

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

**IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA DE REDUÇÃO DE PERDAS EM**  
**SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**RODOPIANO MARQUES EVANGELISTA**

**Orientador: Prof. Dr. JOSÉ GERALDO PENA DE ANDRADE**

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 obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos

**Campinas**

**Fevereiro/2004**

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

**IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA DE REDUÇÃO DE PERDAS EM**  
**SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**RODOPIANO MARQUES EVANGELISTA**

**Campinas**

**Fevereiro/2004**

Atesto que essa é a versão definitiva da  
dissertação/tese.  
Prof. Dr.   
Matricula 059331 - 05/11/04

UNIDADE	BC
CHAMADA	UNICAMP
	Ev14i
EX	
OMBO BC/	01450
ROC.	16-86-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
REÇO	11.00
ATA	04.1.05
CPD	

184P

ibid 335995

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

Ev14i Evangelista, Rodopiano Marques  
Implantação de programa de redução de perdas em sistemas de distribuição de água / Rodopiano Marques Evangelista. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: José Geraldo Pena de Andrade.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo.

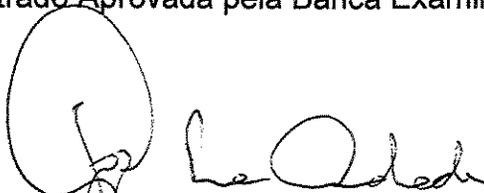
1. Centrais de abastecimento. 2. Abastecimento de água nas cidades. 3. Abastecimento de água. 4. Hidráulica. 5. Hidrometria. I. Andrade, José Geraldo Pena de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil arquitetura e Urbanismo. III. Título.

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

**IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA DE REDUÇÃO DE PERDAS EM**  
**SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

**RODOPIANO MARQUES EVANGELISTA**

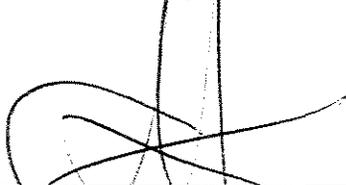
Dissertação de Mestrado Aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. José Geraldo Pena de Andrade, Dr.  
Presidente e Orientador / FEC - UNICAMP



Prof. Podalyro Amaral de Souza, Dr.  
EP - USP



Prof. Edevar Luvizotto Júnior, Dr.  
FEC - UNICAMP

Campinas, 18 de fevereiro de 2004

200500914

*Agradeço ao Grande Arquiteto do  
Universo - "DEUS", à minha esposa,  
minha filha, ao meu irmão e aos meus  
pais*

## AGRADECIMENTOS

Ao amigo e professor, Dr. José Geraldo Pena de Andrade, por sua dedicação e clareza na orientação de meu trabalho e por se manter sempre pronto e prestativo, nunca impondo mas dialogando, propiciando um bom resultado para a apresentação desta tese.

Aos professores e amigos, Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa e Dr. Edevar Luvizotto Júnior, pelo desprendimento e companheirismo demonstrados na forma de sugestões apresentadas para o aprimoramento deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil, que me deram apoio durante o programa de Pós-Graduação, atenção e préstimos durante os anos de convivência.

Às grandes amigas, Paula e Miriam, funcionárias da Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, pela orientação e préstimos.

Aos grandes amigos e companheiros de trabalho, Alex, Paulo, Katia, Pedro, Marcelo, Wanderley, Luiz Renê e Tarciso pelo incentivo e ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, Hélio e Caviciolli, da Ercon Engenharia, pelo apoio e auxílio nos dados fornecidos para a defesa desta tese.

À minha família, em especial aos meus avós, pelo sentido da vida, embora em muitos momentos de trabalho, tenha necessitado ausentar-me de nosso convívio.

Aos funcionários do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas, pela oportunidade de poder utilizar as instalações e as informações necessárias dos dados experimentais.

A Deus, por me ajudar a cumprir mais uma etapa.

---

*“O Senhor é o meu pastor; nada me faltará.  
Deitar-me faz em pastos verdejantes; guia-me  
mansamente a águas tranqüilas.  
Refrigera a minha alma; guia-me nas veredas da justiça  
por amor do seu nome.  
Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não  
temerei mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o  
teu cajado me consolam.  
Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus  
inimigos; unges com óleo a minha cabeça, o meu cálice  
transborda.  
Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão  
todos os dias da minha vida, e habitarei na casa do Senhor  
por longos dias.”*

*(Salmo 23)*

## RESUMO

O abastecimento de água é um fator de extrema importância para o bem-estar da sociedade e, com o crescimento das cidades, os sistemas foram tornando-se cada vez mais complexos e diversificados, dificultando o controle e a operação como um todo.

Com o elevado incremento da demanda de consumo nos últimos anos e também pelo uso irracional dos recursos hídricos houve a necessidade por parte das empresas de saneamento de todo mundo implantar programas de redução de perdas inseridos em seus sistemas, tais como: planejamento, cadastro técnico de informações confiáveis de água e esgoto, comandos de telemetria, aferição de hidrômetros, pesquisa de vazamentos, setorização etc.

Neste contexto, houve também a necessidade destes elementos serem operados de forma integrada tornando cada vez mais eficaz o gerenciamento por parte destas empresas.

**Palavra-Chave:** Programa de Redução de Perdas, Sistema de Abastecimento, Simulador de Rede Hidráulica em Regime Permanente

## **ABSTRACT**

Water supply is an extremely important factor for the well being of society. As cities grew larger, water supply systems became more and more complex and diversified, making it difficult to control and operate them as a whole.

With the high increment in consumption demand over the last years and the irrational use of water resources, public utilities all around the world felt the need to implement loss reduction programs, placed around their systems, such as planning, water supply and sewerage system reliable information technical dossier, telemetry commands, water-meter gauging, leak search, sectorization etc.

In such context, it also became necessary for these elements to be operated in more integrated ways, what has made the management of such programs more efficient on the part of public utilities.

**Key words:** Water Supply, Loss Reduction Programs, Network Simulator, Permanent Basis

## SUMÁRIO

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	viii
Abstract .....	ix
Lista de Figuras .....	xiii
Lista de Tabelas .....	xvii
Lista de Gráficos .....	xviii
Lista de Siglas .....	xix
Lista de Símbolos .....	xx
1. Introdução .....	1
2. Objetivos .....	9
3. Modelo Unificado para Análise de Escoamento Transitório, Oscilatório, Permanente e em Período Extensivo em Condutos Forçados .....	11
3.1 Modelos para Análise de Escoamentos Fluidos em Condutos Forçados .....	12
3.2 A Generalidade do Equacionamento do Modelo Dinâmico Inercial Elástico .....	15
3.3 A Solução do Modelo Dinâmico Inercial Elástico .....	17
3.4 Modelo Topológico .....	21

3.5 Modelo Matemático .....	22
3.6 Tratamento dos ENOS Não-Tubos no Modelo Unificado .....	25
4. Modelos Matemáticos Aplicados ao Sistema de Abastecimento .....	28
4.1 Combate à Redução de Perdas .....	28
4.1.1 Setorização da rede de distribuição .....	31
4.1.2 Determinação das perdas físicas de água .....	32
4.1.3 Controle e estabilização das pressões na rede .....	34
4.1.4 Pesquisa de vazamentos .....	36
4.1.5 Reparos de vazamentos .....	38
4.1.6 Instalação e operação dos equipamentos de telemetria .....	40
5. Indicadores de Desempenho .....	43
5.1 Terminologia Modernizada para Utilização Internacional .....	44
5.2 A importância da Medição Confiável .....	47
5.3 Fatores que Influenciam as Perdas de Água Reais .....	49
5.4 Indicadores do Desempenho Técnico para as Perdas de Água Reais .....	51
5.4.1 Indicadores de desempenho tradicionais .....	51
5.4.2 Percentagem do volume aduzido no sistema .....	52
5.5 Indicadores de Desempenho Financeiro .....	55
6. Controle Inteligente de Pressão .....	58
6.1 Determinação da Dinâmica da Rede x Localização de Vazamentos ...	64
6.2 Comparação de Custo x Benefício .....	67
7. Conceito de Controlador de VRP para Estabilização de Pressões	

de Distribuição .....	69
7.1 Controladores de Circuito Aberto ou de “ <i>OPEN LOOP</i> ” .....	70
7.2 Controladores Baseados no Tempo .....	72
7.3 Controladores de Circuito Fechado ou de “ <i>CLOSE LOOP</i> ” .....	73
8. Método e Aplicações .....	74
8.1 Estudo de Caso .....	76
8.1.1 Aplicação do modelo “ <i>SIMULA</i> ” .....	78
8.1.2 Controle de transmissão dos dados .....	110
8.1.3 Resultados obtidos com aplicação do modelo “ <i>SIMULA</i> ” .....	110
9. Conclusão .....	114
Referências Bibliográficas .....	116
Anexos .....	120
Anexo I .....	122
Anexo II .....	130

## LISTA DE FIGURAS

01. Modelos para análise de escoamentos fluidos em condutos forçados ....	13
02. Esquema da malha de cálculo .....	17
03. Esquema de um NO genérico .....	22
04. Esquema de um ENO não-tubo genérico .....	23
05. Tubulação da VRP – 300mm com macromedidor e “ <i>DATA LOGGER</i> ” (DMAE-Poços de Caldas) .....	33
06. Vazamento da adutora no setor VRP-Cidade provocado por excesso de pressão (DMAE-Poços de Caldas) .....	35
07. Vazamento originado por excesso de pressão – Setor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	39
08. Execução de manutenção em vazamento (DMAE-Poços de Caldas) .....	39
09. Tela de telemetria utilizada pelo DMAE para controle da distribuição de água no município de Poços de Caldas–Sistema ELIPSE-SCADA ....	41
10. Tela do programa de telemetria utilizado pelo DMAE – ELIPSE-SCADA - para o subsetor estudado – VRP-Cidade .....	42
11. Componentes do balanço hídrico .....	45
12. Consumo autorizado e perdas de água .....	46
13. Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com	

identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição caudal .....	48
14. Laboratório de aferição de hidrômetros (DMAE-Poços de Caldas) .....	49
15. Metodologia recomendada para avaliação do desempenho financeiro em termos de perdas comerciais .....	56
16. Medidor de pressão e vazão com “ <i>DATA LOGGER</i> ” para localização de vazamentos (DMAE-Poços de Caldas) .....	65
17. Geofonamento eletrônico (DMAE-Poços de Caldas) .....	66
18. VRP comandada a distância via telefone na região metropolitana de São Paulo (SABESP-São Paulo) .....	75
19. Central de Supervisão e Controle – CSC (DMAE-Poços de Caldas) .....	77
20. Setorização Atual sem a Válvula .....	79
21. Setorização Atual sem a Válvula .....	80
22. Setorização Atual sem a Válvula .....	81
23. Setorização Atual sem a Válvula .....	82
24. Resultado da Setorização Atual sem a Válvula .....	83
25. Resultado da Setorização Atual sem a Válvula .....	84
26. Resultado da Setorização Atual sem a Válvula .....	85
27. Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O .....	86
28. Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O .....	87
29. Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O .....	87
30. Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O .....	88
31. Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O .....	89

32. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O ...	90
33. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O ...	91
34. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O ...	91
35. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH <sub>2</sub> O ...	92
36. Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O .....	93
37. Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O .....	94
38. Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O .....	94
39. Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O .....	95
40. Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O .....	96
41. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O ...	97
42. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O ...	98
43. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O ...	98
44. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH <sub>2</sub> O ...	99
45. Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O .....	100
46. Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O .....	101
47. Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O .....	101
48. Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O .....	102
49. Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O .....	103
50. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O ...	104
51. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O ...	105
52. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O ...	105
53. Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH <sub>2</sub> O ...	106
54. Registro de pressão no trecho da VRP-Cidade (Registrador DMAE-	

Poços de Caldas) .....	107
55. Vazamentos detectados por geofonamento – Setor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	111
56. Vazamentos encontrados no passeio dos arruamentos no subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	112
57. Vazamentos encontrados nos arruamentos do subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	112
58. Vazamentos encontrados no cavalete dos hidrômetros (micromedidores) do subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	113
59. Vazamentos encontrados no registro de passeio no subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas) .....	113

**LISTA DE TABELAS**

01. Valores do NBP em l/ramal/dia ..... 55

02. Dados Característicos do Subsetor ..... 109

**LISTA DE GRÁFICOS**

01. Gráfico de pressão de saída da VRP .....	62
02. Gráfico de pressão de saída da VRP .....	62
03. Pressão de saída .....	63
04. Variação de pressão na VRP .....	63

.....

## LISTA DE SIGLAS

CSC – Central de Supervisão e Controle

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra à Seca

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IWSA – Associação Internacional do Serviço de Água

MOC – Método das Características

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

NBP – Nível Base de Perdas

PRA – Perdas Reais Anuais

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SI – Sistema Internacional de Pesos e Medidas

SEREC – Serviços de Engenharia Consultiva Ltda.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

VRP – Válvula Redutora de Pressão

## LISTA DE SÍMBOLOS

a	-	Celeridade	$LT^{-1}$
A	-	Área do Conduto	$L^2$
B	-	Constante do Método das Características	$L^{-2}T$
$B_N$	-	Constante Associando ao Nó	$L^2T^{-1}$
C	-	Constante do Método das Características	L
D	-	Dimensão Geométrica Característica	L
	-	Diâmetro do Tubo	L
E	-	Constante relativa ao ENO não-tubo genérico	$L^3T^{-1}$
$E_N$	-	Constante relativa ao volume de controle no nó	$L^3T^{-1}$
f	-	Coefficiente de Atrito	1
	-	Frequência	$T^{-1}$
g	-	Aceleração da Gravidade	$LT^{-2}$
H	-	Carga Hidráulica	L
$H_{P1}$	-	Carga Aplicada ao Nó a Montante	L
$H_{P2}$	-	Carga Aplicada ao Nó a Jusante	L
$H_R$	-	Carga Aplicada ao Nó do Período Futuro do Reservatório	L
$H_{RE}$	-	Carga Aplicada ao Nó do Período Atual do Reservatório	L
$L_i$	-	Comprimento da Tubulação	L
MC	-	Tubos que convergem do Nó	
MD	-	Tubos que divergem do Nó	

$N_i$	-	Nó de Montante	1
$Q$	-	Vazão	$LT^3$
$Q_D$	-	Vazão de demanda variável com o tempo	$L^3T^{-1}$
$Q_{PE}$	-	Vazão que passa pelo ENO não-tubo	$LT^3$
$Q_R$	-	Vazão do Período Futuro	$LT^3$
$Q_{RE}$	-	Vazão do Período Atual	$LT^3$
$T$	-	Momento	FL
	-	Tempo	T
$\Delta t$	-	Intervalo de Tempo	T
$\partial H$	-	Diferencial de Carga	L
$\partial Q$	-	Diferencial de Vazão	$LT^3$
$\partial t$	-	Diferencial de Tempo	T
$\partial x$	-	Diferencial de Distância Medida ao Longo do Conduto	L
$\Sigma$	-	Somatória	

## 1. INTRODUÇÃO

As crises ambientais vivenciadas pela humanidade nas últimas décadas mobilizaram órgãos públicos governamentais e toda a sociedade na busca de meios e ações para que a água, a fonte mais importante para sobrevivência, possa continuar a ser disponibilizada de forma acessível e racional. Quando uma população é mal servida de suprimento de água e coleta de esgoto, torna-se inevitável a tendência à estagnação ou ao retrocesso caracterizando, desta forma, o saneamento básico como insumo fundamental ao bem-estar humano.

