10 à 16h, completa-se a pega da argamassa, e a tubulação é limpa com água sob pressão. Cerca de 24h depois, a tubulação pode ser utilizada novamente.

### Vantagens

A técnica de revestimento com argamassa tem várias vantagens:

- os impactos na superfície são reduzidos.
- os impactos no tráfego também são mínimos (exceto na abertura de poços de acesso a rede).
- o seu período de intervenção é reduzido.
- os seus custos também são reduzidos comparativamente com outros tipos de soluções.

### Desvantagens

Os seus principais inconvenientes comparativamente com outras técnicas são os seguintes:

- é uma técnica dispendiosa e morosa em trechos longos de tubulações.
- após o alisamento da parede interior da tubulação, pode haver necessidade de alteração da técnica, uma vez que esta técnica não confere uma maior durabilidade estrutural a tubulação.
- é considerada uma solução provisória dadas as características do material de revestimento utilizado (cimento).

- não permite um aumento significativo de capacidade hidráulica do sistema.
- ramais prediais e bifurcações com diâmetros inferiores a 50 mm devem ser desimpedidos após a aplicação do revestimento.

### **Revestimento por aspersão (*epoxy resin lining*)**

Segundo Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002), o revestimento com resinas, *epoxy resin* ou *Spray Lining* consiste em revestir interiormente a tubulação deteriorada com resinas líquidas aplicadas através de um spray que, posteriormente, solidifica.

O processo do revestimento de resina epóxi é uma técnica de revestimento não estrutural, cujo principal objetivo é melhorar as características hidráulicas das redes e ao mesmo tempo prevenir a acumulação de tubérculos nas paredes das tubulações, portanto não corrigindo nenhuma deterioração da tubulação. Entretanto, uma vez aplicado esse revestimento, não haverá contato entre a água potável e a tubulação antiga, sendo que dessa maneira reduzirá futura deterioração no interior das tubulações.



Figura 3.4: Cabeçote de aspersão de aplicação da resina epóxi  
Fonte: Subterra ( 2003)



Figura 3.5: Tubo rehabilitado por aplicação de resina epóxi  
Fonte: Ramos (2010)

## Vantagens

- é mais rápida do que o revestimento com argamassa de cimento.
- as resinas tem uma maior durabilidade e a superfície adquirida com este método é substancialmente mais lisa.
- Consegu-se ainda um maior controle da espessura da camada de resina do que pelo método revestimento com argamassa
- não obstrui os ramais prediais.
- Ideal para resolver problemas de corrosão interna

## Desvantagens

- Não é aconselhável para trechos longos (maiores que 500m)
- Não resolve problemas de vazamentos
- Não permite o aumento da capacidade hidráulica

### 3.4.2 Métodos de revestimento estruturais

#### Revestimento por inserção de novo tubo (*Sliplining*)

O processo de inserção de novo tubo ou re-entubamento simples, também designado por *sliplining* (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), consiste na colocação de um tubo com menor diâmetro no interior da tubulação existente. É utilizado sempre que se pode diminuir o diâmetro da tubulação inicial. É um processo onde domina a utilização de materiais como o PVC e o PEAD.

A disponibilidade de tubos de polímeros, particularmente de tubos de polietileno unidos por fusão aumentou a popularidade dessa técnica. Tubos poliméricos de seção curta podem ser inseridos nas redes através de solda por fusão ou com uniões mecânicas sem luva. São também usados extensivamente com técnicas de substituição in loco, tais como ruptura de tubulações.

Embora na teoria, qualquer material possa ser usado para a rede nova, na prática, o polietileno de alta densidade (PEAD) é a escolha mais comum. Trata-se não apenas de um material já bem conhecido nos setores de água potável e gás, como também resistente à abrasão e suficientemente flexível para passar por curvas apertadas durante a instalação. Pode ser emendado de topo por solda de fusão em comprimentos bastante longos, antes de ser puxado para dentro da rede existente.

Depois de efetuadas a limpeza e a raspagem do interior da tubulação procede-se a inserção do novo tubo. Este processo inicia-se com a ligação de um cabo ao tubo que se pretende introduzir na tubulação existente. Este cabo será, posteriormente tensionado por um macaco hidráulico, arrastando o tubo dentro da tubulação antiga, até que o trecho que se pretende reabilitar esteja totalmente abrangido pelo novo tubo. Após a introdução do novo tubo, poderá ser necessária

injeção no espaço anular para que a estrutura da rede existente ofereça alguma resistência e aumente a rigidez desse espaço. Na prática, essa injeção costuma ser a parte mais difícil da obra. A perda de área na seção transversal também pode ser significativa, particularmente se o diâmetro da rede introduzida estiver sendo governado pelos diâmetros dos tubos extrudados disponíveis no mercado, ou quando o diâmetro tiver de sofrer uma redução considerável para passar em deformações ou emendas deslocadas da rede existente. Como resultado dessas limitações, a substituição pura e simples tornou-se menos comum que o uso de tubos de diâmetro ligeiramente inferior, mas poderá ser a melhor escolha em alguns casos.

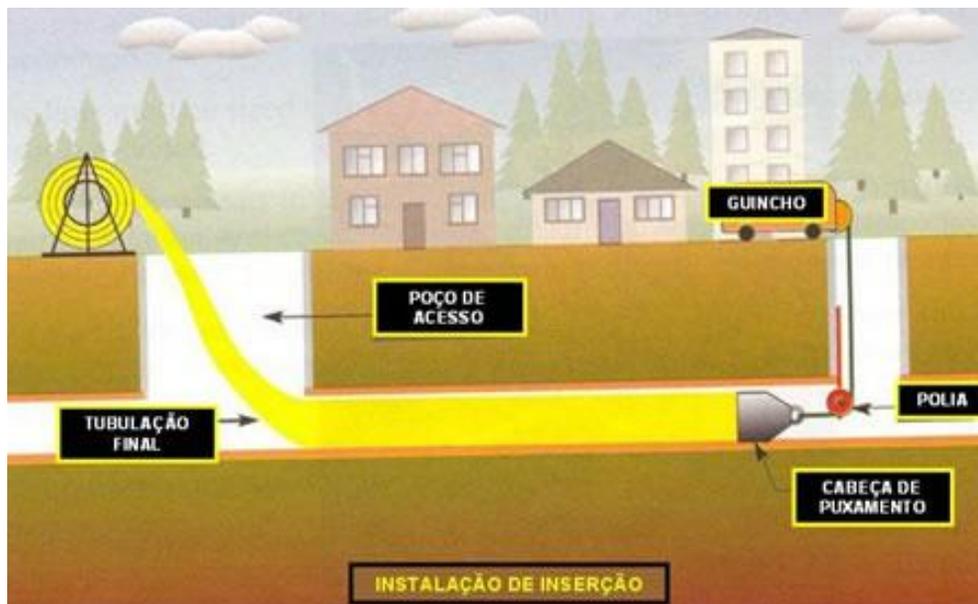


Figura 3.6: Inserção de tubulação por tração  
Fonte: Subterra (2003)

## Vantagens

- simplicidade de aplicação
- possibilidade de progressão em trechos longos
- pouca interferência de obras (ou outras atividades) circundantes
- facilidade de superação de curvas
- grande gama de abrangência de diâmetros (de 20 a 1600mm)
- rápida instalação
- a tubulação antiga serve de proteção ao novo tubo
- resolve os problemas de pequenos vazamentos existentes

## Desvantagens

- Perda de capacidade hidráulica
- Aplicação limitada onde a redução do diâmetro não implicará em problemas de abastecimento
- seu uso não é aconselhado sempre que se verifiquem grandes sobrecargas diametraís na tubulação

- sua aplicação não é recomendada em sistemas submetidos a grandes pressões



Figura 3.7: Técnica de Inserção de nova tubulação  
Fonte:Subterra ( 2003)

**Revestimento por inserção apertada de tubulação deformada (*Close-fit Lining*).**

O uso de revestimentos por inserção de tubulação deliberadamente deformada antes da inserção (Evins *et. al* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), com posterior recomposição de sua forma original após a colocação, de modo a ficarem bastante justos dentro da tubulação existente corresponde a inserção apertada de tubulação deformada (“close-fit lining” ou “modified sliplining”).

A inserção apertada utiliza, frequentemente, a memória construtiva de alguns polímeros usados na construção de tubos: são usadas duas alternativas principais, cujo objetivo é produzir um revestimento ajustado que maximize o diâmetro final e evitar a necessidade de injeção no espaço anular.

Uma das alternativas procura reduzir temporariamente o diâmetro do tubo de revestimento através da compressão por rolo, algumas vezes referida como “reduzida”, de modo que possa ser introduzido na rede existente e pressurizado posteriormente para recuperar suas dimensões normais. Devido às limitações da redução dimensional que pode ser conseguida, essa técnica é mais adequada para redes pressurizadas.

A segunda alternativa envolve a dobragem do tubo de revestimento numa forma de “U” ou “C” antes da inserção e o uso posterior de calor ou pressão para restaurar a forma circular. Essa técnica é freqüentemente descrita como “dobra e reconformação”. O diâmetro e a espessura da parede do tubo de revestimento são as principais limitações desse processo, mas existem variantes para polietileno e PVC.

Esta técnica foi concebida para solucionar problemas de tubulações com deficiências estruturais e/ou não estruturais, mas especificamente para tubos com diâmetros entre 100 e 500 mm.

Além desses dois tipos principais, existem técnicas que envolvem dobragem em outras configurações e uso de materiais termoplásticos capazes de se expandir até um ajuste apertado, sem deformação posterior.



Figura 3.8: Redução diametral através da passagem por rolos ou ferramentas  
Fonte:Subterra ( 2003)

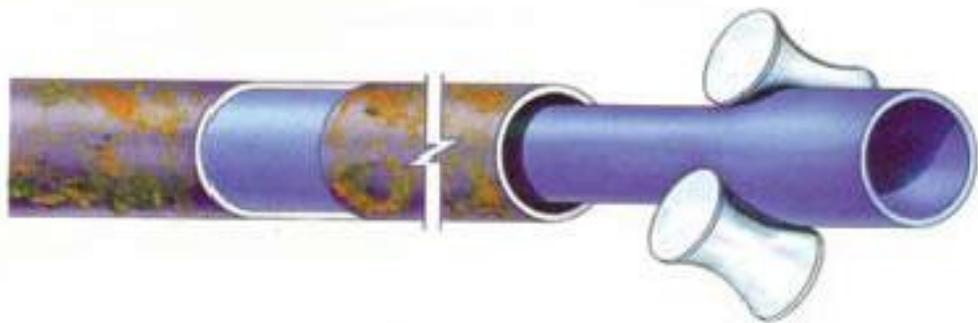


Figura 3.9: Após a inserção, retorna as suas dimensões originais  
Fonte:Subterra ( 2003)



Figura 3.10: Processo de dobragem do tubo na fábrica  
Fonte: Subterra ( 2003)



Figura 3.11: O tubo dobrado é inserido na tubulação, recuperando em seguida sua forma original.  
Fonte:Subterra ( 2003)

Vantagens:

- rápida execução
- aplicar-se a extensões de tubulações superiores a 1500m por cada inserção
- versatilidade de procedimentos de inserção que toleram a realização de outros trabalhos entre diferentes trechos

Desvantagens:

- apresenta um elevado custo
- não é recomendado para tubulações que não necessitem de recuperação estrutural

### **Revestimento por inserção com cura in loco (*CIPP – Cured in Place Pipe*)**

A principal alternativa para a inserção com tubos e suas variações é o revestimento por inserção com cura in loco, às vezes chamado de “revestimento in situ”, “revestimento macio” ou “tubo curado in loco (CIPP)”, (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002), que dominou por mais de 20 anos o mercado de recuperação de tubulações de esgoto sem possibilidade de acesso de pessoal em muitos países. Para maior facilidade, este documento se referirá a todas as técnicas de revestimento por inserção com cura in loco como “sistemas CIPP”, embora se deva observar que nem todos os fornecedores utilizam esse termo.

Embora existam no mercado diversos sistemas concorrentes, a característica comum a todos é a utilização de um tubo de tecido impregnado com resina epóxi ou de poliéster. O tubo é introduzido na rede existente, inflado contra a parede dessa rede e curado na temperatura ambiente ou, mais comumente, exceto nos tubos de menor diâmetro, com recirculação de vapor ou água quente. Algumas variantes utilizam luz ultravioleta para cura da resina.

Os sistemas CIPP criam um ajuste apertado de “um tubo dentro de outro”, que possui resistência estrutural calculável e pode ser projetado para atender a várias condições de carga. A rigidez anular do revestimento é aumentada devido à resistência oposta pela rede existente e solo adjacente, mas os sistemas projetados para redes por gravidade não se baseiam numa relação entre a tubulação final de revestimento e o tubo existente. Sistemas que utilizam a tubulação existente como meio para assegurar algum suporte estrutural são conhecidas algumas vezes como técnicas de “revestimento interativo”.

Além de minimizar a redução de diâmetro, uma vantagem inerente aos revestimentos por inserção com cura in loco (CIPP) é sua capacidade de se conformar a praticamente qualquer forma da tubulação, o que torna seu uso possível para recuperação de redes não circulares. Desde que o perímetro seja medido corretamente e que não ocorra uma contração significativa durante a cura, o resultado será um revestimento com ajuste apertado. Sua maior limitação é a espessura da parede e, conseqüentemente, a quantidade, peso e custo do material necessário para grandes diâmetros ou condições severas de carga, particularmente em tubulações não circulares.

As ligações de ramais poderão ser reabertas remotamente após o revestimento, mas é preciso tomar cuidado durante a instalação para assegurar que o excesso de resina não entre nos ramais. Os sistemas CIPP são também usados

para a recuperação de ramais laterais a partir do interior da rede de distribuição principal.

A principal desvantagem dos sistemas de revestimento com CIPP é a necessidade de retirar de serviço a rede existente durante a instalação e cura. Em redes por gravidade, onde as vazões são muito baixas, poderá ser possível fechar a entrada de alguns ramais e confiar na armazenagem dentro do próprio sistema. Nos demais casos, serão necessários, geralmente, bombeamento adicional ou desvio de fluxo.

Alguns sistemas de CIPP podem ser usados em tubulações de grande diâmetro (com acesso para pessoal).

### **3.4.3 Substituição por arrebentamento pelo mesmo caminhamento (Pipe bursting)**

O processo de substituição por destruição da tubulação existente, *pipebursting* (Evins *et al.* – 1989 e Selvakumar *et al.* - 2002) consiste na introdução de uma nova tubulação, do mesmo ou maior diâmetro no interior da tubulação existente, e na destruição do tubo existente através de um cone hidráulico-pneumático transportando no dorso da nova conduta, avançando a medida que destrói a tubulação antiga. Uma rede que possua capacidade inadequada ou cuja situação estrutural não permita recuperação pode, muitas vezes, ser trocada sem escavações, usando-se um sistema de substituição por arrebentamento *in situ* ou direta.

O sistema de substituição direta mais usada é o de arrebentamento da rede, no qual uma ferramenta de percussão (normalmente um martelo de percussão

modificado) ou um expansor hidráulico arrebenta a rede existente enquanto uma nova tubulação final é puxada ou empurrada em substituição, atrás da ferramenta.

A tubulação existente é assim destruída e os seus fragmentos são expandidos lateralmente para o solo circundante. A tubulação nova é diretamente puxada pela unidade de avanço. Estas intervenções podem ser realizadas a partir de poços de acesso especificamente abertos para esse efeito. As ligações dos ramais a nova tubulação são efetuadas posteriormente através de valas de acesso.

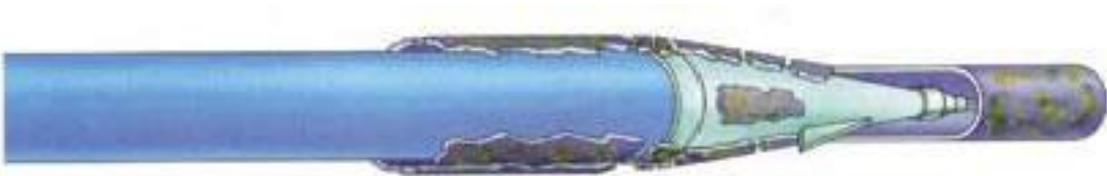


Figura 3.12: A substituição por arrebetamento utiliza uma cabeça cortante de para romper a rede existente, instalando simultaneamente uma nova tubulação

Fonte: Subterra ( 2003)

### Vantagens

- consegue-se efetuar progressos de instalação relativamente rápidos ao longo de grandes extensões
- processo ideal para situações em que se necessita de um aumento do diâmetro da tubulação, ou de substituição por um material que tenha maior resistência a compressão diametral.

- processo que se torna economicamente mais viável, quanto mais profunda estiver implantada a tubulação, quando não é possível abrir valas ou quando os solos são instáveis requerendo escoramento

#### Desvantagens

- provoca algumas vibrações e ruídos, o que em locais urbanos pode não ser o mais aconselhável
- pode provocar perturbações no terreno ou em tubulações adjacentes
- obriga a abertura de poços de ataque de alguma extensão, fato que pode não ser exequível em zonas urbanas

A Tabela 3.8 apresenta de forma resumida os principais métodos de reabilitação e renovação de tubulações utilizadas para o abastecimento de água e suas principais vantagens e desvantagens, de acordo com Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002).

Tabela 3.8: Principais métodos de reabilitação de tubulações

Métodos de Revestimento Não Estruturais			
Técnica	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Revestimento com argamassa de cimento ( <i>Cement Mortar Lining</i> )	Tubulações entre Ø 80 e 2000mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ impactos na superfície e no tráfego são mínimos (exceto na abertura de poços de acesso a rede)</li> <li>✓ período de intervenção é reduzido</li> <li>✓ custos reduzidos comparativamente com outros tipos de soluções</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ é uma técnica dispendiosa e morosa em trechos longos de tubulações</li> <li>✓ após o alisamento da parede interior da tubulação, pode haver necessidade de alteração da técnica, uma vez que esta técnica não confere uma maior durabilidade estrutural a tubulação</li> <li>✓ é considerada uma solução provisória dadas as características do material de revestimento utilizado (cimento)</li> <li>✓ não permite um aumento significativo de capacidade hidráulica do sistema.</li> <li>✓ ramais prediais e bifurcações com diâmetros inferiores a 50 mm devem ser desimpedidos após a aplicação do revestimento</li> </ul>

Revestimento por aspersão  ( <i>epoxy resin lining</i> )	Tubulações entre Ø 80mm e 300mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ é mais rápida do que o revestimento com argamassa de cimento.</li> <li>✓ as resinas tem uma maior durabilidade e a superfície adquirida com este método é substancialmente mais lisa.</li> <li>✓ Consegue-se ainda um maior controle da espessura da camada de resina do que pelo método revestimento com argamassa</li> <li>✓ não obstrui os ramais prediais.</li> <li>✓ Ideal para resolver problemas de corrosão interna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não é aconselhável para trechos longos (maiores que 500m)</li> <li>✓ Não resolve problemas de vazamentos</li> <li>✓ Não permite o aumento da capacidade hidráulica</li> </ul>
--	---------------------------------	---	--

### Métodos de Revestimento Estruturais

Técnica	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Revestimento por inserção de novo tubo  ( <i>Sliplining</i> )	Tubulações entre Ø 80mm e 2500mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ simplicidade de aplicação</li> <li>✓ possibilidade de progressão em trechos longos</li> <li>✓ pouca interferência de obras (ou outras atividades) circundantes</li> <li>✓ facilidade de superação de curvas <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ grande gama de abrangência de diâmetros (de 20 a 1600mm)</li> <li>✓ rápida instalação</li> </ul> </li> <li>✓ a tubulação antiga serve de proteção ao novo tubo</li> <li>✓ resolve os problemas de pequenos vazamentos existentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Perda de capacidade hidráulica</li> <li>✓ Aplicação limitada onde a redução do diâmetro não implicará em problemas de abastecimento</li> <li>✓ seu uso não é aconselhado sempre que se verifiquem grandes sobrecargas diamétrais na tubulação</li> </ul>

Revestimento por inserção apertada de tubulação deformada ( <i>Close-fit Lining</i> )	Tubulações entre Ø 100mm e 500mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ rápida execução</li> <li>✓ aplicar-se a extensões de tubulações superiores a 1500m por cada inserção</li> <li>✓ versatilidade de procedimentos de inserção que toleram a realização de outros trabalhos entre diferentes trechos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ apresenta um elevado custo</li> <li>✓ não é recomendado para tubulações que não necessitem de recuperação estrutural</li> </ul>
<b>Métodos de Substituição Sem Valas</b>			
Substituição de tubulações por arrebetamento <i>in loco</i> pelo mesmo caminhamento ( <i>Pipe bursting</i> )	Tubulações entre Ø 80 e 900mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ conseguem-se efetuar progressos de instalação relativamente rápidos ao longo de grandes extensões</li> <li>✓ processo ideal para situações em que se necessita de um aumento do diâmetro da tubulação, ou</li> <li>✓ de substituição por um material que tenha maior resistência a compressão diametral.</li> <li>✓ processo que se torna economicamente mais viável, quanto mais profunda estiver implantada a tubulação, quando não é possível abrir valas ou quando os solos são instáveis requerendo escoramento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ provoca algumas vibrações e ruídos, o que em locais urbanos pode não ser o mais aconselhável.</li> <li>✓ pode provocar perturbações no terreno ou em tubulações adjacentes</li> <li>✓ obriga a abertura de poços de ataque de alguma extensão, fato que pode não ser exequível em zonas urbanas.</li> </ul>

Fonte: Evins *et al.* (1989) e Selvakumar *et al.* (2002).

### **3.5 Modelos de apoio à decisão para a reabilitação de SAA**

Os operadores dos sistemas de abastecimento podem ter dois tipos de atitude mediante o envelhecimento dos seus sistemas e perante a reabilitação: atitude reativa ou atitude preventiva. Na atitude reativa, as tubulações a serem reabilitadas são selecionadas de acordo com critérios de emergência, tubulações que apresentam falhas ou tenham sido reparadas muitas vezes, e de previsão de intervenções na via pública, de acordo com a necessidade de intervenção em outras infraestruturas. Muito raramente, as características da tubulação ou outros aspectos ambientais são tidos em conta. Este tipo de atitude leva a reduzidas (ou nulas) taxas de reabilitação e as condições de funcionamento da rede irão, muito provavelmente, dar origem a custos financeiros elevados envolvendo grandes investimentos nos anos que se seguem. Com uma atitude preventiva, os operadores dos sistemas de distribuição planejam os investimentos a curto, médio e longo prazo depois de analisarem as condições estruturais das tubulações e prever a sua degradação. Esta atitude requer um bom conhecimento das características das tubulações, que deveriam estar disponíveis em bases de dados informatizadas, tais como em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Engelhardt *et al.* - 2000; Giustolisi *et al.* – 2009; Hadzilacos *et al.* – 2000; Grigg - 2006).

Apenas recentemente e, principalmente, na Europa e na América do Norte, os operadores dos sistemas de distribuição começaram a dar importância ao desenvolvimento e implementação de estratégias de reabilitação preventivas, de maneira a evitar problemas financeiros futuros. Atualmente, a tendência é o desenvolvimento de planos de investimento de curto e longo prazo. Contudo, a adoção de estratégias preventivas não é uma tarefa linear, e também requer suportes de modelos de decisão baseados em aplicações informatizadas.

Vários modelos conceituais e operacionais foram desenvolvidos em universidades e centros de investigação, que podem ser classificados em dois tipos

(Engelhardt *et al.* - 2000). O primeiro tipo de modelos de reabilitação são modelos de avaliação da condição estrutural de tubulações baseados em análises estatísticas e de previsão. Estes modelos tentam correlacionar o histórico de reparos de vazamentos e rompimentos com características da rede, tipo e idade da tubulação, características químicas da água transportada, tipo de solo e condições de operação. Estes, utilizam bases de dados com informações sobre a manutenção, e podem ser descritos como procedimentos de duas fases: análise de fatores de primeira ordem (material, diâmetro, solo, tráfego e localização), e avaliação/previsão do estado da tubulação através de modelos estatísticos (Poisson ou Weibull).

Alguns exemplos destes modelos são:

- AssetMaP (Lyon, França) (Malandain *et al.* - 1998)
- Failnet (Cemagref, França) (Eisenbeis *et al.* - 1999)
- GIS and cluster method (Water Research Centre, RU)
- Utilnets (Alemanha) - determina a expectativa de vida através de modelos determinísticos
- SDSS - liga SIG e Matlab para avaliar vulnerabilidade (Makropoulos e Butler - 2006)

O segundo tipo de modelos são os modelos para avaliação e exploração de estratégias de reabilitação baseados em princípios técnicos e econômicos. Estes requerem uma descrição detalhada da rede e da integração de dados econômicos.

Alguns exemplos destes modelos são:

- EPAREL – modelo de confiabilidade para associar ao EPANET (Rostum e Schilling - 1999)
- KANEW (Universidade de Dresden, Alemanha) (Herz - 1998; 2002)
- GAasset – ferramenta de otimização para determinar as intervenções de engenharia e o seu melhor momento baseado no custo total (Exeter, RU) (Miller *et al.* - 2001)
- WARP – planificador de renovação de tubulações de água metálicas com base na corrosão (Kleiner *et al.* - 2001; Rajani e Kleiner - 2001; Rajani e Kleiner - 2002)
- CARE-W – modelo protótipo desenvolvido por um programa europeu de investigação
- Modelos e metodologias através da utilização de algoritmos genéticos multi-objetivos e análises multicriteriais, considerando princípios econômicos e de confiabilidade (Venturini – 2003, Berardi *et al.* – 2008; Berardi *et al.* – 2009; Boulos *et al.* – 2000; Alvisi *et al.* – 2006; Alvisi *et al.* – 2009; Giustolisi *et al.* – 2009)

## 3.6 MÉTODO MULTICRITERIAL DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO SELECIONADO PARA ESTE TRABALHO

### 3.6.1 Método CGT - Teoria dos Jogos Cooperativos (Cooperative Game Theory)

De acordo com Gershon e Duckstein (1983), apud Zuffo (2009), o método da Teoria dos Jogos Cooperativos minimiza a distância de um certo ponto ideal, sendo a “melhor” solução aquela que maximiza a distância de algum ponto “status quo”, (solução que engloba os piores desempenhos em todos os critérios) de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica.

Segundo Zuffo e Genovez (2006), a teoria do jogo é um estudo matemático de resolução de conflitos. Neste método, o valor de qualquer função deve ser mantido maior que zero, pois, caso contrário zeraria o valor da distância.

A função de distância utilizada é dada pela seguinte equação:

$$ls(x) = \prod_{i=1}^n |f_i(x) - f_i^*(x)|^{\alpha_i}$$

Equação (3.3)

onde:

$I_s$  = distância

$\alpha_i$  = o peso do  $i$ ésimo critério;

$f_i^*$  = o  $i$ ésimo elemento do ponto “status quo”;

$f_i(x)$  = o resultado da implementação da decisão  $x$  com respeito ao  $i$ ésimo critério.

O maior valor de  $I_s(x)$  indica a melhor alternativa.

Conclui-se pela revisão bibliográfica deste item, que grande atenção é dada ao desenvolvimento de modelos de apoio a tomada de decisão para a reabilitação de sistemas de distribuição de água, em caráter preventivo. Porém a aplicação desses modelos é dificultada pela dependência de uma grande massa de dados cadastrais e registros operacionais, além de grande esforço computacional para possibilitar a sua utilização. O estado da arte dos modelos de apoio à decisão ainda está evoluindo, assim como no planejamento da reabilitação.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo da presente dissertação consiste na elaboração e na aplicação de uma metodologia para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água em larga escala. Trata-se de uma metodologia para seleção das áreas objeto de reabilitação através da análise de indicadores de desempenho e do histórico de dados operacionais, factíveis a uma empresa de saneamento.

Para o desenvolvimento da metodologia de reabilitação de redes de distribuição em larga escala e sua aplicação, foi utilizado o caso real do planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água da Unidade de Negócio Norte da Sabesp, no âmbito da Região Metropolitana de São Paulo.

Para a elaboração deste trabalho foram identificadas as redes elegíveis para a reabilitação. Esta etapa foi composta pela coleta, organização e tratamento dos dados cadastrais das redes de distribuição de água, estratificando-os por setor de abastecimento, data de instalação, tipo de material, diâmetro da tubulação e extensão. Os dados cadastrais foram obtidos do banco de dados operacionais da Sabesp, utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas da empresa, denominado SIGNOS. Finda esta etapa foi possível determinar as características das redes de distribuição de água da Unidade de Negócio.

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

Na terceira etapa, foram desenvolvidas duas alternativas de priorização dos setores de abastecimento para a reabilitação das redes de distribuição.

Na primeira alternativa, foi 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, foi gerada a lista de prioridades dos setores de abastecimento com extensões de redes elegíveis para a reabilitação.