Com o crescimento dos centros urbanos, a escassez de mananciais próximos com quantidade e qualidade de água adequadas ao atendimento das demandas nos sistemas de distribuição estão se tornando cada vez mais complexos e com seus custos mais elevados, dificultando a operação, a manutenção e a otimização do controle operacional.

A solução do problema deste controle não é simples e especialistas do mundo todo têm se dedicado ao desenvolvimento de modelos matemático-computacionais confiáveis para permitir simulações do comportamento dinâmico desses sistemas na

fase de projeto e, principalmente, na fase de operação para o monitoramento em tempo real. Esses modelos permitem simular a operação em tempo extensivo, possibilitando verificar e definir regras operacionais adequadas à otimização na adução e distribuição de água.

Os avanços tecnológicos em eletrônica possibilitam transmitir as operações de uma central de comando para os elementos de controle inteligentes (válvulas de controle, bombas de rotação variável etc.) através de redes telemétricas, substituindo a operação manual e, em alguns casos, a comunicação via rádio. Da mesma forma que se comanda a operação, os dados reais da resposta do sistema são recebidos na central de comando, para análise e definição da próxima operação a ser efetuada. E, assim, se estabelece o controle operacional em tempo real.

Além da redução de custos operacionais, aumenta-se a confiabilidade do sistema de abastecimento pois, com o acompanhamento em tempo real, qualquer anormalidade pode ser detectada quase que imediatamente e a definição de medidas corretivas é prontamente restabelecida.

Para concretizar a “operação ótima”, previamente simulada, devemos conhecer perfeitamente os limites físicos dos elementos de controle e se as conseqüências de suas interferências no sistema são adequadas para as especificações dos componentes deste mesmo sistema (por exemplo, classe de pressão dos tubos).

Como vem ocorrendo em quase todo mundo neste final de século, face ao aumento das necessidades globais de consumo, causado pela aceleração do processo de urbanização, conseqüência da migração crescente das populações camponesas para as cidades, os responsáveis pelo serviço prestados na área de abastecimento são obrigados a realizar novos e pesados investimentos, buscando o precioso líquido cada vez mais longe, como também melhorando as condições de seu tratamento prévio, exigidos pela crescente poluição das fontes naturais de suprimento.

Quando este problema surgiu nos países desenvolvidos, sobretudo no norte da Europa, onde são mais escassas as fontes de suprimento, foram desenvolvidas técnicas mais modernas e eficientes para promover a redução das perdas físicas de água nos sistemas de distribuição, que sempre existem e que representam o maior fator de encarecimento dos custos de abastecimento público. Como forma imediata de aumentar a capacidade de abastecimento, foram adotadas em conjunto com as companhias responsáveis, campanhas sistemáticas de esclarecimento visando a redução do desperdício e uso inadequado da água.

As perdas físicas de água nos sistemas de distribuição são devidas aos vazamentos que ocorrem em tubulações avariadas por choques ou movimentos do solo, corrosão química ou eletrolítica ou, ainda, simples envelhecimento dos materiais constitutivos das tubulações e/ou das suas juntas.

Como as redes de distribuição são (na sua maior parte) subterrâneas, apenas os vazamentos de grande porte são percebidos imediatamente, quando a água perdida aflora ou provoca erosão que destrói o pavimento da superfície. Entretanto, um grande número de pequenos vazamentos não são percebidos, sobretudo quando situados próximos a redes de drenagem ou esgoto, ou mesmo de canais, que minimizam os efeitos da erosão pela imediata absorção da água – vazamentos esses que perduram por longos períodos, ocasionando consideráveis prejuízos.

De modo geral, pode-se afirmar que as perdas físicas de água nos vazamentos representam, em média, 25% do volume total “captado, tratado e aduzido”, por um sistema de abastecimento, quando a rede não dispõe de um sistema de controle adequado. Na cidade de São Paulo, por exemplo, devido à grande extensão e idade de sua rede de abastecimento, estima-se que esse valor esteja em torno de 30%.

Para que se tenha idéia do quanto estas perdas representam, basta verificar que elas poderiam suprir as necessidades de uma população igual ao produto do percentual das perdas pela população atendida pelo sistema. No caso da capital paulista, seriam cerca de três a quatro milhões de pessoas segundo THEESS e QUEIROZ JÚNIOR (1996), população esta superior à de todas as cidades européias, com exceção de Paris, Londres e Moscou.

A quantidade de água efetivamente perdida num sistema de adução e distribuição varia de entidade para entidade, dependendo de fatores locais derivados

das características topográficas e urbanísticas (cotas e características geotécnicas do terreno, comprimento total de condutos, número de ramais domiciliares, valores de pressão na rede etc.) e de fatores que têm a ver com o nível de manutenção e operação do sistema por parte da entidade gestora (idade e estado dos condutos, materiais utilizados, eficácia do controle de pressões excessivas etc.).

A quantidade de água perdida é um indicador importante da eficiência de uma entidade gestora, tanto em termos absolutos num dado momento, como em termos de tendência ao longo dos anos. Volumes anuais altos e com tendência para aumentar são indicadores de ineficácia de planejamento e construção, bem como de deficiente manutenção e operação do sistema. É importante entender, desde logo, que as perdas de água englobam as perdas reais ou físicas (fugas e extravasamentos) e as perdas aparentes ou não-físicas, afetando tanto o desempenho técnico, como o desempenho das entidades gestoras. Por esta razão, é necessário definir neste domínio, indicadores de desempenho ajustados às aplicações técnicas, bem como de características financeiras. Os primeiros são relevantes para avaliação do estado da infra-estrutura e do equipamento de medição; os segundos representam as perdas comerciais.

Os serviços de abastecimento de água no Brasil tiveram, de maneira geral, ganhos substantivos de eficiência ao longo das décadas de 70 e 80. No entanto, a crise de investimentos que se abateu sobre a maioria deles, a partir da década de 90, determinou uma paralisação ou uma drástica desaceleração desse processo. Alguns serviços conseguiram, apesar dessas restrições, continuar em uma trajetória de

melhoria enquanto outros sofreram grandes perdas de capacidade técnica que ainda não havia amadurecido o suficiente. Nessas condições, não seria razoável adotar uma política generalizada de incentivos à aquisição de instrumentos sofisticados de informação, antes de definir o real estágio de desenvolvimento dos serviços, no que se refere ao conhecimento de demanda, e só, a partir daí, traçar uma linha de ação que atenda às necessidades detectadas.

Além desses fatores, temos que levar em conta que as perdas de água nada mais são do que a parcela da adução ou da produção da mesma, que não foi faturada, incluindo os índices de perda na distribuição (volume disponibilizado, volume utilizado), o índice de perda de faturamento, da produção, na adução, no tratamento e o de perda por ligação.

No Brasil, as sete causas de perdas são elencadas da seguinte maneira:

- a) determinação do volume captado aduzido e produzido;
- b) determinação do volume micromedido e estimado;
- c) extravasamentos;
- d) vazamentos;
- e) consumos operacionais excessivos;
- f) consumos especiais e consumos clandestinos.

A classificação dos índices de perdas pode também ser atribuída da seguinte forma: menos de 20% - perdas excelentes; entre 20 e 30% - perdas ótimas; entre 30 e 40% - perdas boas; entre 40 e 50% - perdas regulares; mais de 50% - perdas péssimas.

As origens das perdas físicas estão relacionadas geralmente com falta de treinamento, falhas de operação, manutenção, projeto, obra, compra, estocagem, transporte, plano de cargos e salários, financeiras, planejamento, de comunicação social (campanhas na hora errada) etc.

A proposta para se implantar o programa de redução de perdas seria utilizar um desses passos em áreas já previstas, como também gerenciar a redução de pressões pré-estabelecidas. Para isso, iremos estudar a aplicação de válvulas redutoras de pressão no ponto afluxo de um determinado subsetor pré-definido, aonde monitoraremos pressões e vazões antes da instalação e posteriormente quando a mesma estiver em operação, considerando que o estudo a ser realizado será em regime permanente, através de modelo computacional.

Quanto a investimentos a fundo perdido para apoiar a gestão de recursos hídricos, tanto no setor elétrico como no de saneamento ambiental, foi lançado pelo Ministério das Cidades, a partir de novembro de 2003, o “Processo Público de Projetos de Conservação do Uso Racional de Energia Elétrica e Água no Setor de Saneamento Ambiental”, que visa à liberação de recursos através da Eletrobrás (Programa de Redução de Perdas – Procel) onde as empresas estatais e municipais podem se

cadastrar até janeiro de 2004, tornando-se aptas a receber, dentro de uma linha de atividades, recursos no valor máximo de R\$ 700.000,00.

## 2. OBJETIVOS

Utilização de um modelo computacional (Simulador) desenvolvido pelo Prof. Dr. Edevar Luvizotto Júnior, Unicamp, para estudar um subsetor de distribuição de água do município de Poços de Caldas, MG, em regime permanente, visando gerenciar a redução de pressão e, conseqüentemente a diminuição das perdas físicas locais.

Para o desenvolvimento do trabalho serão utilizados dados fornecidos pela SEREC (1989), Projeto Técnico do Sistema de Abastecimento de Água, como comprimento de tubulação, diâmetro, coeficiente de rugosidade, vazões nos trechos, cotas geométricas etc., introduzindo os mesmos em modelos de simulação para otimizar estas variáveis, adequando, através da instalação de uma VRP, as pressões e vazões necessárias para correta operação do sistema.

Na implantação deste programa de redução de perdas, deveremos considerar a sua setorização, a medição de vazão e pressão nos pontos críticos (tanto na demanda de maior e menor consumo), tipo de material a ser usado nas tubulações (bem como sua idade), as cotas geométricas por onde esta tubulação necessariamente está assentada, o dimensionamento e o material de fabricação da VRP, o índice de perdas

deste subsetor, o controle e a estabilização das pressões na saída da válvula, mantendo se possível entre 10 e 50 mH<sub>2</sub>O (pressão dinâmica e estática), de acordo com as Normas Técnicas Brasileira (NBR 12218 – 7/94) e, conseqüentemente no futuro bem próximo a adequação de todas estas diretrizes no desenvolvimento de um sistema de telemetria e automação capaz de melhorar a capacidade operacional do DMAE, gerenciando o efetivo custo de manutenção destas redes e, operando seguramente e independente de erros humanos.

### **3. MODELO UNIFICADO PARA ANÁLISE DE ESCOAMENTO TRANSITÓRIO, OSCILATÓRIO, PERMANENTE E EM PERÍODO EXTENSIVO EM CONDUTOS FORÇADOS**

As análises, por ocasião do projeto e, as avaliações operacionais de instalações hidráulicas a condutos forçados, visam conhecer o comportamento de cada um de seus elementos nos diversos regimes de escoamento a que estas estarão submetidas. Com a atual disponibilidade dos recursos de informática, diversos modelos numéricos, com solução computacional, tem sido propostos como ferramenta para auxiliar estas análises. De forma geral estes modelos podem ser classificados de acordo com o tipo de análise a que este se propõe, ou seja, modelos para análise em regime permanente, modelos para análise em período extensivo e para a análise em regime variado (transitório e oscilatório).

Cabe notar que o desenvolvimento da maioria destes modelos se deu de forma distinta, acompanhando as necessidades e possibilidades históricas em termos do conhecimento dos fenômenos envolvidos. Desta forma foram desenvolvidas ferramentas distintas para cada tipo de análise. Esta multiplicidade de ferramentas tem o inconveniente de utilizarem, em sua maioria, modelações topológicas distintas, o que

dificulta a troca de dados entre um modelo e outro (como condição inicial ou de contorno). Além disso, é necessário conhecer bem cada uma destas técnicas, para se evitar “desastres” na obtenção e interpretação dos seus resultados.

Nesta dissertação é discutida a implementação de um modelo unificado para a análise dos diversos tipos de escoamento. A modelação será baseada no método dinâmico inercial elástico, com solução numérica através do Método das Características. Embora a proposta não seja inédita sob o ponto de vista conceitual, pois alguns autores já acenaram para esta possibilidade, até então não se discutiu a forma de se implementar esta unificação. O presente trabalho, colhendo as experiências destes pesquisadores e a de seus autores, estabelece os procedimentos de implantação de um modelo unificado para a análise de escoamentos em condutos forçados.

### **3.1 – Modelos para Análise de Escoamentos Fluidos em Condutos Forçados**

Os modelos disponíveis para a análise de escoamentos em instalações hidráulicas a condutos forçados são classificados em duas grandes categorias. Os modelos dinâmicos, que permitem avaliar as variações dos parâmetros hidráulicos, carga e vazão no tempo e, os modelos estáticos que se prestam a análise destes parâmetros em regime permanente.

Os modelos dinâmicos podem por sua vez ser classificados em modelos inerciais e não-inerciais. Nos modelos inerciais, as variações temporais dos parâmetros hidráulicos são equacionadas como decorrência da inércia do movimento fluido através dos elementos. Estes modelos são utilizados nas análises em regime variado, de natureza transitória ou oscilatória. Os modelos inerciais permitem considerar os efeitos elásticos do fluido e da tubulação (modelo dinâmico inercial elástico) ou não (modelo dinâmico inercial rígido).

Nos modelos dinâmicos não-inerciais, as variações dos parâmetros hidráulicos, no tempo, são decorrência das variações das condições de contorno (como níveis dos reservatórios, variações de demandas nodais etc.), não sendo considerados os efeitos da inércia do fluido em movimento. A figura 01 sintetiza a classificação dos vários modelos de análise.