Na segunda alternativa, foi desenvolvido um indicador de priorização dos setores de abastecimento, para a reabilitação das redes de distribuição de água, utilizando o método da Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT – Cooperative Game Theory) na definição do Índice de Priorização de Redes a Reabilitar. Para a definição dos pesos relativos a cada indicador de desempenho foi solicitado o preenchimento de questionário, enviado à profissionais de empresas de saneamento e a acadêmicos especialistas em recursos hídricos.

Posteriormente, for realizada uma análise entre as duas alternativas, comparando-se os resultados.

Em seguida, foram elaborados mapas critério dos três primeiros setores de abastecimento priorizados, em cada alternativa, correlacionando as redes de distribuição por época de implantação com os históricos dos últimos 3 anos das ocorrências de vazamentos de redes, reclamações de insuficiência de pressão da água e qualidade da água distribuída. Os mapas foram gerados utilizando-se o aplicativo SI – *Spatial Intelligence*, a partir da base de dados do SIGNOS. Esta etapa teve a finalidade de identificar trechos ou grupos de redes com maior incidência de ocorrências, para auxiliar na seleção das extensões para reabilitação.

Por fim, foi realizada uma análise dos resultados apresentados pelo Índice de Priorização de Redes a Reabilitar e pelos mapas critério.

## **4.1 Caracterização Geral da Unidade de Negócio Norte**

A Unidade de Negócio Norte – MN foi criada em 1996 e tem sua sede à Rua Conselheiro Saraiva nº 519, no bairro Santana, em São Paulo. Está vinculada à Diretoria Metropolitana e atende a região norte da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, envolvendo os municípios de Caieiras, Francisco Morato, Franco da Rocha, Cajamar, Mairiporã, e a Zona Norte do município de São Paulo, bem como atende aos municípios da Região Bragantina, tais como Bragança Paulista, Joanópolis, Nazaré Paulista, Pedra Bela, Pinhalzinho, Piracaia, Socorro e Vargem.

Apresenta uma população atendida de 2.630.067 habitantes e área territorial de 3.487 km<sup>2</sup>, sendo que do total da área de abrangência da MN, aproximadamente 70% estão em área de proteção ambiental (Cajamar, Pinhalzinho, Pedra Bela, Vargem, Bragança Paulista, Joanópolis, Piracaia, Nazaré Paulista e Mairiporã, possuem 100% de seus territórios em áreas de proteção ambiental), 2% em áreas de proteção de mananciais e 3% estão em áreas de parques e reservas ecológicas (Parque Juqueri, Parque Cantareira, Parque Anhanguera e Parque Jaraguá). A caracterização da Unidade de Negócio Norte é representada na Figura 4.1.

A estrutura organizacional da Unidade de Negócio Norte da Sabesp é composta por uma Superintendência, responsável pela gestão de toda a unidade, a área física da Unidade de Negócio está subdividida em cinco departamentos de gerenciamento regional, responsáveis pela gestão local dessas áreas e três departamentos de apoio, sendo, Engenharia de Operação, Planejamento Integrado e Administrativo e Financeiro. Este conjunto hierárquico é denominado como a alta administração da Unidade de Negócio. Vinculadas aos departamentos há 22 gerências de divisão classificadas de acordo com suas especialidades técnicas. A estrutura organizacional da Unidade de Negócio Norte é apresentada na Figura 4.2.

## CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE NEGÓCIO

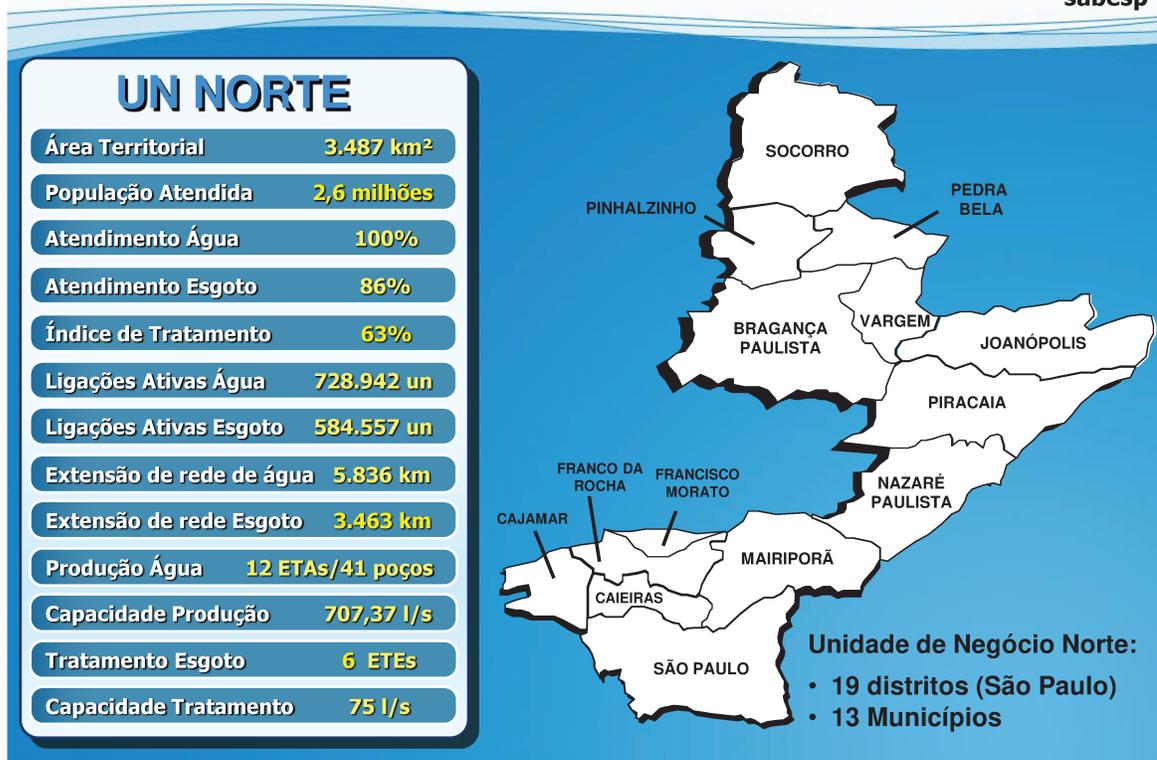


Figura 4.1: Caracterização da Unidade de Negócio Norte  
Fonte: Sabesp

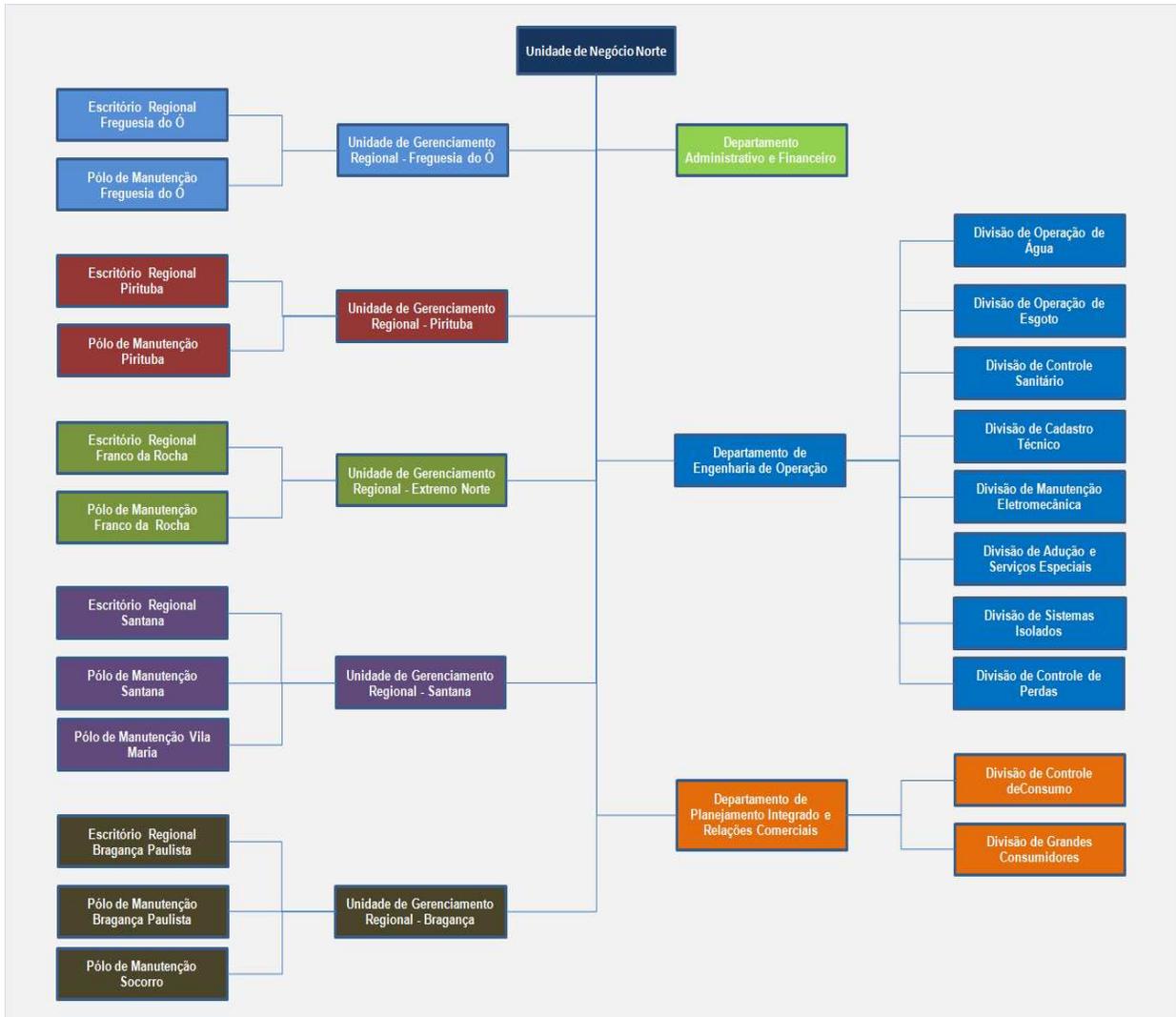


Figura 4.2: Organograma da Unidade de Negócio Norte  
 Fonte: Sabesp

## **4.2 Planejamento**

Este planejamento teve por finalidade identificar as redes de distribuição de água objeto de ações de reabilitação, no âmbito da Região Metropolitana de São Paulo pertencente à Unidade de Negócio Norte da Sabesp.

Por tratar-se de um planejamento em larga escala, dada a grande extensão e variabilidade das características das redes constituintes do sistema de distribuição de água da U.N. Norte, a definição do objetivo, das premissas e critérios foram alinhados, pois as possibilidades de estratégias de atuação são muitas, porém se não houver esta concordância, o sucesso do programa estaria comprometido.

### **4.2.1 Objetivo**

A definição, por parte do gestor do sistema, do objetivo que o programa deve atingir é fundamental, pois nela começa-se a configurar inclusive com qual intensidade o programa atuará na renovação ou substituição das redes. Caso o objetivo não for claro e não refletir os anseios da organização, provavelmente o programa não acontecerá.

Se com o programa pretende-se focar na solução de problemas de qualidade da água e perdas de carga elevadas, este terá uma forte conotação em renovação das redes existentes. Porém se a principal meta do programa for a redução das perdas reais do sistema, este terá uma forte conotação na substituição do sistema.

Um programa de reabilitação de redes, principalmente em larga escala, requer um elevado nível de recursos financeiros que será viabilizado mais facilmente se nos resultados do programa houver uma meta de recuperação financeira clara e

possível de medição. A solução de problemas de qualidade e baixa pressão no sistema são importantes, mas de difícil mensuração financeira.

Com raras exceções, as necessidades são sempre maiores que os recursos disponíveis, portanto, um programa de reabilitação irá concorrer diretamente com diversas demandas por investimento, se este não apresentar uma taxa de recuperação financeira, seja pela redução das perdas reais ou dos custos operacionais, dificilmente vencerá a seleção contra projetos que possibilitem o incremento de receitas.

Com base nesses conceitos o objetivo do programa de reabilitação de redes de distribuição deste trabalho tem como meta a redução das perdas reais de água, alinhada com a melhoria da qualidade da água e da recuperação da capacidade hidráulica das redes de distribuição.

#### **4.2.2 Premissas**

As principais premissas adotadas neste planejamento são:

- Dado o elevado custo para prospecção de corpos de prova das redes de distribuição, realização de ensaios e a grande extensão real das redes, serão utilizados indicadores de desempenho estratificados por setores de abastecimento para classificá-los quanto à priorização.
- Para as redes em ferro fundido, o principal alvo do programa serão as extensões implantadas antes da década de 1970, quando não havia o revestimento interno em argamassa.

- As redes executadas em cimento amianto e DE f<sup>9</sup> serão objeto de substituição independente da época de implantação. Pois estes materiais não são mais aplicados na Sabesp.
- As redes de PVC não serão objeto deste planejamento.
- A reabilitação das redes deverá contemplar todo um agrupamento de redes, de acordo com a setorização implantada, não permitindo no mesmo subsistema a operação conjunta de redes reabilitadas com redes que necessitem do mesmo tratamento. Esta ação visa evitar que redes comprometidas prejudiquem a operação e os resultados das redes reabilitadas.
- Atendimento das orientações contidas no Programa de Desenvolvimento Operacional – Subprograma Reabilitação de Redes de Água da Diretoria Metropolitana da Sabesp, quando estas forem pertinentes a este planejamento, respeitando a independência das Unidades de Negócio na formulação de suas estratégias.
- Concentração dos recursos e esforços nas extensões de redes a serem reabilitadas nos setores priorizados, evitando-se a pulverização das extensões anuais de redes reabilitadas entre diferentes setores.
- Toda a execução da reabilitação deverá ser feita adotando-se tecnologias e cuidados para minimizar os danos aos pavimentos públicos e os transtornos à população, métodos destrutivos somente deverão ser utilizados em casos que efetivamente se justifiquem, recomendado pelo Programa de Desenvolvimento Operacional da Sabesp.
- Avaliações mais criteriosas da técnica a adotar (renovação ou substituição, tipo de tecnologia) deverão ser feitas por ocasião da elaboração

dos projetos executivos, recomendado pelo Programa de Desenvolvimento Operacional da Sabesp.

- Todos os ramais de cada trecho reabilitado deverão ser trocados, a menos que se constate que o ramal existente encontra-se dentro dos padrões atualmente exigidos em termos de materiais e execução, recomendado pelo Programa de Desenvolvimento Operacional da Sabesp.
- Serão objeto deste planejamento as redes de distribuição, ou seja, as redes de adução não serão contempladas.

#### **4.2.3 Indicadores de desempenho**

A escolha dos indicadores de desempenho deve atender ao objetivo do planejamento, devem estar estratificados por setor de abastecimento e correlacionados com a dimensão física dos mesmos. Deve-se evitar a utilização de números totais, pois um setor com uma grande extensão de redes pode apresentar mais ocorrências operacionais em função de sua dimensão, enquanto um setor menor apresenta menores números de ocorrências totais, porém estes números quando ponderados pela real dimensão dos setores indicam quais apresentam maiores ou menores problemas operacionais ocasionados pela condição das redes de distribuição.

Os Indicadores de Desempenho para classificação dos setores de abastecimento adotados neste planejamento são:

- NVR – Número de Vazamentos em Redes, indicador utilizado pela International Water Association – IWA e recomendado pelo Programa de Desenvolvimento Operacional da Sabesp.

- IQA – Índice de Reclamações de Qualidade da Água, indicador apurado para este planejamento.
- IIP – Índice de Reclamações de Insuficiência de Pressão de Água, indicador apurado para este planejamento.
- IPDT – Índice de Perdas Totais, indicador apurado de acordo com os conceitos da International Water Association – IWA.

Em sistemas de distribuição água, onde há necessidade de bombeamento para compensar a perda de carga gerada pelo elevado grau de tuberculização das redes de distribuição, pode-se utilizar um indicador de desempenho para quantificar o consumo de energia elétrica no processo de distribuição. Nos casos objeto deste estudo não há esta condição.

### **Número de vazamentos em redes**

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 campanhas de detecção de vazamentos podem apresentar valores baixos, mas que não refletem a real condição das redes de distribuição. A fórmula do Indicador é apresentada na equação (3.2).

De acordo com a International Water Association – IWA, o valor aceitável para este índice é 13 vaz.redes/100km.ano, a média dos setores de abastecimento analisados neste estudo é de 80,63 vaz.redes/100km.ano, o que indica um sério

problema de infraestrutura, considerando que a U. N. Norte possui um elevado índice de redes de distribuição com controle de pressão, ou seja, a componente pressão excessiva, que poderia justificar essa quantidade de vazamentos de rede é descartada. Esta análise reforça a necessidade de se priorizar a substituição das redes ou aplicação de técnicas de reabilitação estrutural. Na Tabela 4.1 é apresentada a média, dos anos de 2008, 2009 e 2010, do número de vazamentos de rede a cada 100km por Setor de Abastecimento.

### **Índice de perdas totais**

A Sabesp adotada as recomendações da International Water Association – IWA para cálculo do Indicador de Perdas de Água. A fórmula do Indicador é apresentada na equação (3.1).

Atualmente, o Indicador de Perdas é um dos melhores parâmetros para avaliação da eficiência de um sistema de distribuição de água, pois permite a adequada mensuração do volume perdido e a quantificação da perda financeira neste sistema. Na Tabela 4.2 é apresentada a média, dos anos de 2008 a 2010, do IPDT por Setor de Abastecimento em litros/lig\*dia.

### **Índice de reclamações de insuficiência de pressão de água**

Este indicador tem a finalidade de quantificar as reclamações de insuficiência de pressão, a partir das reclamações dos clientes ao *call center* da Sabesp, gerados por problemas estruturais no sistema de abastecimento, é apurado pela equação (4.1).

$$IIP = \frac{n^{\circ} \text{ de recl. de insuficiência pressão}}{\left(\frac{\text{extensão de redes}}{100}\right)} = \frac{\text{número de reclamações}}{100\text{km}}$$

Equação (4.1)

Para a composição deste indicador é importante estratificar os diferentes tipos de reclamações de insuficiência de pressão, separando reclamações geradas por interrupções programadas ou emergenciais das reclamações geradas por deficiência estrutural. Na Tabela 4.3 é apresentada a média, dos anos de 2008, 2009 e 2010, do Índice de Reclamações de Insuficiência de Pressão da Água dos setores de abastecimento.

### **Índice de reclamações de qualidade da água**

Este indicador tem a finalidade de determinar o impacto das condições das redes de distribuição na qualidade da água, a partir das reclamações dos clientes ao *call center* da Sabesp, o indicador é apurado pela equação (4.2).

$$IQA = \frac{n^{\circ} \text{ de recl. de qualidade da água}}{\left(\frac{\text{extensão de redes}}{100}\right)} = \frac{\text{número de reclamações}}{100\text{km}}$$

Equação (4.2)

Na Tabela 4.4 é apresentada a média, dos anos de 2008, 2009 e 2010, do Índice de Qualidade da Água dos setores de abastecimento.

Tabela 4.1: Média do número 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
Jaraguá	92,00
Franco da Rocha	86,10
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

Tabela 4.2: Média do índice de perdas totais por setor de abastecimento

Setor de Abastecimento	IPDT (litros/lig*dia)
	Média 08/09/10
Casa Verde	752
Mirante	738
Tucuruvi	528
Jaraguá	524
Edu Chaves	510
Francisco Morato	510
Freguesia do Ó	497
Cajamar	467
Vila Maria	454
Santana	446
Mairiporã	407
Vila Jaguara	386
Franco da Rocha	368
Pq Cantareira	365
Pirituba	360
Vila Medeiros	335
V Brasilândia	318
Perus	316
Caieiras	294
Vila Nova Cachoeirinha	255

Tabela 4.3: Média do índice de reclamações de insuficiência pressão da água por setor de abastecimento

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

Tabela 4.4: Média do índice 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
Pq Cantareira	27
Edu Chaves	27
Vila Nova Cachoeirinha	26
Jaraguá	25
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

#### 4.2.4 Alternativas propostas

##### Alternativa 1

Para a Alternativa 1, na determinação da priorização dos setores de abastecimento, foi 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. Cada indicador de desempenho foi classificado em ordem decrescente e atribuído um fator crescente de acordo com esta classificação, posteriormente o fator foi multiplicado pelo peso atribuído ao indicador, gerando uma pontuação para cada indicador de desempenho por setor de abastecimento. Por fim foi realizada a somatória das pontuações de todos os indicadores por setor de abastecimento, obtendo-se a pontuação total dos setores de abastecimento e sua priorização em ordem crescente.

##### Índice de Redes a Reabilitar

Este indicador determina o percentual da extensão total de redes de distribuição, por setor de abastecimento, que são elegíveis para reabilitação, sua finalidade é permitir a correlação deste percentual com os demais indicadores, evidenciando o impacto das condições das redes no desempenho das mesmas, é apurado pela equação (4.3).

$$IRR = \frac{\textit{Extensão de Redes a Reabilitar} * 100}{\textit{Extensão Total de Redes}} = \%$$

Equação (4.3)

## Pesos dos indicadores

A determinação de pesos aos indicadores deve ser coerente com o objetivo e metas do planejamento, sendo uma atribuição de cada operador.

Os pesos dos indicadores foram definidos em reunião de análise crítica, integrada pelos gerentes das unidades responsáveis pela operação e manutenção do sistema de distribuição da Unidade de Negócio Norte, onde foram ratificados o objetivo do programa, as premissas e a metodologia apresentada.

A tabela 4.5 apresenta os pesos a serem adotados e seus critérios de relevância e a tabela 4.6 da determinação de pesos aos indicadores de desempenho.

Tabela 4.5: Pesos e relevâncias

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

Tabela 4.6: Pesos dos indicadores

Indicador	Pesos
Índice de Redes a Reabilitar - IRR	5
Índice de Perdas Totais - IPDT	5
Número de Vazamentos em Redes - NVR	3
Índice de Insuficiência de Pressão de Água - IIP	4
Índice de Qualidade da Água - IQA	4

## Alternativa 2

Para a Alternativa 2 na determinação da priorização dos setores de abastecimento, foi desenvolvido o Índice de Priorização de Redes a Reabilitar – IP2R. O IP2R é determinado pelo produtório ponderado de quatro parâmetros de desempenho das redes de distribuição de água, correspondentes aos indicadores de Perdas Totais, Insuficiência de Pressão de Água, Qualidade da Água e Número de Vazamentos em Redes. Utilizando o método da Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT – Cooperative Game Theory) na definição do indicador. O indicador é apurado pela equação (4.3).

$$IP2R = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \sum w_i = 1 \quad \text{Equação (4.3)}$$

Onde,

IP2R = Índice de Priorização de Redes a Reabilitar, um número entre 0 e 100.

$q_i$  = valor do  $i$ éssimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido das respectivas curvas de variação dos indicadores de desempenho (funções de valores). As curvas médias de variação dos indicadores de desempenho são mostradas nas Figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

$w_i$  = Peso correspondente ao  $i$ éssimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função de sua importância na priorização da reabilitação.

$n$  = Número de parâmetros utilizados no cálculo do IP2R.

A priorização dos setores de abastecimento para a reabilitação das redes de distribuição de água, indicadas pelo IP2R, numa escala de 0 a 100, pode ser classificada segundo a escala apresentada pela Tabela 4.5.

Tabela 4.7: Classificação do desempenho dos Setores de Abastecimento de acordo com o IP2R

Classificação dos Setores de Abastecimento			
Desempenho	Valor do IP2R		
Ótimo	80	$< \text{IP2R} \leq$	100
Bom	60	$< \text{IP2R} \leq$	80
Regular	30	$< \text{IP2R} \leq$	60
Ruim	10	$< \text{IP2R} \leq$	30
Péssimo		$\text{IP2R} \leq$	10