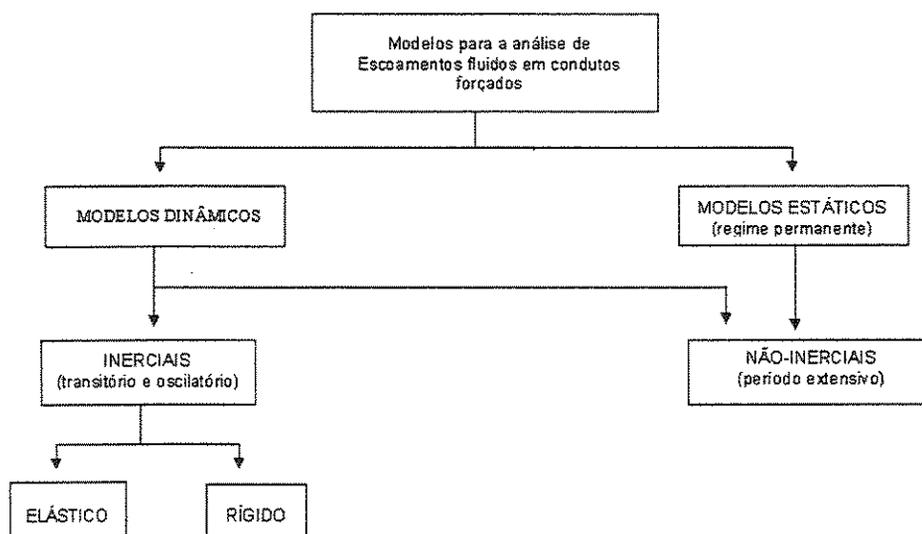


Figura 01 – Modelos para análise de escoamentos fluidos em condutos forçados

Na concepção apresentada, os métodos para análise do regime permanente se baseiam na equação de continuidade dos nós e no balanço de energia nas malhas. Os métodos de solução, atualmente empregados, para este conjunto de equações são atualmente: o método Linear e o método de Newton-Raphson, que as linearizam permitindo a solução do sistema de equações formado.

O método para análise em período extensivo, enquadrado na discussão preliminar como um método dinâmico não-inercial, pode ser tratado como uma sucessão de análises em regime permanente, entre as quais se atualizam as condições de contorno, valendo portanto para este caso as mesmas bases dos modelos de regime permanente.

As análises de escoamento em regime variado (transitório e oscilatório), requerem, pela natureza do fenômeno, um equacionamento mais complexo, onde devem ser considerados os efeitos de elasticidade do fluido e da tubulação. As equações que regem este fenômeno, podem ser escritas como:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (\text{Eq. da continuidade}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{fQ|Q|}{2DA} = 0 \quad (\text{Eq. do momentum}) \quad (2)$$

A solução deste sistema de equações diferenciais, não pode ser feita de forma analítica, sua solução numérica é feita usualmente, com base no Método das Características (MOC), devido a uma série de vantagens em termos da convergência e estabilidade da solução.

### 3.2 – A Generalidade do Equacionamento do Modelo Dinâmico Inercial Elástico

Observada a natureza das equações diferenciais (1) e (2), fica notório que este sistema é capaz de reproduzir e descrever além dos escoamentos variados, também os escoamentos permanente e em período extensivo, ou seja:

(a) Regime Permanente – tendo a instalação hidráulica atingido o estado de equilíbrio, as suas variáveis de estado, carga e vazão, permanecem invariantes no tempo, logo a equação (1) representativa da conservação de massa se reduz a:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \longrightarrow Q \quad (3)$$

que exprime o fato da vazão se manter constante ao longo do comprimento das tubulações.

Por outro lado, se as variáveis carga e vazão são constantes no tempo na condição de equilíbrio, a equação (2), da quantidade de movimento, se reduz a:

$$gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f|Q|Q|}{2DA} = 0 \rightarrow \Delta H = \frac{f\Delta x|Q|Q|}{2gDA^2} \quad (4)$$

que expressa o processo de perda de energia por unidade de peso (perda de carga), ocorrida num trecho de comprimento  $\Delta x$  de tubulação.

Portanto a forma que o par de equações diferenciais a derivadas parciais assume, quando as variáveis carga e vazão permanecem constante no tempo, permite descrever de forma adequada a condição de escoamento em regime permanente.

(b) Período extensivo – o período extensivo, como já mencionado, pode ser tratado como uma sucessão de regimes permanentes onde ao final de cada período são obtidos os valores das variáveis de estado, carga e vazão. Para o período seguinte, são atualizados os valores de contorno (como os níveis dos reservatórios) e feita nova análise em regime permanente. Como se recai em análises de regime permanente, é possível também representar através do sistema de equações do modelo dinâmico inercial elástico as análises em período extensivo.

Pode-se concluir das análises feitas que as equações representativas do modelo dinâmico inercial, podem, se adequadamente empregadas, representar toda a gama de

possibilidades de escoamentos em condutos forçados. Esta adequação será feita com base na modelação topológica e matemática descritas a seguir.

### 3.3 – A Solução do Modelo Dinâmico Inercial Elástico

O Método das Características transforma o sistema de equações formado por (1) e (2) em um par de equações diferenciais ordinárias, válidas ao longo das chamadas retas características.

A figura 02 apresenta a malha de cálculo formada no plano  $(x,t)$  que permite o cálculo das variáveis  $H_P$  e  $Q_P$ , carga e vazão num ponto  $P$  genérico, no instante  $t + \Delta t$ , a partir dos valores conhecidos nos pontos  $A$  e  $B$  no instante anterior  $t$ , por integração sobre as retas características.

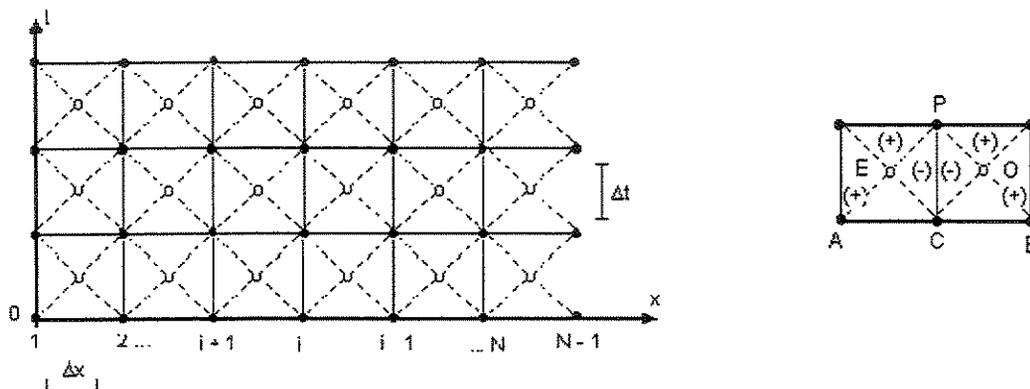


Figura 02 – Esquema da malha de cálculo

Usando notação indexada às seções da tubulação pode-se escrever:

$$H_{Pi} = C_E + B_E Q_{Pi} \quad (5)$$

$$H_{Pi} = C_D - B_D Q_{Pi} \quad (6)$$

de onde

$$Q_{Pi} = \frac{C_E - C_D}{B_E + B_D} \quad (7)$$

Sendo

$$C_E = H_{i-1} + B Q_{i-1} - \frac{R}{2} Q_{i-1} |Q_E| \quad (8)$$

$$C_D = H_{i+1} - B Q_{i-1} + \frac{R}{2} Q_{i-1} |Q_D| \quad (9)$$

onde

$$Q_E = \frac{(H_{i-1} - H_i) + B(Q_{i-1} + Q_i)}{2B + \frac{R}{2} (|Q_{i-1}| + |Q_i|)} \quad (10)$$

$$Q_D = \frac{(H_i - H_{i+1}) + B(Q_i + Q_{i+1})}{2B + \frac{R}{2} (|Q_{i+1}| + |Q_i|)} \quad (11)$$

e,

$$B_D = B + \frac{R}{2} |Q_D| \quad B_E = B + \frac{R}{2} |Q_E| \quad (12 \text{ a,b})$$

sendo,

$$R = \frac{f \Delta x}{2gDA^2} \quad B = \frac{a}{gA} \quad (13 \text{ a,b})$$

onde os índices E e D referem-se, respectivamente a valores calculados nas posições intermediárias E e D, mostradas no esquema da figura 02.

O número N de divisões do conduto (discretização da malha) é estabelecido de forma a atender as condições de estabilidade de convergência da solução numérica, uma vez estabelecido o valor de  $\Delta t$ , ou seja:

$$N_i = \frac{L_i}{\Delta t a_i} \quad (14)$$

Como N, deve ser inteiro, pequenos ajustes (até 15%) podem ser necessários na celeridade ( $a_i$ ) para que isso ocorra. Com a malha assim definida, o conjunto de equações apresentado [(5) a (13)] permite o cálculo evolutivo no tempo das variáveis carga e vazão, nos pontos interiores das tubulações (seções 2 a N). nas extremidades

(seções 1 e N+1), são necessárias equações adicionais para a solução do problema, uma vez nestes extremos só se dispõe de uma reta característica.

Este procedimento de solução é tradicional na análise dos escoamentos transitórios e está bem documentado na literatura, com diversas condições de contorno já equacionadas. Para o regime permanente, embora se saiba que este é obtido após o desenvolvimento do regime transitório, a convergência para este regime é lenta. Para acelerar a solução do regime permanente foram sugeridos alguns artifícios. Fox e Keech, 1975, propõem que as celeridades reais das tubulações sejam substituídas por celeridades fictícia  $a^x$ , definidas como sendo aquelas que permitem que a onda de pressão percorra o comprimento da tubulação no intervalo de tempo  $\Delta t$  ( $a^x_i = L_i / \Delta t$ ). A adoção desta celeridade gera um fenômeno transitório irreal para a instalação real, que uma vez estabilizado produz o regime permanente real.

Shimada, 1989, demonstrou que o processo será ainda mais acelerado com a adoção de uma celeridade fictícia ( $a^x$ ) igual para todos os condutos e independentes dos seus comprimentos. Para estabelecer esta celeridade única, usando um intervalo de tempo também único, é necessário modificar os comprimentos de cada tubo para um valor fictício ( $L^x$ ) para toda a instalação. Com isso, um fator de atrito físico ( $f^x$ ) deve ser calculado para cada tubo, de tal forma a preservar o valor correto da perda de carga produzida pelo comprimento real, sendo mantido os diâmetros reais de todos os tubos.

Com este procedimento  $\Delta t$  passa a ser o único parâmetro de otimização da convergência. Embora o valor de  $\Delta t$  dependa das condições de contorno da instalação, devendo ser analisado caso a caso, a experiência tem mostrado que a adoção de  $L^x = 100$  m e  $\Delta t = 3$  s tem produzido convergências com poucas interações.

Com este procedimento de aceleração de convergência a solução do regime permanente é representada pelas mesmas equações (5) a (13), onde se modificam os valor de N ( $N=1$ ), B e R.

### **3.4 – Modelo Topológico**

Para facilitar a implantação do modelo unificado de cálculo empregou-se uma modelação topológica proposta por Hoelle, 1982, em que os vários elementos da rede hidráulica, chamados de forma genérica de ENOS são interligados em pontos denominados de NÓS. Estabelecendo-se um sentido arbitrário para as vazões nos ENOS, pode-se fixar os seus NÓS de montante ( $N1$ ) e de jusante ( $N2$ ). Definindo um código de tipo T para este ENO, que o identifique como uma válvula, uma bomba, um reservatório, um tubo etc. e um código de ordem I, que permita a sua identificação na instalação, fica possível a codificação de cada elemento da instalação, através de um conjunto destes valores, ou seja,  $(T, I, N1, N2)$ .

Esta modelação da topologia permite um tratamento matemático bastante simples das equações do modelo dinâmico inercial elástico. Para facilidade de equacionamento, impõe-se que a cada NÓ deva estar vinculado apenas um ENO não tubo.

### 3.5 – Modelo Matemático

Um NÓ genérico da instalação pode ser representado como ilustrado na figura 03. uma vez arbitrado o sentido do escoamento nos elementos interligados a este NÓ, pode-se identificar os MD condutos cujas vazões foram arbitradas convergindo ao NÓ e os MD condutos, para os quais as vazões foram arbitradas divergindo do NÓ. A vazão  $Q_{PE}$ , é a vazão pelo elemento não tubo vinculado ao NÓ.

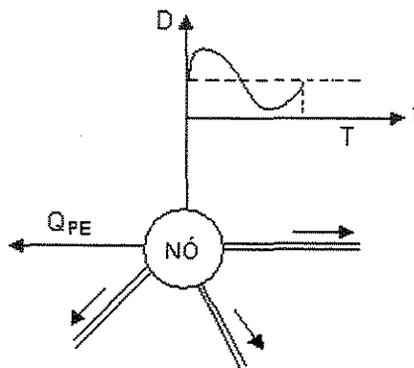


Figura 03 – Esquema de um NÓ genérico

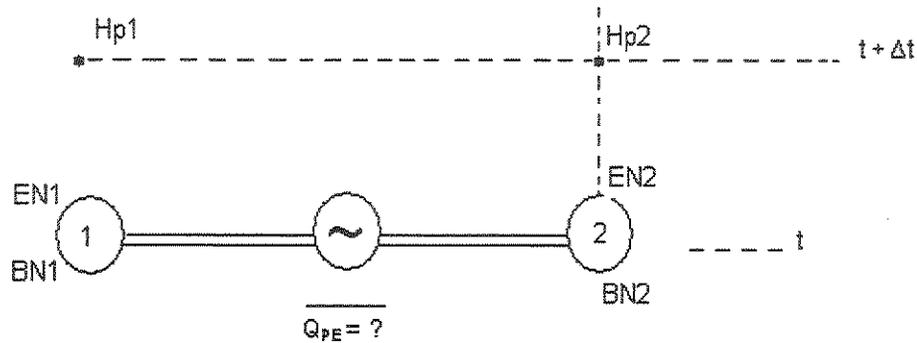


Figura 04 – Esquema de um ENO não-tubo genérico

A aplicação da equação da continuidade a um volume de controle envolvendo o NÓ esquematizado, fornece como resultado a Equação do NÓ, expressa como:

$$Q_{PE} = E_N - B_N H_P \quad (15)$$

onde  $H_P$  é a carga no NÓ e os valores  $E_N$  e  $B_N$ , são valores calculados pelas expressões:

$$E_N = \left( \sum_{j=1}^{MC} \frac{C_E(j)}{B_E(j)} + \sum_{j=1}^{MD} \frac{C_D(j)}{B_D(j)} - D(t) \right) \quad (16)$$

$$B_N = \left( \sum_{j=1}^{MC} \frac{1}{B_E(j)} + \sum_{j=1}^{MD} \frac{1}{B_D(j)} \right) \quad (17)$$

onde o índice  $j$  refere-se ao MC ou MD tubos que convergem ou que divergem do NÓ. Deve-se observar que se ao NÓ não se vincula um elemento não-tubo  $Q_{PE} = 0$  e portanto:

$$H_N = \frac{E_N}{B_N} \quad (18)$$

Para um ENO não-tubo genérico apresentado na figura 04, com base na equação (17) aplicada a seus nós de montante e jusante é possível obter:

$$H_{P1} - H_{P2} = E_E - B_E Q_{PE} \quad (19)$$

onde:

$$B_E = \left( \frac{1}{B_{N1}} + \frac{1}{B_{N2}} \right) \quad e \quad E_E = \left( \frac{E_{N1}}{B_{N1}} - \frac{E_{N2}}{B_{N2}} \right) \quad (20 \text{ a,b})$$

a combinação da equação 19, Equação Geral do ENO, com uma (ou mais) equação(s) particular(es), envolvendo as cargas nos NÓS de montante e de jusante e da vazão  $Q_{PE}$  que o percorre, permite obter uma (ou mais) equação que permite a solução do ENO.

Esta equação particular do ENO não-tubo pode possuir um caráter dinâmico ou não. No primeiro caso se enquadram os elementos em que as cargas e vazões dependem da inércia do fluido em movimento e, portanto nos quais as relações entre estas grandezas não são conhecidas a priori, mas dependem da evolução do escoamento ao longo do tempo. É o caso das chaminés de equilíbrio, dos tanques unidirecionais, dos vasos de pressão e de máquinas hidráulicas quando estiverem

envolvidas variações de rotação. Nos ENOS não-dinâmicos a relação entre carga e vazão não é decorrência da evolução do escoamento ao longo do tempo, isto é, ela é definida a priori, na concepção da instalação ou por regras operacionais. Seja qual for o tipo do ENO (dinâmico ou não dinâmico) sempre poderão ser escritas equações adicionais do tipo:

$$Q_{PE} = f(H_{N1}, H_{N2}, a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (19)$$

que em conjunto com a equação (19) e equações subsidiárias, necessárias para avaliar os  $a_i$ , permitem a solução do ENO, ou seja, a determinação de  $Q_{PE}$ ,  $H_{P1}$  e  $H_{P2}$ .

### 3.6 – Tratamento dos ENOS não-tubos no modelo unificado

O esquema de solução dos ENOS não-tubos, ou seja, a determinação da vazão que o percorre e as cargas nos seus nós de montante e jusante está bem estabelecido, como descrito no procedimento acima, entretanto, para um modelo unificado cabe algumas considerações:

(a) Regime transitório e oscilatório – neste caso, o procedimento é tradicional e a solução dos ENOS não-tubo já se encontra bem descrita na literatura (Almeida e Koelle, 1992).

(b) Regime permanente e Período extensivo – nestes casos, a presença de ENOS dinâmicos é fator de retardo para a convergência e, portanto, dispositivos como chaminés de equilíbrio, tanques hidro-pneumáticos e unidirecionais devem ser retirados das simulações em regime permanente. Cabe notar que após a determinação deste regime, será conhecida a carga no nó em que este ENO irá se conectar e esta poderá então ser transformada na altura d'água (na chaminé) ou na pressão (no interior de um tanque hidro-pneumático).

No caso das máquinas hidráulicas, a característica dinâmica desaparece pois em regime permanente a rotação permanece constante e a rotina do ENO recai um caso de ENO não-dinâmico.

Para o período extensivo cabem as mesmas observações feitas para o regime permanente, quanto aos ENOS não-tubos, a exceção dos ENOS reservatórios que deverão ter seus níveis atualizados entre um período e outro. A atualização destes níveis segue a expressão:

$$H_{RE} = H_R + \frac{1}{A} \left( \frac{Q_{RE} + Q_R}{2} \right) \cdot T \quad (21)$$

onde  $H_{RE}$  e  $H_R$  se referem aos níveis futuros e atual dos reservatórios,  $A$  a área da seção transversal do reservatório e  $T$  o intervalo de tempo entre dois períodos

sucessivos.  $Q_{RE}$  e  $Q_R$  são as vazões que entram (ou que saem) dos reservatórios no período atual e no período futuro, onde (Luvizotto Jr., 1995):

$$Q_{RE} = (E_{N1} - E_{N2}) - (B_{N1} + B_{N2}) \cdot H_R \quad (22)$$

sendo os índices 1 e 2 referentes aos nós de montante e de jusante do reservatório respectivamente.

## **4. MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS AO SISTEMA DE ABASTECIMENTO**

Segundo VENTURINI (2003), os modelos matemáticos hidráulicos são de grande valia no diagnóstico dos problemas dos sistemas de abastecimento de água, por facilitar a análise da situação atual, permitindo prever futuros gargalos do sistema, possibilitando encontrar várias alternativas de soluções e garantir a confiabilidade das ações propostas. O levantamento das várias alternativas e a verificação do comportamento da implantação de uma ou mais alternativas conjuntamente no restante do sistema é facilmente visualizado nos modelos matemáticos.

### **4.1 – Combate à Redução de Perdas**

Na visão de ALLAN (1998) a modelagem auxilia na política de gerenciamento de controle de perdas, realçando anomalias nos registros de dados, identificando previamente fontes de consumo desconhecidas e alguns grandes vazamentos.

Preocupado com as perdas ocorridas no sistema, GERMANOPOULOS (1995), utilizou o método da teoria linear, linearizando as equações não-lineares da rede, obtendo as aberturas das válvulas redutoras de pressão (VRP), com o intuito de minimizar as pressões na rede e reduzir as perdas por vazamentos, face à ocorrência dos altos valores observados pelas empresas de saneamento na Grã-Bretanha, ou seja, 50% do abastecimento total.

A redução dos vazamentos, mediante o controle de pressão, é um método bastante simples e direto, que pode ser aplicado com outros métodos que incluem a detecção e o reparo nas redes de distribuição, conforme GERMANOPOULOS e JOWITT (1989) e JOWITT e XU (1990).

REIS (1997) aplicou a técnica de algoritmo genético para reduzir as perdas físicas, através da localização das válvulas controladoras de pressão. A grande vantagem na utilização do algoritmo genético é o sucesso apresentado na busca de regras operacionais com a interface de um simulador hidráulico.

VAIRAVAMOORTHY e LUMBERS (1998), preocupados em minimizar as perdas ocorridas no sistema de distribuição de água, desenvolveram um modelo de otimização usando a técnica de programação não-linear, sendo empregado o método de redução quadrática para reduzir o esforço computacional. Os autores indicam a colocação de válvulas redutoras de pressão no sistema de distribuição, possibilitando uma redução

das perdas físicas, e alertam que sua inclusão não pode ser de maneira indiscriminada, pois a técnica de otimização permite estabelecer o melhor cenário.

Segundo THEESS (1996), os trabalhos de redução das perdas físicas de água numa rede de distribuição devem ter por objetivo alcançar um permanente índice mínimo de perdas (máximo 10%), uma vez que novos vazamentos sempre surgem enquanto os antigos são eliminados, sendo impossível a eliminação total dos mesmos.

Como um vazamento gera uma perda física contínua até que seja reparado, o volume de água perdido por ele é proporcional não apenas ao seu tempo de vida, mas também à pressão da rede no local.

Um eficiente sistema de controle e redução de perdas físicas de água num sistema público de distribuição deve procurar, inicialmente, controlar e estabilizar as pressões na rede.

O controle e a estabilização das pressões na rede, pela estatística dos trabalhos realizados nos últimos 25 anos no norte da Europa, acarretam uma redução de cerca de 8% das perdas de água nos vazamentos. Após a estabilização das pressões na rede, é que devem ser providenciados os trabalhos de pesquisa de vazamentos e seus respectivos reparos, devendo, ao final, ser instalado um sistema permanente de controle, envolvendo a implantação de equipamentos de telemetria e automação.

A realização do serviço de redução e controle de perdas físicas de água deverá seguir as seguintes etapas:

- (a) Setorização da rede;
- (b) Determinação das perdas físicas;
- (c) Controle e estabilização das pressões;
- (d) Pesquisa de vazamentos;
- (e) Reparo dos vazamentos;
- (f) Instalação e operação de equipamentos de telemetria e automação.

#### **4.1.1 – Setorização da rede de distribuição**

Esta etapa de trabalho é preliminar, pois sem a setorização da rede, o controle de perdas é quase impossível, ficando sobretudo dificultado.

O objetivo da setorização é dividir a rede em setores ou sub-redes menores, que serão analisados separadamente dos demais, como se fossem independentes.

Na Europa, esses setores têm geralmente de 5 a 10km, podendo ser cerca de 10 vezes maiores no Brasil, onde os sistemas de abastecimento possuem, via de regra, apenas uma linha de suprimento (adução) e cada consumidor possui sua própria caixa

de água, ao contrário do norte da Europa, onde as redes recebem seu suprimento através de duas a quatro diferentes linhas de adução. Essa peculiaridade brasileira traz facilidades e economia para os controles de perdas de água.

Definida a setorização da rede, a etapa seguinte compreende na verificação das perdas físicas existentes em cada setor, para que possa ser estabelecido um plano prioritário de trabalho para eliminação das mesmas.

#### **4.1.2 – Determinação das perdas físicas de água**

No Brasil, as perdas físicas de água são geralmente determinadas pelas diferenças de leitura entre micro e macro medidores de vazão, instalados em pontos escolhidos da rede.

As leituras dos medidores são quase sempre feitas mensalmente, não podendo fornecer informações relativas ao mesmo período em virtude do grande número de aparelhos instalados.

O objetivo de qualquer controle de perdas é diminuir os “tempos de vida” dos vazamentos, sendo, para tanto, necessário que sua extensão seja determinada diariamente.

Isso pode ser feito facilmente através da instalação de um macromedidor na linha adutora do setor, juntamente com um “*Data Logger*” munido de software capaz de determinar as vazões noturnas, as vazões mínimas (equivalentes das perdas) e a dinâmica das vazões.

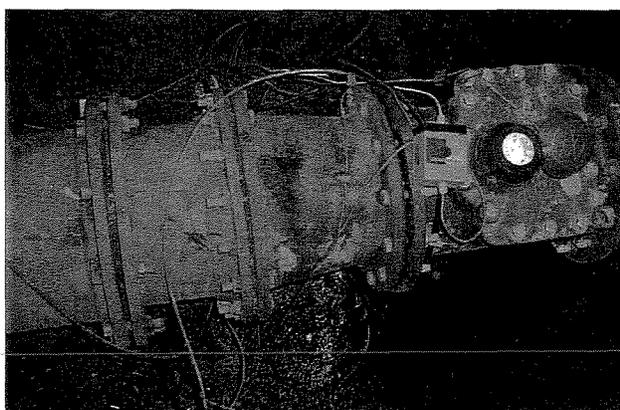


Figura 05 – Tubulação da VRP – 300mm com macromedidor e “*DATA LOGGER*”  
(DMAE-Poços de Caldas)

Esses conjuntos podem fornecer os valores das vazões diárias ou semanalmente, de forma direta (manualmente) ou automática, transmitindo os dados colhidos via linha privativa (LP) ou “rádio-modem” (Telemetria) para um computador central, onde é instalado um software analítico que determinará os locais e a intensidade das perdas físicas de água.

### 4.1.3 – Controle e estabilização das pressões na rede

O controle e a estabilização das pressões numa rede de distribuição são de grande importância para a redução e o controle das perdas físicas de água.

No Brasil, geralmente esse aspecto é quase inteiramente negligenciado, apesar de representar um investimento de retorno garantido para as redes de distribuição.

Esse controle é feito em setores fechados, onde a pressão de distribuição varia com o consumo.

É conhecido o fato de que, quanto maior for a variação da pressão ou maior for a pressão noturna, maiores serão os danos sofridos pela tubulação e maiores serão os vazamentos. Para isso, poderemos utilizar uma VRP na linha adutora do setor, fazendo, entretanto, a pressão variar, por um “comando eletrônico”, de conformidade com o consumo da área servida, diferentemente da forma convencional utilizada no Brasil, que adota apenas a instalação da VRP para estabilizar a pressão no ponto de entrada.

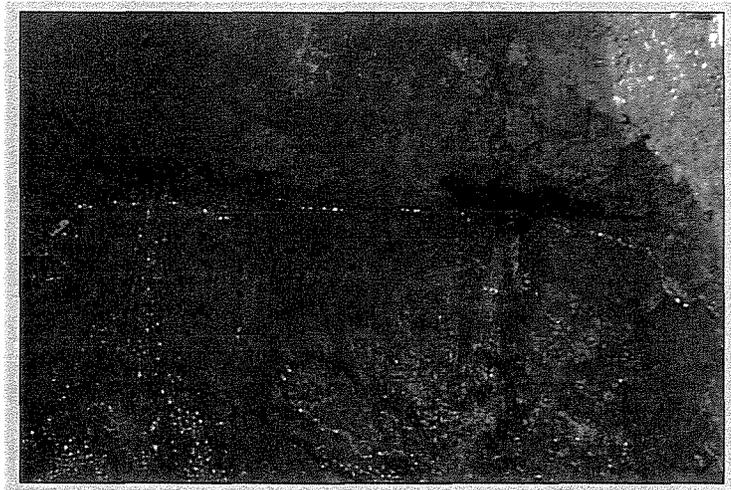


Figura 06 – Vazamento da adutora no setor VRP-Cidade provocado por excesso de pressão  
(DMAE-Poços de Caldas)

A esse procedimento denominamos “controle inteligente de pressões” na rede que reduz significativamente os esforços atuantes sobre a tubulação, e conseqüentemente o “trabalho” que deve ser realizado pelo seu material constitutivo, reduzindo os custos de manutenção.

Deve-se também salientar que as pesquisas convencionais de vazamentos feitas sem um “controle inteligente de pressões” resultam geralmente em um incremento das pressões estática e dinâmica, propiciando o aparecimento de novos vazamentos (geralmente maiores que antes). Por isso, o “controle inteligente das pressões” é fundamental e deve ser feito em todos os trabalhos de pesquisa de vazamentos.

#### 4.1.4 – Pesquisa de vazamentos

Existem várias maneiras de pesquisar vazamentos:

(a) mediante uma pesquisa sistematicamente programada da rede, no todo ou setorialmente, em períodos regulares, a cada dois anos;

(b) a custos reduzidos, restringindo-se a pesquisa às áreas de maior incidência de danos, por setores específicos, conjuntamente com a instalação de um “controle inteligente de pressões”;

(c) por uma pesquisa não-sistemática, ou seja, quando é verificado que o tamanho do dano é muito grande e/ou existem verbas disponíveis;

(d) por uma pesquisa sistemática, com monitoramento adicional dos resultados, tanto durante quanto depois da pesquisa, acompanhada de um “controle inteligente de pressões”;

(e) pela busca sistemática de “ruídos” nos dados recolhidos pelos micromedidores;

(f) pela determinação da “dinâmica da rede”.

É importante salientar que todas as pesquisas de vazamentos se constituem de investimentos de curta eficácia se não forem acompanhadas por um “controle

inteligente de pressões”, ou se não forem executadas com um monitoramento adicional dos resultados, de forma sistemática.