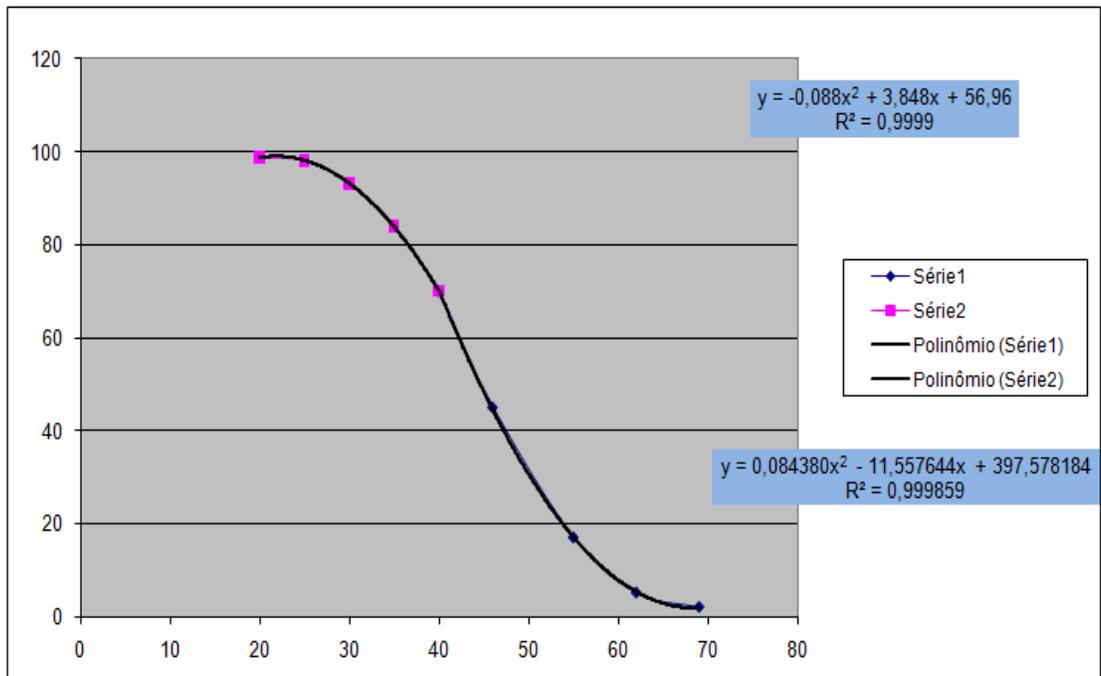


Figura 4.3: Função de valor do parâmetro NVR

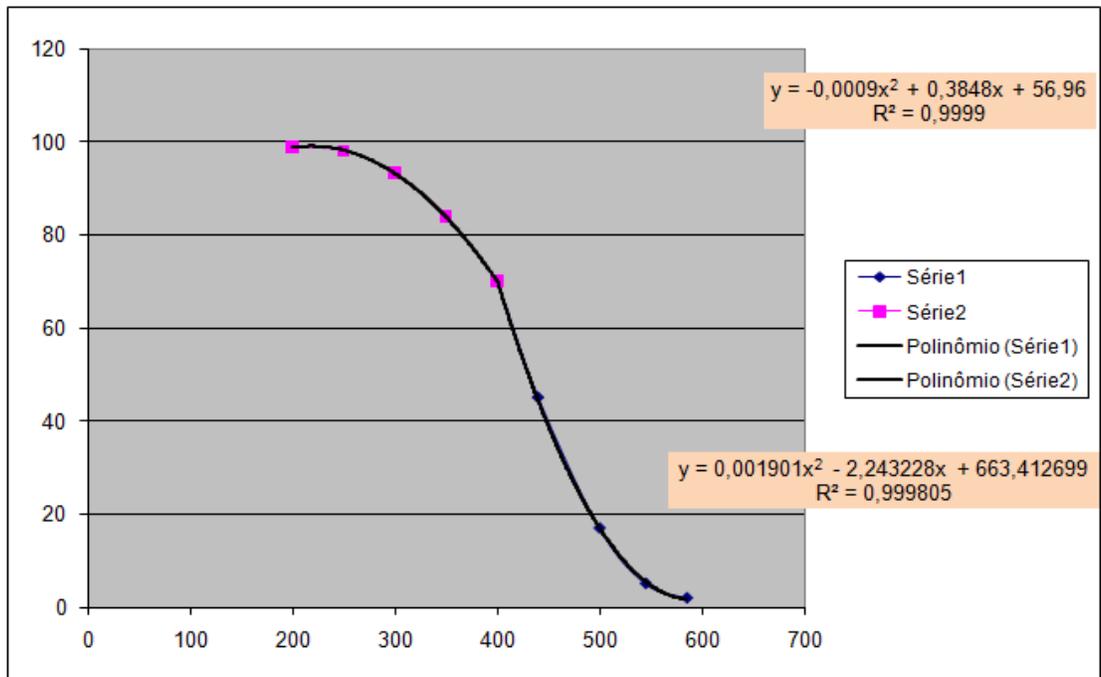


Figura 4.4: Função de valor do parâmetro IPDT

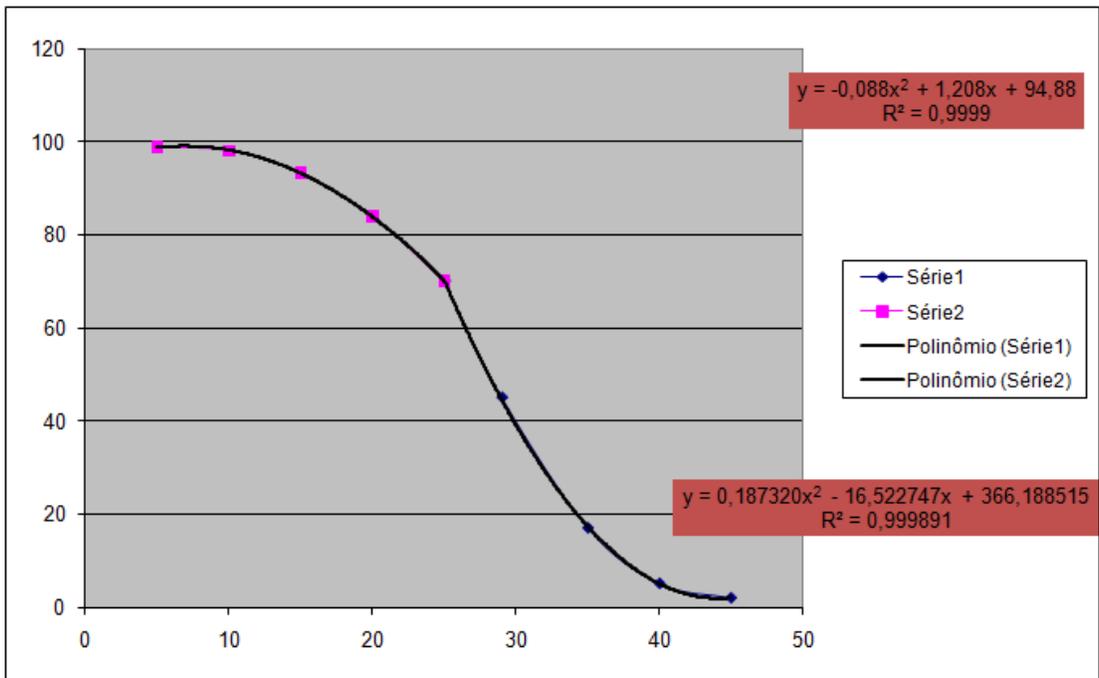


Figura 4.5: Função de valor do parâmetro IIP

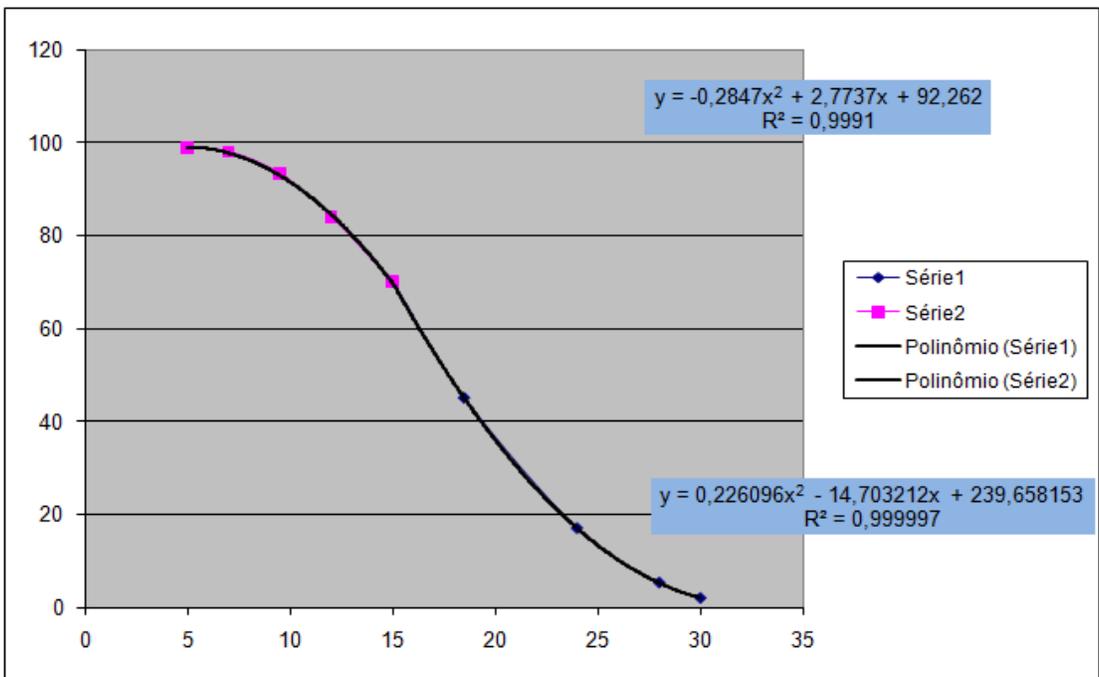


Figura 4.6: Função de valor do parâmetro IQA

## **Pesos dos indicadores**

Para a definição dos pesos relativos a cada indicador de desempenho foi solicitado o preenchimento de questionário, enviado para profissionais das empresas de saneamento dos estados de São Paulo, Paraná e Espírito Santo (Sabesp, Sanepar e Cesan) e a acadêmicos especialistas em recursos hídricos das Universidades de Campinas e São Paulo (Unicamp e USP). Dos 40 questionários enviados, 24 foram respondidos, sendo 20 por profissionais das empresas de saneamento e 4 por acadêmicos.

A título de evitar diferenças de interpretação dos critérios, que refletem os indicadores de desempenho, foi descrito o cenário, partindo-se da definição que o principal objetivo de um programa de reabilitação de redes de distribuição de água deve ser a redução das perdas reais, de maneira a dar sustentação financeira ao programa. Não foram observadas discrepâncias significativas entre as notas atribuídas aos critérios pelos dois grupos. Foi sugerido aos decisores entrevistados que atribuísem notas no valor contido no intervalo de 1 a 10, que melhor representasse a opinião sobre a importância relativa a cada critério. O questionário entregue aos entrevistados pode ser observado no Anexo A. O Anexo B apresenta as notas atribuídas, pelos decisores, a cada critério. A Tabela 4.6 apresenta os pesos relativos atribuídos aos critérios.

Tabela 4.8: Pesos relativos dos critérios

Critérios	Notas Médias	Pesos
Redução das perdas reais	9,3125	0,2903
Qualidade da água	6,9167	0,2156
Insuficiência de pressão	7,0625	0,2201
Número de vazamentos em redes	8,7917	0,2740
<b><math>\Sigma</math></b>	32,0833	1

#### 4.2.5 Mapas critério

A utilização de mapas critério auxilia na identificação de tubulações e grupos de tubulações com alta incidência de vazamentos, reclamações de insuficiência de pressão e qualidade da água, e a evidenciar se os problemas estão realmente relacionados com a idade ou com outros problemas de infraestrutura.

Os mapas critério utilizados neste planejamento foram elaborados a partir de informações do Banco de Dados Operacionais da Sabesp, utilizando-se o Signos e o software SI. Neles são indicadas as épocas de implantação das tubulações componentes dos setores de abastecimento utilizando-se um código de cores para distingui-las e correlacioná-las com as ocorrências de vazamentos em redes,

reclamações de qualidade da água e reclamações de insuficiência de pressão, conforme legenda abaixo.

Legenda

	Reclamação de insuficiência de pressão
	Reparos nas redes de distribuição
	Reclamação de qualidade da água
	Tubulações implantadas de 1920 a 1950
	Tubulações implantadas de 1951 a 1970
	Tubulações implantadas de 1971 a 2010

#### 4.2.6 Projetos executivos

A necessidade de projetos executivos em um programa de reabilitação de redes é um fator de discussão.

As empresas prestadoras de serviços de reabilitação de redes dispensam a elaboração de projetos executivos. Para estas, uma vez definido o método e analisados os cadastros das redes e das interferências tem-se elementos suficientes para o desenvolvimento de um rápido planejamento de execução e início dos serviços.

Quando a intervenção deve-se dar em pequenas extensões e locais onde as liberações para a execução de obras em vias públicas são simples, ou seja, o órgão regulador não exige muitas informações referentes à intervenção, este procedimento é válido.

Contudo, quando o programa de reabilitação de redes abrange grandes extensões, com a possibilidade de aplicação de diversos métodos combinados e em cidades onde o órgão regulador responsável pela emissão das autorizações para intervenções em vias públicas exige um bom nível de informações e detalhamento dos serviços a serem executados, torna-se fundamental a elaboração de projetos executivos.

Outra questão importante, quando se trata de um programa de larga escala, é a quantificação dos recursos financeiros necessários. Em um primeiro momento, esta quantificação pode ser obtida através de estimativas em função da extensão e diâmetro das redes, do custo médio dos métodos e da definição dos percentuais de renovação ou substituição a serem empregados. Porém, somente com a elaboração dos projetos executivos será possível quantificar de forma precisa os recursos necessários para a contratação dos serviços de reabilitação.

A elaboração de projetos executivos para reabilitação de redes de distribuição de água em um planejamento de larga escala deverá contemplar os seguintes itens:

- Diagnóstico detalhado da infraestrutura existente e das condições locais.
- Definição dos diâmetros adequados aos trechos, em função das demandas atuais e futuras e configuração do sistema de distribuição.
- Definição e quantificação dos métodos mais adequados para cada trecho.
- Estudo comparativo de custos envolvidos no processo de reabilitação.

- Projeto executivo necessário para a realização das obras e serviços, contendo peças gráficas, memorial descritivo, memórias de cálculo, quantitativos e orçamentos.
- Indicação de alternativas para o abastecimento provisório durante a execução da obra.
- Documentação contendo elementos para aprovação de execução de obras junto aos órgãos de regulamentação e fiscalização das vias públicas.
- Pacote técnico, visando à contratação dos serviços e obras.



## 5. RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 Características das redes de distribuição da U. N. Norte

A Unidade de Negócio Norte da Sabesp possui 5.836 km de redes de distribuição de água. Entende-se como rede de distribuição a infraestrutura 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 ser 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, entre os anos de 1991 a 2010, a unidade continua expandindo o seu sistema de distribuição, implantando mais 31,16% do total de redes. A tabela 5.1 apresenta as extensões de redes de distribuição de água por época de implantação.

Tabela 5.1: Extensões de redes por época de implantação

Implantação	Km	%
Até 1950	56,26	0,96
1951 e 1970	642,04	11,00
1971 e 1990	3.360,59	57,58
1991 e 2010	1.837,62	31,49

Na distribuição dos materiais empregados nas redes de distribuição da UN Norte, a predominância é do Ferro Fundido (f<sup>ff</sup>), atingindo 61,89% do total, seguido pelo PVC com 36,75% do montante de redes de distribuição. Em relação ao Ferro Fundido é importante destacar que 11,91% das redes foram implantadas antes da década de 1970, quando os tubos de Ferro Fundido não possuíam revestimento interno. Demais materiais, tais como DE f<sup>ff</sup> e Cimento Amianto somam apenas 1,01% das redes de distribuição de água, visto que estes materiais estão sendo substituídos ao longo dos anos independentemente de um programa específico de reabilitação de redes, devido a inadequação desses materiais para a aplicação em redes de abastecimento. A tabela 5.2 apresenta as extensões de redes de distribuição de água por tipo de material.

Tabela 5.2: Extensões de redes por tipo de material

Material	Km	%
Aço	21,40	0,37
f <sup>ff</sup> sem revestimento	694,85	11,91
f <sup>ff</sup> com revestimento	2.917,07	49,98
PVC	2.144,51	36,75
Cimento Amianto	45,02	0,77
DE f <sup>ff</sup>	13,94	0,24

Em relação aos tipos de materiais por períodos de implantação, observa-se a predominância da aplicação do f<sup>ff</sup> até o final da década de 1980, já registrando uma forte tendência de utilização de tubos de PVC e, a partir da década de 1990, o PVC

passa a ser o principal material utilizado nas redes de distribuição de água, superando em mais de duas vezes a extensão de f<sup>º</sup>f<sup>º</sup> implantada no período. Esta preferência pelo PVC dá-se principalmente pelo baixo custo em relação ao f<sup>º</sup>f<sup>º</sup>. A Figura 5.1 apresenta a distribuição dos materiais aplicados nas redes de distribuição de água por época de implantação.

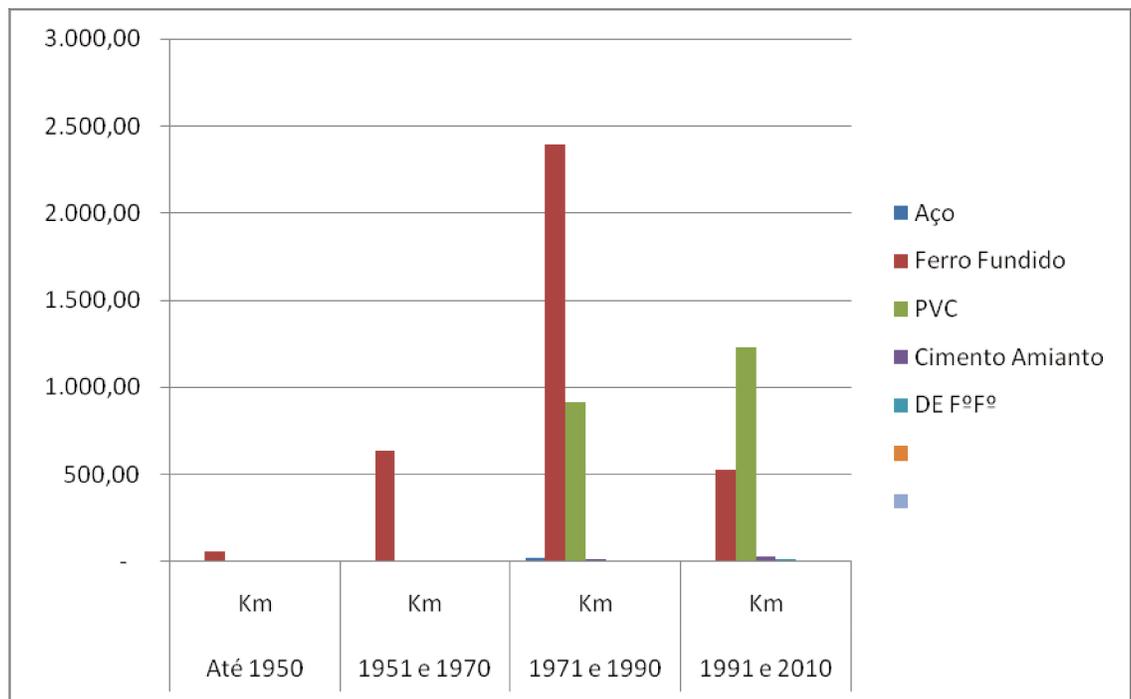


Figura 5.1: Distribuição dos materiais das redes por época de implantação

Os setores de abastecimento mais antigos da UN Norte são compostos praticamente na sua totalidade por redes de f<sup>º</sup>f<sup>º</sup>, com índices entre 95% e 99% de redes neste material, enquanto os setores implantados mais recentemente são compostos predominantemente por redes de PVC com índices entre 50 e 80% neste material.

## **5.2 Setores de abastecimento com redes de distribuição elegíveis à reabilitação**

Conforme as premissas adotadas foram selecionados os setores de abastecimento que possuem redes de distribuição elegíveis à reabilitação.

A extensão total de redes de distribuição elegíveis a reabilitação é de 753,81 km ou 12,92% do total de redes de distribuição da UN Norte, dos quais 58,28% são de redes com diâmetro 75mm.

A Tabela 5.3 apresenta a distribuição das redes de distribuição de água, por setor de abastecimento, tipo de material, extensão e percentual que representa na extensão total de redes do setor.

A Tabela 5.4 apresenta a distribuição das redes de distribuição de água elegíveis, por diâmetro e extensão.

Tabela 5.3: Distribuição das redes elegíveis à reabilitação por setor de abastecimento

Setor de Abastecimento	f <sup>efo</sup> sem revestimento		DE f <sup>efo</sup>		Cimento Amianto	
	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)
Casa Verde	36.355,68	4,82	-	-	-	-
Jaraguá		-	-	-	9.842,37	1,31
Santana	143.142,54	18,99	-	-	-	-
Tucuruvi	74.394,10	9,87	-	-	-	-
Francisco Morato		-	1.132,36	0,15	-	-
Edu Chaves	53.125,60	7,05	-	-	-	-
Mirante	30.059,05	3,99	-	-	-	-
Jaguara	20.294,35	2,69	-	-	-	-
Freguesia do Ó	75.218,97	9,98	-	-	-	-
Pq. Cantareira	18.631,23	2,47	-	-	-	-
Cajamar		-	5.274,16	0,70	17.461,54	2,32
Mairiporã	-	-	-	-	244,62	0,03
Caieiras	-	-	229,33	0,03	12.978,94	1,72
Vila Maria	54.038,09	7,17		-	-	-
Franco da Rocha	-	-	2.089,02	0,28	12,98	0,00
Cachoeirinha	89.694,46	11,90		-		-
Vila Medeiros	82.828,64	10,99		-		-
Pirituba	6.276,59	0,83	-	-	-	-
Perus	-	-	5.212,01	0,69	4.482,59	0,59
Brasilândia	10.787,91	1,43		-		-
	694.847,21	92,18	13.936,88	1,85	45.023,04	5,97
Total Geral	753.807,13					

Tabela 5.4: Distribuição das redes elegíveis a reabilitação por diâmetro e extensão

Distribuição da Redes Elegíveis a Reabilitação por Diâmetro e Extensão								
Diâmetro	f <sup>o</sup> f <sup>o</sup> sem revest		Cimento Amianto		DE f <sup>o</sup> f <sup>o</sup>		Total	
	km	%	km	%	km	%	km	%
50	1,65	0,22	27,04	3,59	0,02	0,00	28,71	3,81
75	431,54	57,25	7,75	1,03	0,01	0,00	439,30	58,28
100	72,78	9,65	2,38	0,32	2,04	0,27	77,20	10,24
125	3,46	0,46	0,56	0,07		-	4,02	0,53
150	56,91	7,55	2,82	0,37	11,87	1,57	71,60	9,50
200	35,22	4,67	2,54	0,34		-	37,76	5,01
250	26,26	3,48	1,93	0,26		-	28,19	3,74
275	0,43	0,06		-		-	0,43	0,06
300	19,24	2,55		-		-	19,24	2,55
350	10,19	1,35		-		-	10,19	1,35
375	4,59	0,61		-		-	4,59	0,61
400	12,69	1,68		-		-	12,69	1,68
450	1,61	0,21		-		-	1,61	0,21
500	4,96	0,66		-		-	4,96	0,66
550	1,62	0,21		-		-	1,62	0,21
600	9,98	1,32		-		-	9,98	1,32
700	0,27	0,04		-		-	0,27	0,04
800	1,35	0,18		-		-	1,35	0,18
900	0,10	0,01		-		-	0,10	0,01

### **5.3 Priorização dos setores de abastecimento**

A tabela 5.5 apresenta a priorização dos setores de abastecimento para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de acordo com a aplicação da Alternativa 1. Os resultados da pontuação, em ordem crescente, indicam a ordem de priorização dos setores de abastecimento.

A Tabela 5.6 apresenta a priorização dos setores de abastecimento para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de acordo com a aplicação da Alternativa 2.

Tabela 5.5: Alternativa 1 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação

Alternativa 1 – Priorização dos Setores de Abastecimento para a Reabilitação das Redes de Distribuição																
Setor de Abastecimento	IRR			IPDT			NVR			IQA			IIP			Pontos
	%	Fator	Peso 5	litros/lig*dia	Fator	Peso 5	Vazamentos/ 100Kmrede*ano	Fator	Peso 3	Reclamações/ 100Kmrede*ano	Fator	Peso 4	Reclamações/ 100Kmrede*ano	Fator	Peso 4	
Casa Verde	43,85	1	5	752	1	5	84	9	27	32	2	8	68	1	4	49
Santana	43,23	2	10	446	10	50	85	8	24	33	1	4	44	6	24	112
Vila Jaguará	27,03	7	35	386	12	60	102	3	9	24	8	32	48	5	20	156
Edu Chaves	18,95	10	50	510	5	25	54	19	57	27	5	20	56	3	12	164
Mirante	36,16	4	20	738	2	10	65	14	42	18	15	60	33	9	36	168
Pq. Cantareira	15,19	11	55	365	14	70	85	7	21	27	4	16	58	2	8	170
Tucuruvi	23,52	9	45	528	3	15	61	15	45	23	9	36	30	10	40	181
Freguesia do Ó	31,98	5	25	497	7	35	75	13	39	21	11	44	25	14	56	199
Jaraguá	0,88	18	90	524	4	20	92	5	15	25	7	28	27	12	48	201
Cachoeirinha	26,07	8	40	255	20	100	80	11	33	26	6	24	49	4	16	213
Vila Medeiros	41,52	3	15	335	16	80	56	17	51	21	12	48	44	7	28	222
Vila Maria	31,73	6	30	454	9	45	60	16	48	17	17	68	38	8	32	223
Francisco Morato	0,55	19	95	510	6	30	137	1	3	20	14	56	19	16	64	248
Cajamar	9,52	12	60	467	8	40	133	2	6	14	19	76	15	18	72	254
Caieiras	8,34	13	65	294	19	95	76	12	36	31	3	12	12	19	76	284
Mairiporã	0,1	20	100	407	11	55	80	10	30	22	10	40	18	17	68	293
Franco da Rocha	2,02	17	85	368	13	65	86	6	18	17	16	64	12	20	80	312
Perus	5,15	15	75	316	18	90	94	4	12	12	20	80	24	15	60	317
Pirituba	2,16	16	80	360	15	75	54	20	60	21	13	52	26	13	52	319
Brasilândia	5,89	14	70	318	17	85	55	18	54	15	18	72	28	11	44	325

Tabela 5.6: Alternativa 2 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação das redes de distribuição

Alternativa 2 - Priorização dos Setores Abastecimento para a Reabilitação das Redes de Distribuição														
Setor de Abastecimento	PRR	IPDT			NVR			IQA			IIP			IP2R
	%	litros/lig*dia	Fator	Peso 0,2903	Vazamentos/100Kmrede*ano	Fator	Peso 0,2740	Reclamações/100Kmrede*ano	Fator	Peso 0,2156	Reclamações/100Kmrede*ano	Fator	Peso 0,2201	
Casa Verde	43,85	752	2,00	1,22	84	2,00	1,21	32	2,00	1,16	68	2,00	1,16	2,00
Santana	43,23	446	41,07	2,94	85	2,00	1,21	33	2,00	1,16	44	1,84	1,14	4,72
Mirante	36,16	738	2,00	1,22	65	2,62	1,30	18	48,26	2,31	33	24,93	2,03	7,45
Pq. Cantareira	15,19	365	77,51	3,54	85	2,00	1,21	27	7,50	1,54	58	2,00	1,16	7,69
Edu Chaves	18,95	510	13,82	2,14	54	18,55	2,23	27	7,50	1,54	56	2,00	1,16	8,58
Cachoeirinha	26,07	255	96,56	3,77	80	2,00	1,21	26	10,22	1,65	49	2,00	1,16	8,76
Vila Jaguará	27,03	386	71,40	3,45	102	2,00	1,21	24	17,01	1,84	48	2,00	1,16	8,96
Jaraguá	0,88	524	9,93	1,95	92	2,00	1,21	25	13,39	1,75	27	56,63	2,43	10,02
Tucuruvi	23,52	528	8,96	1,89	61	6,54	1,67	23	21,09	1,93	30	39,09	2,24	13,67
Caieiras	8,34	294	92,30	3,72	76	2,00	1,21	31	2,00	1,16	12	96,70	2,74	14,28
Freguesia do Ó	31,98	497	18,09	2,32	75	2,00	1,21	21	30,60	2,09	25	70,19	2,55	14,94
Francisco Morato	0,55	510	13,82	2,14	137	2,00	1,21	20	36,03	2,17	19	86,06	2,67	14,96
Vila Medeiros	41,52	335	84,87	3,63	56	16,04	2,14	21	30,60	2,09	44	1,84	1,14	18,56
Vila Maria	31,73	454	36,81	2,85	60	7,47	1,73	17	55,05	2,37	38	8,81	1,61	18,93
Mairiporã	0,1	407	65,32	3,36	80	2,00	1,21	22	25,62	2,01	18	88,11	2,68	21,94
Cajamar	9,52	467	30,41	2,69	133	2,00	1,21	14	75,29	2,54	15	93,20	2,71	22,44
Franco da Rocha	2,02	368	76,68	3,52	86	2,00	1,21	17	55,05	2,37	12	96,70	2,74	27,66
Perus	5,15	316	88,69	3,68	94	2,00	1,21	12	84,55	2,60	24	73,18	2,57	29,77
Pirituba	2,16	360	78,85	3,55	54	19,76	2,27	21	30,60	2,09	26	63,23	2,49	41,92
Brasilândia	5,89	318	88,31	3,67	55	18,08	2,21	15	69,98	2,50	28	50,41	2,37	48,07

## Mapa critério Setor de Abastecimento Casa Verde

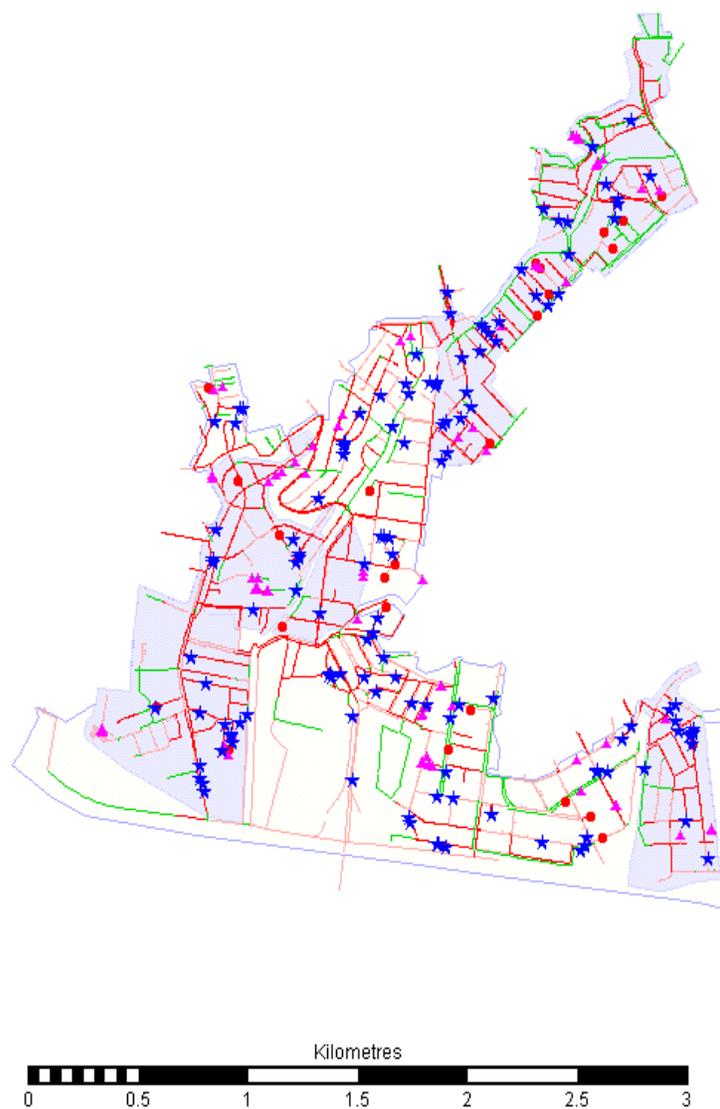


Figura 5.2: Mapa critério do Setor de Abastecimento Casa Verde

### Legenda

-  Reclamação de insuficiência de pressão
-  Reparos nas redes de distribuição
-  Reclamação de qualidade da água
-  Tubulações implantadas de 1920 a 1950
-  Tubulações implantadas de 1951 a 1970
-  Tubulações implantadas de 1971 a 2010