Naturalmente, a lista apresentada não é completa. Existem outras formas semelhantes ou equivalentes de pesquisar vazamentos. As alternativas mencionadas servem apenas para ilustrar a diversidade de meios existentes, valendo salientar que, no Brasil, é usual adotar-se o procedimento paliativo, face à carência de recursos e o desconhecimento das vantagens e da capacidade de retorno do investimento realizado para adoção da uma forma mais completa e definitiva de pesquisa e controle dos vazamentos.

Entretanto, não é sempre viável a monitoração de um setor, pelo simples fato de não ser sempre possível a sua delimitação física precisa. Neste caso, outros métodos devem ser utilizados, tais como a busca sistemática de ruídos nos micromedidores e/ou pela determinação da dinâmica da rede, ou preceder-se o trabalho da execução de obras específicas de modificação da rede para que os setores possam ser definidos.

Sempre que as leituras dos micromedidores são relacionadas, a pessoa encarregada do serviço deve providenciar uma leitura adicional com uma haste eletrônica especial, com resultados independentes do controle de sensibilidade. Tais leituras adicionais de ruídos devem ser avaliadas geográfica e historicamente. A avaliação geográfica corresponde à detecção tradicional de um vazamento, porém, a custos inferiores. A variação histórica, entretanto, é muito mais importante, depois de

três a quatro meses da leitura. Quaisquer novos vazamentos na rede de distribuição, inclusive no interior das edificações dos consumidores, causarão mudanças nos resultados das medições, possibilitando ao grupo de detecção de vazamentos da empresa, sua fácil localização. A vantagem desta metodologia é a detecção mais rápida dos vazamentos, o que possibilitará o seu reparo mais imediato, com a conseqüente limitação das perdas de água.

#### **4.1.5 – Reparos de vazamentos**

É da maior importância o reparo dos vazamentos, tão logo eles sejam localizados. Para tanto, a entidade responsável pelo abastecimento de água deve possuir pessoal habilitado e estoque de material necessário para a realização do serviço imediatamente, ou manter contrato com empresa especializada que garanta sua execução.

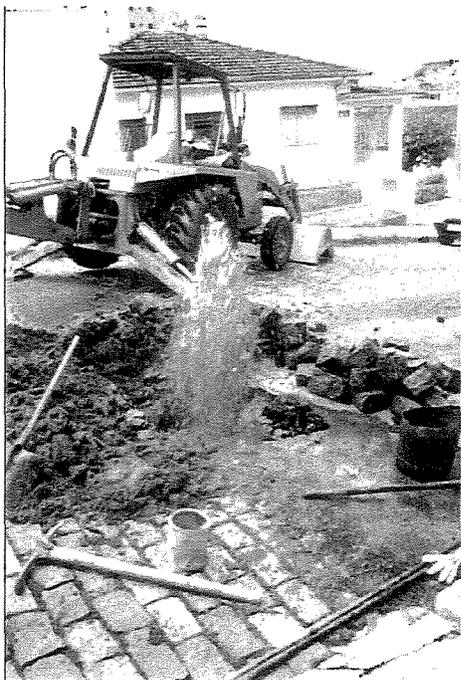


Figura 07 – Vazamento originado por excesso de pressão – Setor VRP-Cidade  
(DMAE-Poços de Caldas)



Figura 08 – Execução de manutenção em vazamento (DMAE-Poços de Caldas)

#### **4.1.6 – Instalação e operação dos equipamentos de telemetria**

Dentre suas vantagens opera seguramente, independente de erros humanos, gerenciando efetivamente os custos de manutenção da rede de distribuição, melhorando a capacidade operacional.

Nesse contexto, é importante dizer que é melhor proceder à implantação de um sistema de telemetria/automação através de etapas pequenas, porém completas, do que se buscar implantar sistemas incompletos, embora maiores e mais abrangentes em termos geográficos.

É também de suma importância que sejam instalados bons softwares de análise estatística, específicos para empresas de água, ainda que o investimento relativamente alto venha a ser, inicialmente, sub-utilizado.





## 5. INDICADORES DE DESEMPENHO

As perdas de água no sistema de abastecimento são um tema que vem atraindo a atenção em todo o mundo, dados seus reflexos econômicos e ambientais. Contudo, as tentativas realizadas para produzir indicadores que permitam comparar realisticamente as perdas entre as entidades gestoras e países distintos não têm sido até agora bem sucedidas. A diversidade de definições e métodos de cálculo é grande, fato que é unanimemente apontado como principal causa deste insucesso.

Dessa forma, o Comitê de Operação e Manutenção da Associação Internacional do Serviço de Água (IWSA) decidiu elaborar uma terminologia para comparações internacionais e recomendar indicadores de desempenho para perdas de água.

Uma das principais dificuldades no equacionamento e posterior combate ao problema é a falta de um consenso quanto às definições, indicadores e métodos de avaliação. Neste contexto, a IWSA decidiu estabelecer uma terminologia com definições normatizadas, descrevendo a tipologia, as origens e os fatores que influenciam as perdas de água, traçando uma breve panorâmica das técnicas disponíveis para seu

monitoramento e controle, procurando construir uma base consensual para a discussão e comparação alargada de níveis de perdas, sua medição e controle.

A quantidade de água perdida é um indicador importante da eficiência de uma entidade gestora, tanto em termos absolutos num dado momento, como em termos de tendência ao longo dos anos. Volumes anuais altos e com tendência para aumentar são um indicador de ineficácia de planejamento e construção, bem como de deficiente operação e manutenção do sistema. Por essa razão, é necessário definir, neste domínio, indicadores de desempenho ajustados às aplicações técnicas, bem como financeiras.

### **5.1 – Terminologia Modernizada para Utilização Internacional**

Dada a proliferação e ambigüidade da terminologia utilizada por entidades diversas, internacionalmente ou dentro do mesmo país, qualquer discussão relativa às perdas de água, deverá ser precedida de uma definição clara dos componentes do balanço hídrico a considerar, bem como dos dados em que se baseia a sua determinação. HIRNER (1999), diretor da IWSA, propõe que, em Portugal, sejam adotados os termos apresentados no esquema das fig. 11 e 12:

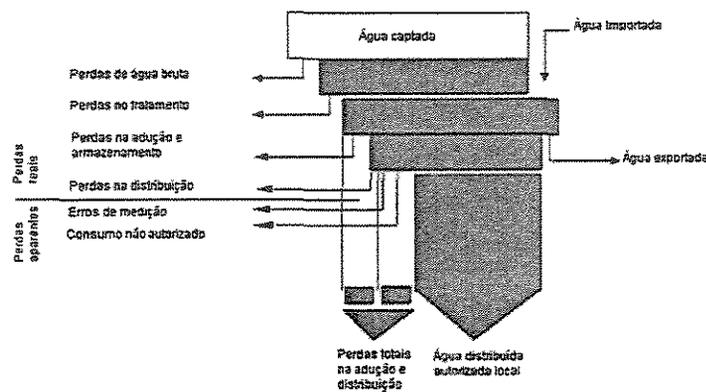


Figura 11 – Componentes do balanço hídrico

(a) água captada – para consumo público: retirada do meio natural, destinada a alimentar as estações de tratamento;

(b) água produzida – água tratada que entra no sistema de adução e armazenamento ou diretamente no sistema de distribuição;

(c) água importada/exportada – designa os caudais transferidos de/para outros sistemas de adução e distribuição;

(d) volume aduzido no sistema – soma entre a água produzida e a água importada;

(e) consumo autorizado – volume de água medido ou não medido fornecido a consumidores registrados ou a outros consumidores domésticos, comerciais, industriais ou públicos, implícitos ou explicitamente autorizados, e ainda o volume de água utilizado pela própria entidade gestora. Note-se que o consumo autorizado inclui os volumes utilizados para combates a incêndios, lavagem de condutos e coletores de

esgotos, lavagem de ruas, rega de espaços verdes e alimentação de fontes e fontanários públicos;

Consumo autorizado total [m <sup>3</sup> /ano]	Consumo autorizado faturado	Água medida e faturada (incluindo a água exportada)	Água faturada [m <sup>3</sup> /ano]
		Água não medida e faturada	
	Consumo autorizado não faturado	Água medida e não faturada	Água não faturada (perdas comerciais) [m <sup>3</sup> /ano]
		Água não medida e não faturada	
Perdas de água totais [m <sup>3</sup> /ano]	Perdas aparentes [m <sup>3</sup> /ano]	Erros de medição / erros do sistema de leitura	
		Usos ilícitos	
	Perdas reais [m <sup>3</sup> /ano]	Fugas na adução e distribuição	
		Fugas e extravasamentos nos reservatórios	
		Fugas nos ramais (a montante do medidor de caudal)	

Figura 12 - Consumo autorizado e perdas de água

(f) perdas de água de um sistema – diferença entre o volume aduzido no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água podem também ser calculadas em relação a subsistemas, como sejam, o sistema de adução, o sistema de água não tratada ou o sistema de distribuição. Dividem-se em reais e aparentes.

(g) perdas de água reais – perdas físicas de água de um sistema pressurizado, entre os pontos de produção e/ou importação e os pontos de entrega ao consumidor (em sistemas com abastecimento intermitente, só são considerados para efeitos de balanço hídrico os períodos em que o sistema está pressurizado). Incluem os volumes de água perdidos por fugas, rupturas e extravasamentos.

(h) perdas de água aparentes – consumos não autorizados (ou ilícitos) e os volumes associados a todo tipo de imprecisões na medição da água produzida, da água importada e do consumo autorizado.

Todas estas quantidades são volumes e, como tais, expressos em unidades volumétricas ( $m^3$  ou  $10^6m^3$ ), quando são utilizados para efeito de balanço hídrico, em geral com ano base temporal comum.

Todos os cálculos de balanço hídrico anual são aproximados, dada a dificuldade de avaliar todos os componentes com exatidão desejável e sobre a mesma base temporal. A confiabilidade do cálculo tende a ser maior quando os volumes de entrada são adquiridos de outras entidades e quando toda a água distribuída é medida por medidores domésticos bem dimensionados e adequadamente mantidos e calibrados.

## **5.2 – A Importância da Medição Confiável**

A medição confiável dos principais volumes de água geridos deverá constituir uma parte integrante das funções de abastecer e distribuir água, sobretudo no que confere a melhor gestão de oferta e procura e à avaliação de perdas. A medição dos caudais captados, produzidos, aduzidos e armazenados (incluindo os exportados e importados) e entradas ou saídas em cada setor de distribuição é absolutamente

essencial para o cálculo adequado dos balanços hídricos. Os pontos de medição mais importantes estão identificados no esquema da fig. 13:

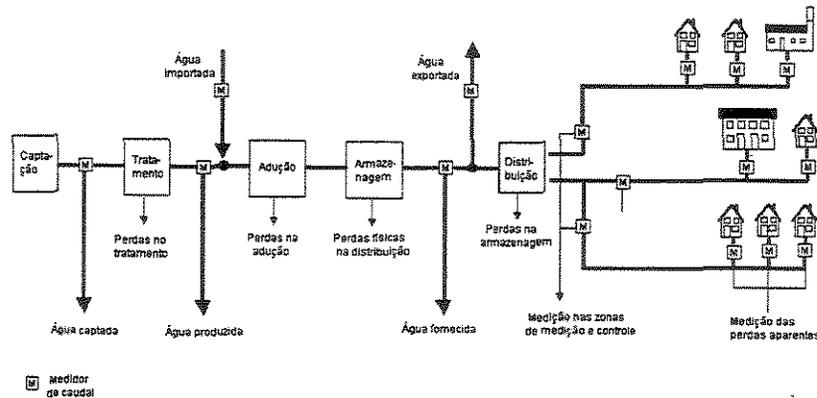


Figura 13 – Principais elementos dos sistemas de abastecimento de água, com identificação dos componentes do balanço hídrico e localização dos pontos de medição caudal.

Embora a principal finalidade doméstica seja o faturamento dos caudais vendidos, a exatidão das medidas e eficácia do sistema de leitura são igualmente de importância crucial para o cálculo dos balanços hídricos. As possíveis causas dos erros de medição incluem: escolha errada do tipo de medidor, dimensionamento incorreto, instalação inadequada ou mal executada, incrustação, degradação do medidor com a idade, manutenção ou substituição insuficientes e calibração pouco freqüente. A ineficácia do sistema de medição poderá ser devida a erros de leitura, ausência de leituras por falha ou por impossibilidade de acesso ao medidor, freqüências de leituras demasiadamente baixas e incoerência dos ciclos de leitura, entre outras causas. Os métodos mais eficientes atualmente utilizados baseiam-se na medição contínua dos

caudais noturnos. Sempre que a medição direta não seja possível, deverão ser mantidos os esforços para estimar cada componente do balanço hídrico com maior realismo possível.

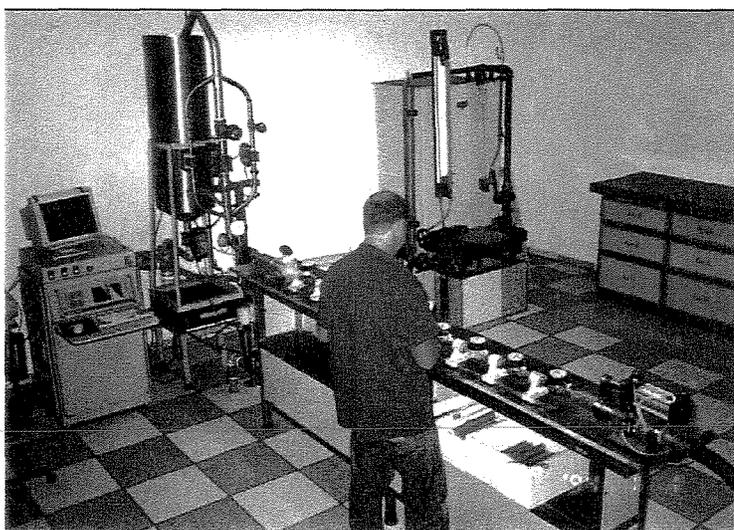


Figura 14 – Laboratório de aferição de hidrômetros (DMAE-Poços de Caldas)

### 5.3 – Fatores que Influenciam as Perdas de Água Reais

Para cada sistema, existe atualmente um conjunto de fatores locais que restringe as possibilidades de gerir as perdas de água reais e que deverá ser o mais bem identificado possível quanto à escolha dos indicadores de desempenho técnico. Segue-se uma lista de possíveis fatores que influenciam as perdas reais:

- (a) percentagem de tempo que o sistema está pressurizado;
- (b) pressão de serviço média, quando o sistema está pressurizado;
- (c) densidade de ramais;
- (d) localização do medidor domiciliar no ramal;
- (e) comprimento total de condutos;
- (f) estado dos condutos e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e rupturas;
- (g) tipo de solo e as condições do terreno, sobretudo no modo como revela ou não a ocorrência de rupturas e fugas.