## Mapa critério Setor de Abastecimento Santana

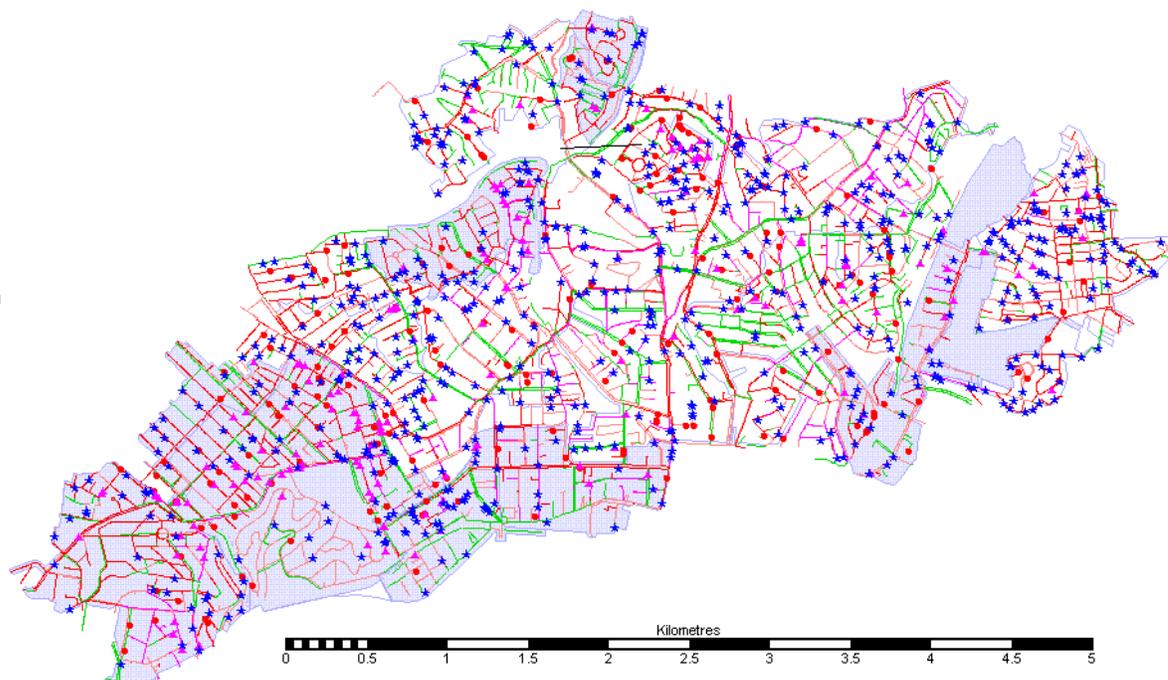


Figura 5.3: Mapa critério do Setor de Abastecimento Santana

### Legenda

-  Reclamação de insuficiência de pressão
-  Reparos nas redes de distribuição
-  Reclamação de qualidade da água
-  Tubulações implantadas de 1920 a 1950
-  Tubulações implantadas de 1951 a 1970
-  Tubulações implantadas de 1971 a 2010

## Mapa critério Setor de Abastecimento Mirante

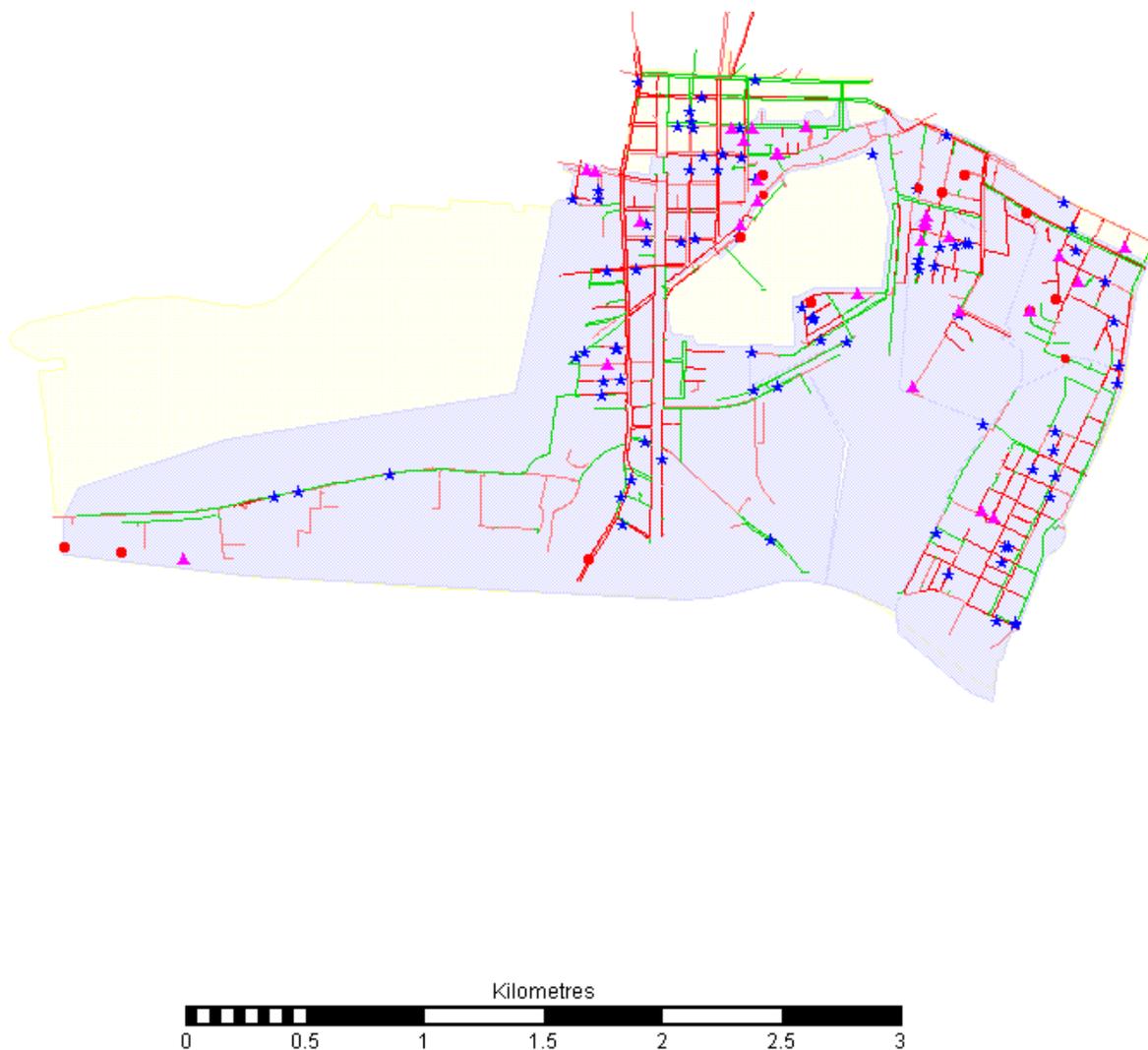


Figura 5.4: Mapa critério do Setor de Abastecimento Mirante

### Legenda

-  Reclamação de insuficiência de pressão
-  Reparos nas redes de distribuição
-  Reclamação de qualidade da água
-  Tubulações implantadas de 1920 a 1950
-  Tubulações implantadas de 1951 a 1970
-  Tubulações implantadas de 1971 a 2010

## Mapa critério Setor de Abastecimento Vila Jaguará

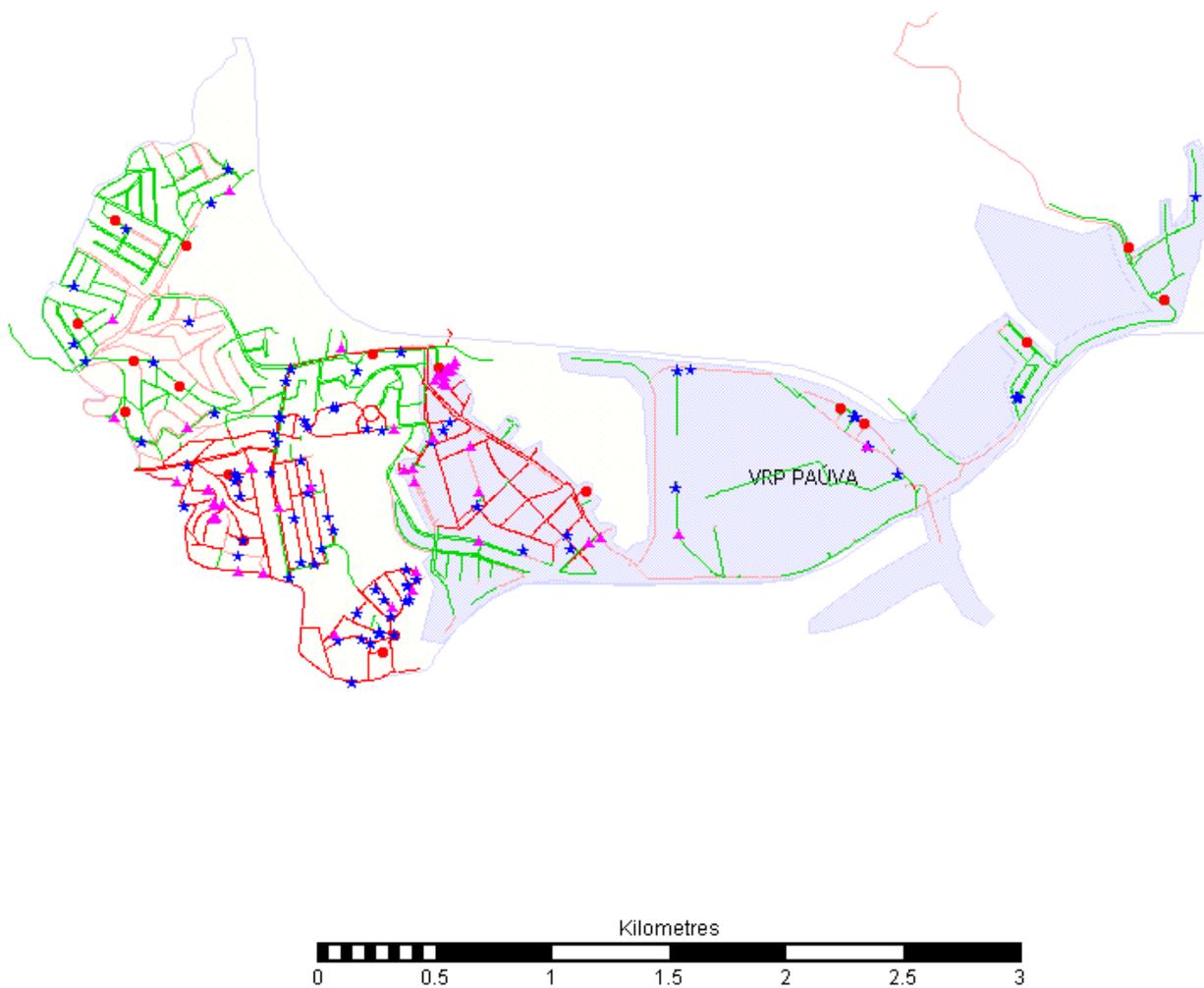


Figura 5.5: Mapa critério do Setor de Abastecimento Vila Jaguará

### Legenda

-  Reclamação de insuficiência de pressão
-  Reparos nas redes de distribuição
-  Reclamação de qualidade da água
-  Tubulações implantadas de 1920 a 1950
-  Tubulações implantadas de 1951 a 1970
-  Tubulações implantadas de 1971 a 2010

## 5.4 Análise dos resultados

Os resultados da priorização dos setores de abastecimento, aplicando-se as duas alternativas foram comparados conforme a Tabela 5.7 – Comparação dos resultados entre as Alternativas 1 e 2. Os setores de abastecimento identificados na cor verde apresentaram total concordância na ordem de priorização entre as duas alternativas, os setores de abastecimento identificados na cor amarela apresentaram concordância parcial na ordem de priorização entre as duas alternativas, com divergência máxima de duas posições. Os setores de abastecimento identificados na cor laranja apresentaram discordância na ordem de priorização entre as duas alternativas. Do total de 20 setores de abastecimento estudados nas duas alternativas 16 apresentaram concordância total ou parcial, verificando-se uma boa equivalência de resultados.

Tabela 5.7: Comparação dos resultados entre as Alternativas 1 e 2

Setor de Abastecimento	Priorização Alternativa 1	Priorização Alternativa 2
Casa Verde	1º	1º
Santana	2º	2º
Mirante	5º	3º
Pq. Cantareira	6º	4º
Edu Chaves	4º	5º
Cachoeirinha	10º	6º
Vila Jaguará	3º	7º
Jaraguá	9º	8º
Tucuruvi	7º	9º
Caieiras	15º	10º
Freguesia do Ó	8º	11º
Francisco Morato	13º	12º
Vila Medeiros	11º	13º
Vila Maria	12º	14º
Mairiporã	16º	15º
Cajamar	14º	16º
Franco da Rocha	17º	17º
Perus	18º	18º
Pirituba	19º	19º
Brasilândia	20º	20º

O fato que levou a este resultado foi a utilização, na Alternativa 1, do Índice de Redes a Reabilitar, indicador não utilizado na Alternativa 2. A aplicação deste indicador potencializou a priorização em função do percentual de redes a reabilitar, em detrimento do desempenho. Conclui-se, em função desta constatação, que a melhor condição para a priorização é a não utilização do Índice de Redes a Reabilitar, privilegiando-se o desempenho, independente da idade da infraestrutura. Nesta condição, as duas alternativas são equivalentes nos resultados de priorização.

A Alternativa 2 apresenta a vantagem de possuir uma escala de progressão de valores do IP2R, permitindo a classificação dos setores de abastecimento, em função do seu desempenho. Os resultados do IP2R indicam que a infraestrutura de redes de distribuição de água, dos setores de abastecimento estudados apresentam um elevado grau de inadequação, comprometendo o desempenho global do sistema. Dos 20 setores de abastecimento estudados, 8 tiveram o seu desempenho classificado como péssimo, 10 tiveram o desempenho classificado como crítico e 2 tiveram o desempenho classificado como regular. A escala de progressão dos valores do IP2R permitiu identificar quais setores devem ser priorizados em um programa de reabilitação de redes de distribuição de água, em função do seu desempenho.

Com a aplicação das duas alternativas pretende-se potencializar os recursos de investimento em reabilitação de redes de distribuição de água, de maneira a garantir o melhor retorno do investimento.

Foi realizada a análise dos resultados apresentados pela Tabela 5.5: Alternativa 1 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação e pela Tabela 5.6: Alternativa 2 - Priorização dos setores de abastecimento para reabilitação das redes de distribuição em conjunto com as informações apresentadas pelos mapas critério dos três setores classificados como prioritários em cada alternativa, para testar a eficácia da metodologia.

## **Setores de Abastecimento Casa Verde e Santana**

Os dois setores de abastecimento apresentam o percentual de redes a reabilitar (PRR) na faixa de 43% do total de redes do setor, indicando uma forte relação entre a condição da infraestrutura e o desempenho negativo dos indicadores. As ocorrências de vazamentos em redes, reclamações de qualidade da água e insuficiência de pressão estão concentradas nas redes implantadas antes da década de 1970. Observa-se a ocorrência de reclamações de qualidade da água e insuficiência de pressão em redes implantadas após 1970, porém interligadas a redes antigas, o que indica que o desempenho dessas redes é afetado negativamente pelas redes antigas, fato que ratifica a necessidade de reabilitação de todo um agrupamento de redes, evitando-se a operação conjunta de redes reabilitadas com redes antigas. É possível identificar trechos de redes com diversas ocorrências de mesma natureza, exemplo os vazamentos de rede, assim como trechos antigos sem nenhuma ocorrência registrada. Na fase de projeto executivo esta condição poderá orientar entre a renovação ou substituição dos trechos.