Segundo LAMBERT E HIRNER (1999), o entendimento mais aprofundando dos componentes das perdas reais pode ser obtido classificando-os do seguinte modo:

(a) perdas de base que ocorrem através de fugas pequenas e indetectáveis com os equipamentos de detecção correntemente disponíveis, tipicamente caracterizadas por caudais baixos, longa duração e grandes volumes.

(b) perdas por fugas e rupturas registradas – tipicamente caracterizadas por caudais altos, curta duração e volumes moderados.

(c) perdas por fugas e rupturas não registradas, mais identificadas através da detecção ativa de fugas – tipicamente caracterizadas por caudais médios e duração e volumes dependentes da política de controle ativo de perdas.

(d) fugas e volumes de extravasamento em reservatórios.

Ainda de acordo com LAMBERT e HIRNER (1999), na medida que as pressões de serviço variam no sistema de distribuição, o caudal perdido por fugas varia de um modo mais pronunciado do que seria de prever teoricamente através da relação quadrática entre pressão e velocidade. Tal, deve-se ao fato da seção de escoamento de certas fugas variar com a pressão. Esses autores afirmam que a diferença é tanto menor quanto maior o sistema, e para grandes sistemas consideram aceitável a simplificação entre uma relação linear e a pressão e o caudal de fugas.

#### **5.4 – Indicadores do Desempenho Técnico para as Perdas de Água Reais**

##### **5.4.1 – Indicadores de desempenho tradicionais**

Os indicadores simples e tradicionais que são geralmente utilizados em todo mundo para comparações entre o volume anual de perdas reais incluem:

- (a) percentagem do volume aduzido;
- (b) perdas por unidade de comprimento, de conduto e de tempo;
- (c) perdas por consumidor e unidade de tempo;
- (d) perdas por ramal e unidade de tempo;

(e) perdas por comprimento total de condutos e por unidade de tempo (em que o comprimento total do conduto inclui o comprimento do ramal até o medidor do usuário).

Deverá notar-se que, como dado de base, o número de ramais é sempre preferível ao número de consumidores servidos, uma vez que uma parcela significativa das perdas reais ocorre nos ramais e que o mesmo ramal corresponde freqüentemente a mais de um consumidor.

#### **5.4.2 – Percentagem do volume aduzido no sistema**

A percentagem do volume aduzido no sistema é um indicador de desempenho técnico relativo às perdas mais utilizado em todo o mundo, por ser aparentemente o de cálculo e interpretação mais simples. Por essa razão a IWSA, subscreve as recomendações dos comitês nacionais da Alemanha, África do Sul e Reino Unido, de que as perdas reais expressas como uma porcentagem do volume aduzido no sistema, não constitui um indicador de desempenho técnico apropriado. Tal deve-se, sobretudo à influência do consumo. Por exemplo, para um valor de perdas reais de 100l/ramal/dia, que revelaria um bom desempenho técnico, a percentagem de perdas constituiria 40% de um consumo de 200l/ramal/dia (zona rural com edifícios unifamiliares), mas apenas 1% de um consumo de 10.000l/ramal/dia (zona urbana com edifícios de apartamentos).

Pelas razões que têm sido expostas, os dois tipos fundamentais de indicadores de desempenho técnico são os que exprimem as perdas por unidade de comprimento de conduto ou ramal.

A experiência internacional demonstra que as maiores proporções de perdas ocorrem nos ramais, e não nos condutos principais, exceto em casos de baixa densidade de ramais.

O indicador de perdas reais anuais (PRA), expresso em termos do número de ramais é dado por:

$$\text{PRA (l/ramal/dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\% \text{ ano sistema pressurizado} \times \text{n}^\circ \text{ de ramais} \times 365}$$

A opinião atualmente predominante do grupo de trabalho especializado da IWSA aponta no sentido de escolher um indicador de desempenho expresso por ramal. No entanto, este indicador não se adapta a certos tipos de sistema, tais como, os sistemas exclusivamente de adução e armazenamento, ou o supracitado caso dos sistemas com baixa densidade de ramais. Nestes casos, é mais adequado utilizar o indicador de perdas expresso em termos de comprimento de conduto. Por outro lado, nas situações em que ambos são aplicáveis, os dois tipos de indicador são complementares e não mutuamente exclusivos.

Deve-se notar que, no caso do indicador expresso em termos de comprimento de conduto, pode se utilizar no denominador tanto o comprimento total de condutos (excluindo ramais) como o comprimento total de condutos e ramais. A segunda opção pode parecer teoricamente mais correta, mas na opinião dos autores é preferível adotar a primeira, uma vez que raramente as entidades gestoras dispõem de informação confiável sobre o comprimento dos ramais. Assim,

$$\text{PRA (m/km/conduto/dia)} = \frac{\text{Volume anual de perdas reais (m}^3\text{/ano)} \times 1000}{\% \text{ ano sistema pressurizado} \times \text{comp. de condutos (km)} \times 365}$$

É importante comparar o valor de PRA (seja qual for a modalidade escolhida) com valor do nível-base de perdas (NBP) específico do sistema em causa. O NBP não constitui necessariamente o valor ótimo do ponto de vista econômico, que considera o nível de perdas obtido correspondente à melhor relação entre o investimento efetuado na estratégia de combate às fugas e outras perdas e as economias obtidas com a mesma. Nessa situação o custo marginal de controle ativo de perdas é igual ao custo marginal da água, muito embora o nível de base de perdas não coincida às vezes com o nível ótimo.

No atual contexto, deve notar-se que a maior parte das entidades gestoras portuguesas não têm condições de efetuar um cálculo NBP, se bem que seja extremamente importante progredir neste sentido.

A tabela 01 fornece valores indicativos mínimos, expressos em função da pressão de serviço.

Tabela 01 – Valores do NBP em l/ramal/dia

Comprimento médio do ramal, desde o conduto principal até ao medidor do consumidor (m)	Pressão de serviço média (mca)						
	20	30	40	50	60	80	100
0	24	36	48	60	72	96	120
10	29	43	58	72	86	115	144
20	34	51	68	86	103	137	171
30	39	59	78	98	117	156	193

*Valores do NBP em l/ramal/dia*

## 5.5 – Indicadores de Desempenho Financeiro

O indicador de desempenho financeiro que é recomendado poderá ser expresso em termos de volume ou em termos de custo.

Em termos de volume – consiste na discriminação do volume aduzido no sistema dos componentes faturados e não faturados, tal como esquematizado na coluna da direita da fig. 12. O componente não faturado (que inclui o consumo autorizado, mas não faturado) é designado por água que não constitui fonte de receita e freqüentemente expresso em termos de percentagem do total.

Em termos de custo – o verdadeiro indicador de desempenho financeiro necessita refletir não só as quantidades, mas os custos. Assim, o indicador mais apropriado (expresso em unidade monetária por ano) pode ser calculado aplicando-se valores monetários aos volumes anuais de consumo autorizado, não faturados, perdas aparentes e perdas reais. A metodologia a adotar neste caso está esquematizada na fig. 15:

Fase 1	Estabelecimento de auditorias de balanço hídrico anuais
Fase 2	Cálculo por diferenciação das perdas totais
Fase 3	Separação das perdas totais em perdas reais (PR) e perdas aparentes (PA)
Fase 4	Multiplicação pelos custos unitários
Fase 5	Perda comercial devida a PR   Perda comercial devida a PA
Fase 6	Perdas comerciais totais (Euro/m <sup>3</sup> /ano)
Resultado	Divisão da perda comercial total por um fator de escala: custos operacionais do abastecimento de água

Figura 15 – Metodologia recomendada para avaliação do desempenho financeiro em termos de perdas comerciais

Um valor monetário adequado para as perdas aparentes e o consumo autorizado não faturado poderá ser o preço médio de venda de água ao consumidor. Para as perdas reais, poderá ser utilizado o custo unitário de produção e transmissão (bombeamento) e/ou o preço de compra por grosso da água eventualmente importada (LAMBERT, 1998).

Cada uma destas estimativas e o seu total deverá então ser expresso como percentagem do custo total de operação do sistema. A síntese permite a uma entidade gestora estimar qual o montante correto a investir para:

(a) reduzir o consumo autorizado não faturado;

(b) reduzir as perdas aparentes – através de melhoramentos na medição e a redução do consumo não autorizado;

(c) reduzir as perdas reais, através de uma gestão das fugas.

## **6. CONTROLE INTELIGENTE DE PRESSÃO**

Tendo em vista a inviabilidade de ser utilizado extensivamente no Brasil o método da vazão mínima noturna devido à impossibilidade de serem realizadas medições em áreas internas às redes de distribuição, propõe-se a utilização associada ou isolada de duas metodologias internacionalmente comprovadas, que permitem agir sobre o principal agente causador de vazamentos, ou seja, a pressão e monitorar qualitativamente a existência de vazamentos.

A aplicação dessas metodologias modernas de conservação de água (controle de perdas) utilizadas também no norte da Europa são adaptadas às condições brasileiras. Mais especificamente na redução de perdas, não apenas por curtos períodos, mas por médio e longo prazo, através de redução e estabilização inteligente de pressão, monitoramento e redução do tempo de vida dos vazamentos na rede de distribuição de água.

Na variação das condições dos locais, a configuração dos sistemas de distribuição de água no Brasil são diferentes daquelas encontradas nos sistemas do norte da Europa. Aqui, os sistemas são divididos em setores relativamente extensos,

alimentados por um reservatório. Em função de condições topográficas, as pressões podem variar de 10 a 70 mH<sub>2</sub>O (na prática, podem ser encontradas pressões de até ou mesmo superiores a 100 mH<sub>2</sub>O). Existe um número relativamente pequeno de válvulas de manobra e hidrantes e, cada ligação domiciliar possui seu próprio reservatório.

No norte da Europa os sistemas de distribuição operam com pressões de 40 a 70 mH<sub>2</sub>O e as ligações domiciliares não possuem reservatórios, exigindo que a regularidade do abastecimento seja alcançada através de fontes redundantes de suprimento, isto é, vários pontos de alimentação, grande quantidade de elementos de controle de pressão, tais como válvulas redutoras de pressão (VRP), estações elevatórias (Boosters) e grande densidade de válvulas de manobra para manutenção da rede e de hidrantes para combate a incêndios.

Desta forma, segundo THEESS (1999), naqueles países onde a área de influência de cada órgão de controle é relativamente pequena, torna-se mais fácil o estudo do comportamento da rede e de suas perdas, através de medições de vazão.

Por outro lado, no Brasil, onde não são implantados distritos de medição internos às redes de distribuição, é muito difícil realizar diagnóstico do nível de vazamentos através da análise da vazão mínima noturna.

A análise da vazão mínima noturna é universalmente reconhecida como melhor método para diagnosticar a existência de vazamentos e o volume perdido através dos mesmos.

A eficiência deste método baseia-se no fato de que, durante a noite (mais especificamente na madrugada) o consumo se reduz drasticamente, chegando a ser nulo durante alguns instantes. Portanto, a vazão mínima noturna residual pode ser considerada como decorrente de vazamentos existentes na área em estudo. Quanto menor for a área medida, maior será a precisão da análise.

A redução e a estabilização da pressão ao longo da rede de distribuição evita a ocorrência de vazamentos, sendo que as válvulas redutoras de pressão simplesmente ajustadas em função das pressões de montante e imediatamente à jusante, sem qualquer outro parâmetro complementar, têm apresentado resultados pouco satisfatórios quanto a dispositivos de controle de pressão.

Em algumas situações, é necessário permitir pressões ainda elevadas em áreas mais baixas, principalmente durante a noite, para garantir o abastecimento de áreas mais altas.

Atualmente, existem no mercado válvulas redutoras de pressão (VRP) comandadas por controladores inteligentes que permitem, em tempo real, ajustar a abertura da válvula de forma a liberar vazões que atendam à necessidade do

abastecimento e simultaneamente mantenham pressões estáveis em pontos altos e baixos.

Dois tipos de controle são disponíveis: por modulação de tempo ou por modulação de vazão.

No tipo modulação de tempo, antes da instalação, é necessário levantar dados de pressão dos pontos críticos do sistema de distribuição. Um ciclo diário de pressão é estabelecido com os dados levantados e o perfil de pressões desejado, estabelecido e programado no controlador.

Quando em operação, o sistema de VRP controlável propicia um perfil de pressões quase constante nos pontos críticos. Em algumas situações, é necessário prover o controlador com diferentes perfis de pressão, em função de variações de demanda devido a sazonalidade.

No tipo modulação de vazão, medidor de vazão e controlador inteligente, o conjunto é instalado na entrada do setor cuja pressão que se quer controlar, sendo que o controlador é programado, com dados referentes à curva de pressão x vazão demandada pela rede. Quando o sistema entra em operação, o controlador recebe informações sobre a demanda através do medidor de vazão. A pressão correspondente é calculada e a pressão de saída da VRP é ajustada para este valor. Nos gráficos a seguir são mostradas como exemplo, algumas curvas de medição.

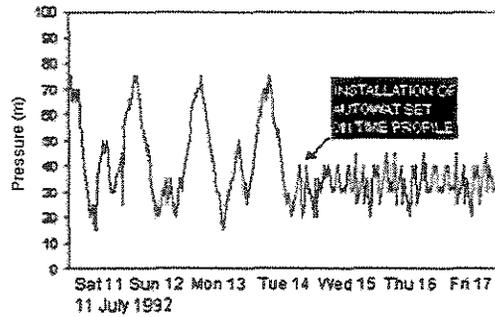


Gráfico 01

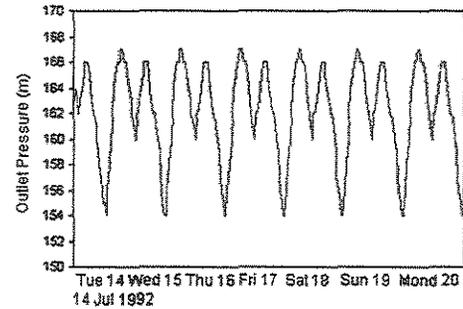


Gráfico 02

Gráfico de variação de pressão na saída da VRP

Gráfico 01 – Mostra as pressões registradas no ponto crítico, antes e depois da instalação da VRP com controle inteligente e pode ser observado que a pressão no ponto crítico foi estabilizada em torno de 35 mH<sub>2</sub>O, o que significa uma pressão igual à metade da que era anteriormente observada nos períodos de baixo consumo.

Gráfico 02 – Mostra a pressão de saída da VRP (neste caso particular, não modulada diretamente – *on line*, por um medidor de vazão, mas por um perfil estático de tempo tomado num ponto crítico a partir da data de instalação em 14/07/1992). Pode ser observado que uma relativamente pequena modulação de pressão é suficiente para se obter o resultado desejado.

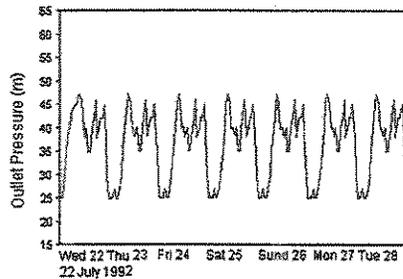


Gráfico 03

Pressão de saída

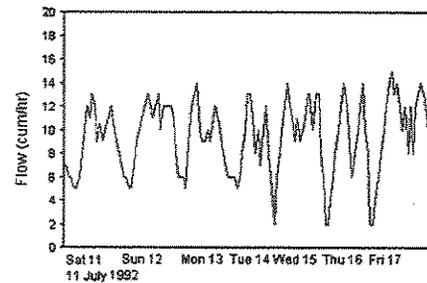


Gráfico 04

Variação de pressão na VRP

Gráfico 03 – Mostra a pressão de descarga da VRP de uma outra instalação, a qual é mais representativa. Foi modulada diretamente (*on line*) por um medidor de vazão e, como tal, mostra a variação dia-a-dia e em particular uma adaptação “*on line*” para o final de semana.

Gráfico 04 – Mostra a vazão medida no local da VRP em período anterior e posterior ao dia 14/07/1992 (este gráfico deve ser observado em conjunto com os gráficos 01 e 02) e fica claramente evidenciada que a vazão noturna (perdas) é reduzida de 5,5 m<sup>3</sup>/h para aproximadamente de 2 m<sup>3</sup>/h.

Todos estes gráficos foram obtidos do “*Data Logger*” interno do Controlador e de um “*Data Logger*” adicional instalado no ponto crítico.

## 6.1 – Determinação da Dinâmica da Rede x Localização de Vazamentos

O controle de vazamentos através da análise da vazão é difícil de ser utilizado em grandes setores. O método alternativo é baseado na instalação temporária de sensores inteligentes que localizam vazamentos através da medição da dinâmica da rede.

Esta técnica foi inicialmente desenvolvida na Alemanha, há cerca de 17 anos, para ser aplicada em grandes cidades e reduzir o tempo de vida dos vazamentos. Hoje em dia, é largamente utilizada na Europa, Japão e Estados Unidos.

Consiste de sensores que são colocados nas ligações domiciliares ou hidrantes, a uma distância de 200 a 800m entre cada sensor, dependendo das características da rede.

Cada sensor é conectado ao microcontrolador e encapsulado em uma caixa pequena e resistente (do tamanho aproximado de três maços de cigarro); este microcontrolador possui interface para comunicação com um computador.

Este conjunto é instalado durante o período diurno e é programado para medir durante o período noturno. A leitura é feita no dia seguinte, no ponto de instalação na rede, diretamente no campo ou transportando o conjunto para o escritório.

Se a frequência é elevada, acima de 40dB, com certeza não existe vazamento na área de 200 a 800m, em torno do ponto de instalação. Entretanto, se houver vazamento, a tubulação é atenuada e a frequência é baixa. O valor baixo como 5 ~ 7dB, significa que o vazamento é próximo. Se o valor for da ordem de 15dB, o vazamento é mais distante.

Os aspectos mais importantes deste método, entretanto, são: a confiabilidade das informações levantadas, a possibilidade de ser implantado um cadastro dos dados medidos em um banco de dados em computador e a facilidade de implantação do sistema, não necessitando de pessoal de campo especializado.



Figura 16 – Medidor de pressão e vazão com “DATA LOGGER” para localização de vazamentos (DMAE-

Poços de Caldas)

Este método produz melhores resultados que a correlação ou geofonamento eletrônico, visto que todos os dados levantados em cada local são cadastrados e memorizados em bancos de dados. Desta forma, periodicamente, novos dados podem ser levantados e comparados com os anteriores. Considerando que a instalação dos sensores pode ser feita por pessoal sem especialização, o custo do sistema é relativamente baixo e permite sua freqüente aplicação, reduzindo assim o tempo de vida dos vazamentos.



Figura 17 – Geofonamento eletrônico (DMAE-Poços de Caldas)

## 6.2 – Comparação de Custo x Benefício

A perda média no Brasil pode ser assumida como sendo da ordem de 40% do volume de água produzido. Destes, cerca de 25% podem ser atribuídos às perdas físicas, como vazamentos.

Com a filosofia e as técnicas hoje produzidas no Brasil, isto é, localização de vazamentos, com posterior reparo a cada 5 anos, estima-se que o tempo de vida de um vazamento seja de 4 anos, conseqüentemente, o retorno do investimento da localização e do reparo não é muito bom porque, imediatamente após o reparo, a pressão na rede aumenta, causando novos vazamentos.

De acordo com THEESS (1999), a metodologia sugerida para retorno do investimento é muito mais elevada pelas seguintes razões:

(a) a redução “inteligente” e o controle impedem o aumento excessivo de pressão na rede de distribuição, após o programa de localização e reparação de vazamentos. Mais do que isso, e ainda mais importante, a pressão permanece estável.

É razoável a expectativa que, devido a isso, obtenha-se uma redução de perdas devido à ordem de 7,5%, medida em termos de redução da vazão noturna, por um período de 5 anos, representando um grande retorno para um pequeno investimento.

(b) Entretanto, se o programa contínuo de monitoramento, detecção e reparo é implementado utilizando-se a metodologia de determinação da dinâmica da rede descrita neste documento, pode-se assumir que o tempo de existência de um vazamento será drasticamente reduzido e resultando em uma redução sustentada do volume de perdas devido a vazamentos de, no mínimo, 60%, isto é, 15% do volume de água produzido.

A economia acumulada por um período de 5 anos para uma cidade em torno de 100.000 habitantes (caso semelhante ao município de Poços de Caldas com 136.000 habitantes, segundo dados do último censo do IBGE-2000) com uma produção anual de  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ , será de no mínimo R\$ 1.700.000,00, assumindo-se o custo de produção de R\$ 0,21/m<sup>3</sup>.

A economia máxima possível seria de R\$ 3.000.000,00 e para o exemplo acima, pode ser assumido que a economia será de R\$ 2.250.000,00. Isto é, sem considerar a economia de corrente de menor custo de mão-de-obra e equipamentos para manter a rede.

O investimento durante o 1º ano é estimado em torno de R\$ 500.000,00 e, durante os 4 anos subsequentes, em cerca de R\$ 125.000,00/ano, resultando em um investimento total de R\$ 1.000.000,00 em cinco anos.

## 7. CONCEITO DE CONTROLADOR DE VRP PARA ESTABILIZAÇÃO DE PRESSÕES DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo THEESS e MORRIGAN (1999) foram discutidas e verificadas as vantagens da modulação das pressões de entrada de uma rede de distribuição de água na Inglaterra tendo a finalidade de reduzir consideravelmente os índices de perdas físicas e custos de manutenção.

Entretanto, surgiram alguns problemas operacionais de confiabilidade que levaram ao desenvolvimento de um novo conceito de controladores de VRP, principalmente aqueles sistemas automatizados que se enquadram numa das seguintes concepções:

- (a) controladores de circuito aberto ou de "*Open Loop*";
- (b) controladores baseados no tempo;
- (c) controladores de circuito fechado ou de "*Close Loop*";

Dentre todos, o sistema de maior preferência é o de "*Close Loop*", porque permite uma maior definição de condições e é geralmente o mais confiável. A razão

dessa preferência está no fato de que no “*Open Loop*” o parâmetro a ser controlado pode ser influenciado por fatores desconhecidos, produzindo, em consequência, resultados indesejáveis.

### **7.1 – Controladores de Circuito Aberto ou de “*Open Loop*”**

Os controladores de VRP de circuito aberto ou de “*Open Loop*” para sistemas de distribuição de água utilizam o fluxo da vazão como parâmetro de controle. Eles modulam continuamente a VRP, conforme a vazão medida no ponto principal escolhido da rede de distribuição.

Uma instalação típica compreende o medidor de vazão, uma VRP e um controlador de VRP. As indicações de saída do medidor de vazão, em pulsos ou sinais analógicos, têm concordância linear com a vazão, constituindo-se por isso e teoricamente num parâmetro de fácil controle. Os sinais de saída do medidor de vazão são captados pelo controlador da VRP que os converte através de dois solenóides, num sinal elétrico que permite o comando dos controladores hidráulicos da VRP.

Como cada rede de distribuição tem suas próprias características, cada VRP necessita ser programada de acordo com as condições locais, isto é, através de uma

tabela que correlaciona cada medida da vazão com uma determinada pressão de saída da VRP.

Este conceito parece, à primeira vista, simples e de fácil implementação. Entretanto, ele pressupõe que o sinal do medidor de vazão, tomado num ponto em “*Open Loop*”, seja representativo de toda a rede e que as condições de distribuição mantenham-se constantes, o que obviamente, não corresponde à realidade. Também uma certa margem de segurança deve ser adicionada à pressão controlada, de modo a que padrões anormais de demanda possam ser atendidos. Por isso, na prática, este tipo de controlador não comprovou ser suficientemente confiável e eficiente quando é exigido por uma rede de distribuição de água.

Uma característica adicional deste tipo de controle é o seu suprimento de energia. Normalmente, ele é operado por bateria, podendo ser instalado em locais onde não exista rede normal de suprimento de energia elétrica. Este fato, entretanto, na prática, constituiu-se numa restrição ao sistema, porque a capacidade limitada das baterias obriga a utilização de micro-solenóides (de baixa confiabilidade), sendo pior ainda o fato de serem muito irregulares os sinais de controle emitidos na ocorrência de grandes variações de vazão, o que ocasiona desgaste prematuro das VRP.

Concluindo, pode-se afirmar que quando houver necessidade de instalar uma VRP controlada por um controlador de circuito aberto e não existindo no local uma rede

de suprimento de energia, deve-se dar preferência à instalação de um controlador puramente hidráulico incorporado a um medidor de vazão.

## **7.2 – Controladores Baseados no Tempo**

Para superar as complicações decorrentes do uso de controladores de circuito aberto operados por baterias, as companhias européias de abastecimento de água decidiram, durante os últimos anos, iniciar a instalação de controladores baseados no tempo.

Este tipo de controladores simplifica drasticamente as funções de controle, reduzindo-as a apenas dois pontos, isto é, eles apenas diferenciam as pressões diurnas das noturnas.

Assim os problemas causados pelos controladores (contínuos) de circuito aberto foram eliminados, ao mesmo tempo em que as pressões noturnas foram reduzidas a níveis razoáveis.

Entretanto, este sistema só deve ser utilizado para pequenas comunidades urbanas, onde são raras as ocorrências de demandas anormais, como as decorrentes

de incêndios de vulto etc., sendo desaconselhável para regiões de alta densidade populacional.

### **7.3 – Controladores de Circuito Fechado ou de “Close Loop”**

Este novo tipo de controlador de VRP surgiu para eliminar as desvantagens dos controladores de circuito aberto e dos baseados no tempo.

Seu parâmetro de controle é a pressão medida no ponto crítico da rede ou num outro ponto representativo da rede de distribuição.

Os valores da pressão medidos neste ponto são transmitidos para o controlador da VRP via rádio, telefone (telemetria) ou satélite, suprimindo todas as exigências de um sistema de circuito fechado. Ele capta as pressões em suas mínimas variações, efetuando automaticamente as correções necessárias para as demandas anormais ou imprevistas.

Além disso, o número múltiplo de VRP e/ou instalações de bombeamento (Boosters) com inversores de frequência pode ser controlado de um mesmo ponto, através de um sofisticado software que foi desenvolvido recentemente, reduzindo as diferenças de pressão ao longo da rede.

## 8. MÉTODO E APLICAÇÕES

O objetivo do trabalho é propor a implantação de um programa de redução de perdas em sistemas de distribuição de água no regime permanente que utilize o modelo de simulação hidráulica no estudo e hierarquização de alternativas técnicas, a ser demonstrado através de um software desenvolvido por LUVIZOTTO JR. (1995), denominado "*SIMULA*". Tal simulador é utilizado para identificar os pontos deficientes do sistema de distribuição e verificar a eficiência da solução técnica para a reabilitação do mesmo.

O modelo hidráulico "*SIMULA*" é baseado no equacionamento geral para análise de redes de condutos forçados em regime permanente. A análise em regime permanente empregado em um período normal, decorre da adoção de um cálculo mais rápido, obtendo informações gerais das características do sistema a ser implantado.

O número de alternativas geradas dependerá do comprometimento operacional do sistema. É importante destacar que, com o modelo "*SIMULA*", as alternativas são estudadas em termo de sua real inserção e contribuição para melhoria da rede como

um todo, analisando trecho a trecho todos os componentes como: velocidade, perda de carga, pressão e vazão.

Para a estruturação da metodologia foi necessário, além do cálculo normal hidráulico, a simulação com implantação de uma VRP na entrada de um subsetor a ser estudado no município de Poços de Caldas, MG, considerando nessa simulação pressões a jusante da válvula em três condições: 30 , 25 e 20 mH<sub>2</sub>O, possibilitando análises de condições técnicas obtidas que, portanto, satisfazem e resolvem os problemas operacionais detectados, e de posse dos pesos atribuídos pelos decisores, inicia-se neste ponto, a real contribuição acadêmica do trabalho proposto, procedendo-se à hierarquização de alternativas conjuntas com a quantificação de contribuição para reabilitação do sistema.

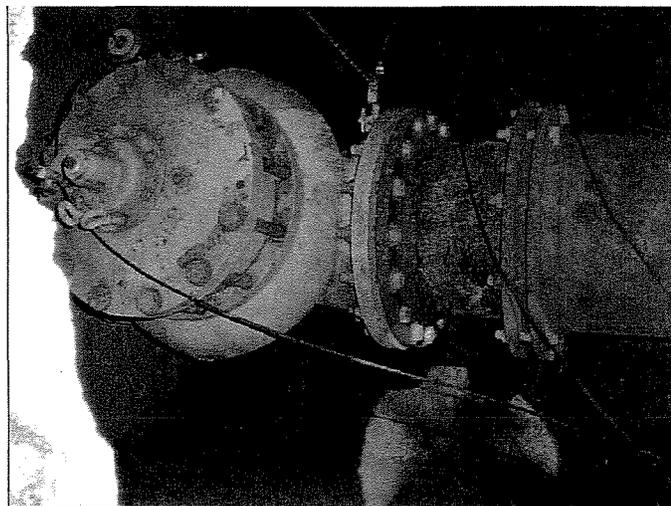


Figura 18 – VRP comandada a distância via telefone na região metropolitana de São Paulo (SABESP-SP)

## 8.1 – Estudo de Caso

No início do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa foi escolhido o município de Poços de Caldas, MG, considerando-se que o DMAE seria a empresa a ser utilizada com o objetivo de identificarmos, dentro de um subsetor a ser analisado, as deficiências de planejamento e operação, objetivando empregar a metodologia desenvolvida neste trabalho.