## **Setor de Abastecimento Mirante**

O setor de abastecimento Mirante apresenta um percentual de redes a reabilitar (PRR) de 36,16%, sendo o 4º maior índice entre os setores priorizados, e o 2º maior Índice de Perdas. As ocorrências estão concentradas nas redes implantadas antes de 1970, principalmente os vazamentos de rede em áreas com controle de pressão, demonstrando uma forte relação entre a condição da infraestrutura e as perdas reais do setor.

## **Setor de Abastecimento Vila Jaguará**

A maior parte das ocorrências está concentrada nos agrupamentos de redes implantadas antes de 1970. Os problemas mais relevantes do setor são o Índice de Vazamentos de Rede, 3º maior entre os setores priorizados, e o Índice de Reclamações de Insuficiência de Pressão, 5º maior entre os setores priorizados. As redes implantadas após 1970 apresentam poucas ocorrências, apenas em alguns trechos observa-se a repetição de ocorrências de mesma natureza, principalmente vazamentos de rede, que podem indicar algum problema estrutural localizado e não relacionado com a idade da rede. Apesar desses trechos não estarem classificados nas premissas do programa, deverão ser analisadas as causas da incidência de vazamentos, e se for o caso, incluídos no planejamento para substituição.

## **Setores de Abastecimento Vila Medeiros, Freguesia do Ó e Vila Maria**

Os setores de abastecimento apresentam um elevado percentual de redes de distribuição com idade de implantação que indicam a necessidade de reabilitação, 41,52% para o setor Vila Medeiros, 31,98% para o setor Freguesia do Ó e 31,73% para o setor Vila Maria, respectivamente o 3º, o 5º e o 6º setores com maior percentual de redes a reabilitar (PRR). Porém, quando são analisados os indicadores de desempenho dos setores observa-se que este elevado percentual não está afetando significativamente o desempenho, ou seja, as infraestruturas dos setores apesar de envelhecidas apresentam um desempenho superior, quando comparadas com setores de abastecimento com predominância de infraestruturas implantadas mais recentemente, não sendo alvos de priorização para a reabilitação em curto prazo.



## 6. CONCLUSÕES

Foram avaliadas duas alternativas para o planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água em larga escala. Sempre se buscaram alternativas viáveis de aplicação em uma empresa ou autarquia de saneamento. Isto é comprovado pelas aplicações no planejamento do programa de reabilitação de redes da Unidade de Negócio Norte da Sabesp. Assim, o trabalho de pesquisa trouxe as seguintes contribuições: a) classificar os materiais que compõem as redes de distribuição e a deterioração do seu desempenho ao longo do tempo; b) apresentar conceitos para o planejamento da reabilitação das redes de distribuição de água; c) apresentar os principais métodos de reabilitação de redes de distribuição de água utilizados pelo mercado.

A deterioração dos sistemas de distribuição de água e suas consequências são grandes desafios para os operadores desses sistemas. Os principais problemas são o aumento dos custos operacionais e o prejuízo da imagem da empresa associados ao aumento do índice de perdas de água e aos problemas de abastecimento e de qualidade da água distribuída. Além disto, as manutenções corretivas constantes, na maioria dos casos, não corrigem o problema apenas o mantêm sob controle parcial.

A melhor maneira de intervir nessas condições é a reabilitação da infraestrutura, atuando na causa dos problemas e não somente nas consequências. Também é uma oportunidade para a correção de diversos problemas estruturais simultaneamente e de modernização do sistema de distribuição, que possuem, geralmente, elevadas idades de implantação.

Porém, a reabilitação da infraestrutura, 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. Isto poderá ser executado 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 da infraestrutura, ou seja, se corretivo ou preventivo, as ferramentas de gestão e os dados cadastrais e históricos que permitam a tomada de decisão.

Durante a revisão bibliográfica sobre o tema do trabalho confirmou-se a relevância do estudo e não foi verificado trabalho com abordagem semelhante. A reabilitação dos sistemas de distribuição de água ainda é uma questão controversa para os gestores das empresas e autarquias de saneamento, pois se há consenso sobre os efeitos negativos gerados pela deterioração das redes de distribuição, não há a mesma certeza quanto à decisão de reabilitá-las, devido aos custos envolvidos.

Outro ponto de relevância do trabalho é a sua aplicação em um caso real de planejamento de reabilitação de redes, onde os gestores se deparam com uma grande extensão de redes que requerem ações de reabilitação, a restrição de recursos financeiros, diversos problemas operacionais para a serem resolvidos, o desafio de reduzir as perdas e a necessidade de viabilizar o empreendimento.

Os métodos aqui apresentados e justificados pelo emprego na Unidade de Negócio Norte da Sabesp propiciam ao gesto um conhecimento detalhado das características das redes do sistema de distribuição, do seu desempenho e da satisfação dos clientes com o padrão do serviço fornecido. Assim, permitindo a seleção das áreas objeto de reabilitação com confiabilidade e possibilitando o sucesso do programa.

Como sequência deste trabalho, destaca-se a execução da reabilitação das redes de distribuição de água, de acordo com a priorização sugerida, e o acompanhamento da evolução dos indicadores de desempenho dos setores de abastecimento. Ao fim deste processo, será possível confirmar a eficácia da metodologia, assim como a apuração do tempo de retorno do investimento realizado.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

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.

AZEVEDO NETTO *et al.* . **Manual de hidráulica**. 8° Ed. São Paulo, Editora Blucher, 1998. p. 148 – 153.

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.

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.

BOULOS, P. F. *et al.* . Optimal desing and rehabilitation of water distribution systems. **Water Resources**, vol. n. 2000. p. 1.

CHAMA NETO P. J. Redes de distribuição de água. In: Tsutiya, M.T. **Abastecimento de água**. 2º Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. p. 431 – 438.

CHEUNG P. B.; REIS L. F. R. Estudo de objetivos múltiplos para reabilitação otimizada de sistemas de distribuição de água. **Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, João Pessoa, Brasil, Junho 2006. p. 2.

COSTA, R. H. P. G.; TELLES, D.D. **Reúso da Água: conceitos, teorias e práticas**. 1º Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

EVINS, C. *et al.* . Planning the rehabilitation of water distribution system. Marlow, England. **Water Research Center, 1989**. p. 3 – 7, 17, 19, 153, 154.

ENGELHARDT, M.O. *et al.* . Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective. **Urban Water 2, 2000**. p153, 154.

FLORES, Valdir; PIEROZAN, R.S. DMAE – 20 years of experience in polyethylene pipes, the way of reducing losses in wáter distribution systems. In: **Water Loss 2010**, São Paulo, Brazil, June 2010.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

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.

GRIGG, NEIL S. Condition Assessment of water distribution pipes. **Journal of Infrastructure Systems**. September, 2006. p. 147, 148, 152, 153.

GRILO, T.M. Técnicas de reabilitação de sistemas de abastecimento de água. Metodologia conceptual e aplicacao a casos de estudo. Dissertação de Mestrado. **Instituto Superior Técnico de Lisboa**, 2007. p.5.

HADZILACOS, T. *et al.* . UtilNets: a water mains rehabilitation decision-support system. **Computers, Environment and Urban System**. Elsevier Science 2000. p 217, 218.

KLEINER, Y. *et al.* . Water distribution network renewal planning. **Journal of Computing in Civil Engineering**. January 2001. p.15.

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.

MARTINS,G; SOBRINHO, P.A. Abastecimento de água. In: Tsutiya, M.T. **Abastecimento de água**. 2º Ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. p. 4.

POULTRON, M. *et al.* . Evaluating risk of multi-segment pipes for prioritizing pipe rehabilitation. **World Enviromental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers**, Kansas City, May 2009. p. 20, 21.

RAMOS, A.N.; TARDELLI, Jairo. Rehabilitation of Water Networks in the Metropolitan Region of São Paulo. In: **Water Loss 2010**, São Paulo, Brazil, June 2010. p 8.

SABESP. Perdas – Nível Técnico e Gerencial. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**, 2005. p.12,13.

SABESP. Programa de Desenvolvimento Operacional – Reabilitação de Redes de Água na Metropolitana. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**, 2008. p. 3, 9.

SARZEDAS, G. L. Planejamento para substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação de Mestrado. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2009. p.20.

SELVAKUMAR, ARIAMALAR *et al.* . Costs for water distribution system rehabilitation. **Journal of Water Resources Planning and Management**. July/August 2002. p.303.

TARDELLI J. F. Controle e redução de perdas. In: Tsutiya, M. T. Abastecimento de água. 2º Ed. São Paulo: **Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2005. p. 496.

TANYIMBOH, T.; KALUNGI, P. Optimal long-term desing, rehabilitation and upgrading of water distribution networks. **Engineering Optimization**. Vol. 40, nº 7. July 2008. p.637.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. Water Loss Control. 2º ed. EUA. **McGraw-Hill**, 2008. P. 345 – 350.

VENTURINI, M. A. A. G. Metodologia de análise e decisão multicriterial para reabilitação de sistemas de abastecimento de água. Tese de Doutorado.

**Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas,**  
2003. p. 140, 237, 238.

ZUFFO, A. C., Notas de aula, disciplina Modelos de auxílio à tomada de decisão,  
**Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas,**  
2009.

ZUFFO, A.C.; GENOVEZ A.M. Método multicriterial utilizado como indicador da  
qualidade de água. In: **XXII Congresso Latino Americano de Hidráulica,**  
Ciudad de Guavana, 2006.



## **Anexo A – Questionário**

Prezado(a) Senhor(a),

Solicitamos a colaboração de V. Sa. referente ao preenchimento de um questionário que tem por finalidade de definir os critérios adotados em um estudo de planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água em larga escala. Este questionário faz parte de um estudo de caso de mestrado em Recursos Hídricos e está sendo desenvolvido na Universidade Estadual de Campinas.

Trata-se de uma metodologia para seleção das áreas objeto de reabilitação através da análise de indicadores de desempenho e do histórico de dados operacionais, factíveis a uma empresa de saneamento.

Por isso, a contribuição de V. Sa. será muito importante para que possamos atribuir uma boa ponderação a cada um dos critérios considerados. Essa avaliação representará o grau de importância que cada critério tem sobre os demais na opinião dos diversos especialistas consultados.

O estudo corresponde a uma avaliação do grau de relevância de cada critério, relacionados ao desempenho das redes de distribuição, para a definição do objetivo que deve ser atingido por um programa de reabilitação de redes de distribuição de água, visando à adequação dos serviços prestados aos consumidores e a redução dos custos operacionais da empresa.

A título de situar o decisor é descrito resumidamente o cenário em estudo.

Parte-se da definição que o principal objetivo de um programa de reabilitação de redes de distribuição de água deve ser a redução das perdas reais, de maneira a dar sustentação financeira ao programa. O decisor deve atribuir notas aos critérios, de acordo com o seu grau de relevância para a obtenção deste objetivo.

## **Instrução para o preenchimento das Tabelas**

1. São apresentados a seguir, uma tabela que com os critérios e informações que julgamos oportunos para a construção da matriz a ser adotada no método de tomada de decisão.

2. As células devem ser preenchidas com um valor contido no intervalo de 1 a 10, que melhor represente sua opinião sobre a importância relativa de cada critério, ou seja, os critérios menos relevantes na tomada de decisão devem receber notas baixas e os critérios mais relevantes recebam notas altas.

3. Se desejar fazer algum comentário ou dar sugestões poderá utilizar o espaço em branco da tabela.

Certo de contar com a sua colaboração, antecipadamente agradecemos:

Eng<sup>o</sup> Alex Orellana      e      Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho

Critério	Descrição do Critério	Nota de 1 a 10
Redução das perdas reais	Refere-se à redução das perdas reais causadas principalmente pelos vazamentos inerentes do sistema de distribuição. O indicador quantifica as perdas de acordo com a IWA	
Qualidade da água	Refere-se à recuperação da qualidade da água, prejudicada pelo grau de tuberculização das redes de distribuição. O indicador quantifica o número de reclamações de qualidade da água, proveniente dos clientes	
Insuficiência de pressão	Refere-se à recuperação da capacidade hidráulica das redes de distribuição, eliminando perdas de carga excessivas. O indicador quantifica o número de reclamações de pressão insuficiente da água, proveniente dos clientes	
Número de vazamentos em redes	Refere-se à redução dos vazamentos de rede, possíveis de identificação, causados pela inadequação da infraestrutura. O indicador quantifica os vazamentos em redes de acordo com a IWA	
Eficiência energética	Refere-se à redução do consumo de energia elétrica causado pela necessidade de bombeamento para compensar a perda de carga, em função do grau de tuberculização das redes de distribuição. O indicador quantifica o consumo de energia elétrica no processo de distribuição de água	
Sugestões		

## Anexo B: Notas atribuídas aos critérios pelos decisores

Notas Atribuídas aos Critérios - DM 1 a 20: Profissionais de Empresas de Saneamento - DM 21 a 24: Acadêmicos																										
Critério	Descrição do Critério	Notas de 1 a 10																								Média
		DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM7	DM8	DM9	DM10	DM11	DM12	DM13	DM14	DM15	DM16	DM17	DM18	DM19	DM20	DM21	DM22	DM23	DM24	
Redução das perdas reais	Refere-se à redução das perdas reais causadas principalmente pelos vazamentos inerentes do sistema de distribuição. O indicador quantifica as perdas de acordo com a IWA	10	10	10	8	9	10	9,5	8	8	9	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	5	10	9,31
Qualidade da água	Refere-se à recuperação da qualidade da água, prejudicada pelo grau de tuberculização das redes de distribuição. O indicador quantifica o número de reclamações de qualidade da água, proveniente dos clientes	8	7	7	7	8	7	10	7	5	6	5	10	8	8	6	8	5	8	6	6	8	1	7	8	6,92
Insuficiência de pressão	Refere-se à recuperação da capacidade hidráulica das redes de distribuição, eliminando perdas de carga excessivas. O indicador quantifica o número de reclamações de pressão insuficiente da água, proveniente dos clientes	6	6	8	9	6	8	9	7	6	7	8	5	9	10	6	6	5	6	8	8	6,5	1	10	9	7,06
Número de vazamentos em redes	Refere-se à redução dos vazamentos de rede, possíveis de identificação, causados pela inadequação da infraestrutura. O indicador quantifica os vazamentos em redes de acordo com a IWA	6	9	10	10	7	9	9,5	9	7	8	5	10	8	10	9	10	7	10	10	9	8,5	10	10	10	8,79
Eficiência energética	Refere-se à redução do consumo de energia elétrica causado pela necessidade de bombeamento para compensar a perda de carga, em função do grau de tuberculização das redes de distribuição. O indicador quantifica o consumo de energia elétrica no processo de distribuição de água	4	7	8	2	7	10	7	8	4	7	6	8	9	7	8	6	8	5	6	7	8	5	7	7	6,71