Embora a empresa disponha de um sistema moderno de operação, projetos, sistema de informação georeferenciado e um supervisor de telemetria capaz de, em tempo real, identificar qualquer tipo de anomalia no abastecimento público, deparamos com a necessidade de estudar um subsetor e não toda a cidade, em função de um cadastro técnico não atualizado, tanto da cidade como do setor estudado.

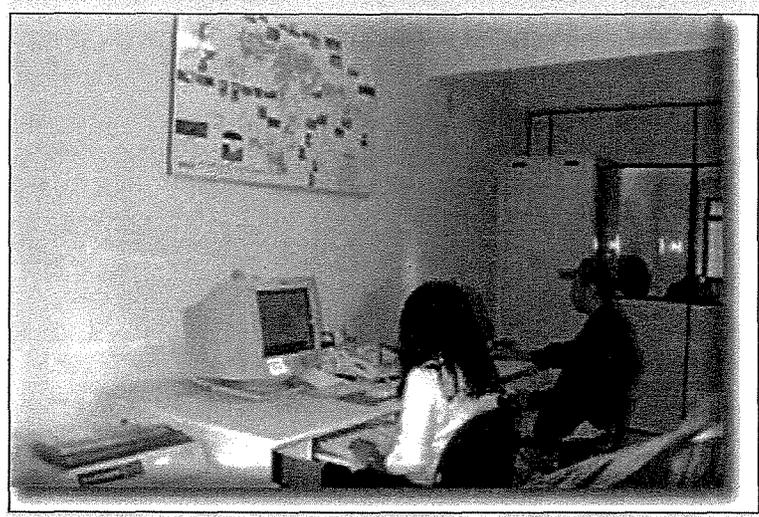


Figura 19 – Central de Supervisão e Controle – CSC (DMAE-Poços de Caldas)

Então, com esse objetivo, a rede construída é composta por 63 trechos, com 63 nós, 1 reservatório e uma 1 VRP. Entre dois nós, encontram-se os trechos das tubulações, com seus respectivos diâmetros, comprimentos, diferentes demandas e rugosidade constante, a fim de tornar a operação devidamente ajustada. Todos os dados obtidos foram resultado de um trabalho desenvolvido pela SEREC, em 1999, cujo Projeto Técnico estabelecia o Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água nesta cidade, contemplando em todos os nós vazões variáveis de trecho a trecho, informando os dados relativos aos nós de demanda que foram utilizados para o cálculo hidráulico da rede em estudo no modelo "SIMULA".

### 8.1.1 – Aplicação do modelo “SIMULA”

Com o objetivo de identificar os pontos deficientes do sistema de distribuição de água, o modelo de simulação hidráulica “*SIMULA Versão 1.0*”, versão acadêmica, foi utilizado na metodologia. O modelo pode ser rodado em regime permanente ou extensivo, com ou sem regras operacionais. O modelo permite ainda a interface gráfica da operação, o que garante a visualização dos nós em termos de carga, pressão, vazão, velocidade, níveis de reservatórios, VRPs etc. No caso em questão trabalharemos com regime permanente no sistema normal e também com a VRP atuando à jusante, estabelecendo pressão inicial de 30, 25 e 20 mH<sub>2</sub>O, conforme figuras abaixo:

---

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	C (#) ou e (mm)	Soma dos K Perdas locais
1	2	1	2	1000	300	100	0
2	3	2	3	55	400	100	0
3	4	3	4	135	400	100	0
4	5	4	5	130	400	100	0
5	6	5	6	220	400	100	0
6	7	6	7	170	400	100	0
7	8	7	8	115	400	100	0
8	9	8	9	210	150	100	0
9	10	9	10	150	150	100	0
10	11	10	11	130	300	100	0
11	12	11	12	95	300	100	0
12	13	12	13	140	300	100	0
13	14	13	14	120	300	100	0
14	15	14	15	80	300	100	0
15	16	15	2	185	300	100	0
16	17	8	16	160	400	100	0
17	18	16	17	155	400	100	0
18	19	17	18	200	400	100	0
19	20	18	19	235	400	100	0
20	21	19	28	293	250	100	0
21	22	20	21	145	250	100	0
22	23	21	22	200	300	100	0
23	24	22	10	225	300	100	0
24	25	19	23	220	150	100	0
25	26	23	24	329	150	100	0
26	27	24	25	120	150	100	0
27	28	25	26	25	150	100	0
28	29	26	27	265	300	100	0
29	30	27	19	275	300	100	0
30	31	26	28	185	300	100	0
31	32	28	29	160	300	100	0
32	33	29	30	207	300	100	0
33	34	30	31	35	150	100	0
34	35	31	32	205	150	100	0
35	36	32	33	180	150	100	0
36	37	33	25	167	150	100	0
37	38	24	34	170	150	100	0
38	39	34	35	195	150	100	0
39	40	35	36	223	150	100	0
40	41	36	37	145	150	100	0
41	42	37	38	83	150	100	0
42	43	38	31	155	150	100	0
43	44	38	39	265	150	100	0
44	45	39	40	173	100	100	0
45	46	40	41	130	150	100	0
46	47	41	42	140	150	100	0
47	48	42	37	100	150	100	0
48	49	39	43	230	150	100	0
49	50	43	44	165	150	100	0
50	51	44	45	100	150	100	0
51	52	45	46	130	250	100	0
52	53	46	47	275	300	100	0
53	54	47	48	420	300	100	0
54	55	48	30	353	300	100	0
55	56	45	49	155	250	100	0
56	57	49	50	110	250	100	0
57	58	50	51	117	200	100	0
58	59	51	52	215	150	100	0
59	60	52	53	180	150	100	0
60	61	53	40	123	150	100	0
61	62	45	54	280	150	100	0
62	63	54	55	140	150	100	0

Figura 20 – Setorização Atual sem a Válvula

**Entrada de Dados da Rede**

**ELEMENTOS DE ENTRADA**

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Nível atual (m)	Nível Mínimo (m)	Nível Máximo (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	1	100	1	1288.1	0	0	0
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Figura 21 – Setorização Atual sem a Válvula

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas

Reservatórios       Demandas

Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime

Inserir Linha

Copia      Apaga

	Número do Nó	Demanda 1 (l/s)	Demanda 2 (l/s)	Demanda 3 (l/s)	Demanda 4 (l/s)	Demanda 5 (l/s)	Demanda 6 (l/s)
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	.8	0	0	0	0	0
3	3	.2	0	0	0	0	0
4	4	.4	0	0	0	0	0
5	5	3.8	0	0	0	0	0
6	6	.7	0	0	0	0	0
7	7	.3	0	0	0	0	0
8	8	.9	0	0	0	0	0
9	9	.5	0	0	0	0	0
10	10	.5	0	0	0	0	0
11	11	.6	0	0	0	0	0
12	12	.6	0	0	0	0	0
13	13	.3	0	0	0	0	0
14	14	.6	0	0	0	0	0
15	15	.3	0	0	0	0	0
16	16	1	0	0	0	0	0
17	17	25.44	0	0	0	0	0
18	18	.3	0	0	0	0	0
19	19	1.2	0	0	0	0	0
20	20	11.93	0	0	0	0	0
21	21	16.54	0	0	0	0	0
22	22	1.8	0	0	0	0	0
23	23	.6	0	0	0	0	0
24	24	.6	0	0	0	0	0
25	25	.3	0	0	0	0	0
26	26	.4	0	0	0	0	0
27	27	.1	0	0	0	0	0
28	28	.4	0	0	0	0	0
29	29	.23	0	0	0	0	0
30	30	.43	0	0	0	0	0
31	31	.42	0	0	0	0	0
32	32	.48	0	0	0	0	0
33	33	.4	0	0	0	0	0
34	34	.7	0	0	0	0	0
35	35	1.5	0	0	0	0	0
36	36	.7	0	0	0	0	0
37	37	.41	0	0	0	0	0
38	38	.29	0	0	0	0	0
39	39	1.11	0	0	0	0	0
40	40	.6	0	0	0	0	0
41	41	.5	0	0	0	0	0
42	42	1	0	0	0	0	0
43	43	.9	0	0	0	0	0
44	44	3.79	0	0	0	0	0
45	45	.39	0	0	0	0	0
46	46	24.46	0	0	0	0	0
47	47	1	0	0	0	0	0
48	48	.6	0	0	0	0	0
49	49	.6	0	0	0	0	0
50	50	35.97	0	0	0	0	0
51	51	1.93	0	0	0	0	0
52	52	1	0	0	0	0	0
53	53	1	0	0	0	0	0
54	54	.6	0	0	0	0	0
55	55	8.98	0	0	0	0	0

Figura 22 – Setorização Atual sem a Válvula

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
 Inserir Linha  
 Copiar      Apagar

	Número do Nó	Cota z (m)	Cota x (m)	Cota y (m)
1	1	1288.1	0	0
2	2	1216	0	0
3	3	1218.4	0	0
4	4	1225.8	0	0
5	5	1228.8	0	0
6	6	1217.9	0	0
7	7	1200.4	0	0
8	8	1193.6	0	0
9	9	1191	0	0
10	10	1195.3	0	0
11	11	1198.2	0	0
12	12	1199	0	0
13	13	1201.1	0	0
14	14	1206	0	0
15	15	1210.1	0	0
16	16	1187.6	0	0
17	17	1185.7	0	0
18	18	1185.9	0	0
19	19	1193	0	0
20	20	1191	0	0
21	21	1209	0	0
22	22	1195.3	0	0
23	23	1187.4	0	0
24	24	1185.9	0	0
25	25	1185.9	0	0
26	26	1185.8	0	0
27	27	1185.9	0	0
28	28	1186.5	0	0
29	29	1187.4	0	0
30	30	1187.9	0	0
31	31	1187.7	0	0
32	32	1186.8	0	0
33	33	1186.2	0	0
34	34	1185.6	0	0
35	35	1192.4	0	0
36	36	1193.7	0	0
37	37	1187.9	0	0
38	38	1187.9	0	0
39	39	1188.9	0	0
40	40	1190.7	0	0
41	41	1198.2	0	0
42	42	1200.4	0	0
43	43	1188.9	0	0
44	44	1189.9	0	0
45	45	1189.8	0	0
46	46	1190.8	0	0
47	47	1190.8	0	0
48	48	1190.4	0	0
49	49	1189.6	0	0
50	50	1194.9	0	0
51	51	1201.9	0	0
52	52	1209.9	0	0
53	53	1196.9	0	0
54	54	1191.1	0	0
55	55	1192.8	0	0

Figura 23 – Setorização Atual sem a Válvula

RELATÓRIO DE RESULTADOS										
<input checked="" type="radio"/> TUBOS		<input type="radio"/> BOMBAS		<input type="radio"/> NÓS		Cancela		Imprime		Período
<input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> VÁLVULAS						0		
RESULTADOS NOS TUBOS										
Eno No.	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Carga Montante (m)	Carga Jusante (m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda Local (m)	Perda Dist. (m)	Perda Unit. (m/km)	
2	1000.0	300	1288.10	1262.86	161.10	2.28	.00	25.24	25.24	
3	55.0	400	1262.86	1262.67	118.02	.94	.00	.19	3.49	
4	135.0	400	1262.67	1262.20	117.82	.94	.00	.47	3.48	
5	130.0	400	1262.20	1261.75	117.42	.93	.00	.45	3.46	
6	220.0	400	1261.75	1261.03	113.62	.90	.00	.72	3.26	
7	170.0	400	1261.03	1260.48	112.92	.90	.00	.55	3.22	
8	115.0	400	1260.48	1260.12	112.62	.90	.00	.37	3.20	
9	210.0	150	1260.12	1260.80	-8.61	-.49	.00	.68	3.26	
10	150.0	150	1260.80	1261.34	-9.11	-.52	.00	.54	3.61	
11	130.0	300	1261.34	1261.59	-39.88	-.56	.00	.25	1.90	
12	95.0	300	1261.59	1261.77	-40.48	-.57	.00	.19	1.96	
13	140.0	300	1261.77	1262.06	-41.08	-.58	.00	.28	2.01	
14	120.0	300	1262.06	1262.30	-41.38	-.59	.00	.24	2.04	
15	80.0	300	1262.30	1262.47	-41.98	-.59	.00	.17	2.09	
16	185.0	300	1262.47	1262.86	-42.28	-.60	.00	.39	2.12	
17	160.0	400	1260.12	1259.54	120.33	.96	.00	.58	3.62	
18	155.0	400	1259.54	1258.98	119.33	.95	.00	.55	3.57	
19	200.0	400	1258.98	1258.53	93.89	.75	.00	.46	2.29	
20	235.0	400	1258.53	1257.99	93.59	.74	.00	.53	2.27	
21	293.0	250	1257.99	1256.60	40.54	.83	.00	1.40	4.76	
22	145.0	250	1260.81	1260.88	-11.33	-.24	.00	.07	.49	
23	200.0	300	1260.88	1261.08	-28.47	-.40	.00	.20	1.02	
24	225.0	300	1261.08	1261.34	-30.27	-.43	.00	.26	1.14	
25	220.0	150	1257.99	1257.32	8.31	.47	.00	.67	3.04	
26	329.0	150	1257.32	1256.45	7.71	-.44	.00	.87	2.65	
27	120.0	150	1256.45	1256.57	-4.63	-.26	.00	.12	1.03	
28	25.0	150	1256.57	1256.79	-14.43	-.32	.00	.21	8.46	
29	265.0	300	1256.79	1257.38	-43.44	-.61	.00	.59	2.23	
30	275.0	300	1257.38	1257.99	-43.54	-.62	.00	.62	2.24	
31	185.0	300	1256.79	1256.60	28.62	.40	.00	.19	1.03	
32	160.0	300	1256.60	1255.76	68.76	.97	.00	.83	5.22	
33	207.0	300	1255.76	1254.69	68.53	.97	.00	1.07	5.18	
34	35.0	150	1254.69	1254.61	7.18	-.41	.00	.08	2.33	
35	205.0	150	1254.61	1255.27	-8.62	-.49	.00	.67	3.26	
36	180.0	150	1255.27	1255.92	-9.10	-.51	.00	.65	3.60	
37	167.0	150	1255.92	1256.57	-9.50	-.54	.00	.65	3.90	
38	170.0	150	1256.45	1255.47	11.74	.66	.00	.98	5.77	
39	195.0	150	1255.47	1254.46	11.04	-.62	.00	1.00	5.15	
40	223.0	150	1254.46	1253.59	9.54	.54	.00	.88	3.93	
41	145.0	150	1253.59	1253.09	8.84	.50	.00	.49	3.41	
42	83.0	150	1253.09	1253.13	-2.96	-.17	.00	.04	.45	
43	155.0	150	1253.13	1254.61	-15.38	-.87	.00	1.48	9.52	
44	265.0	150	1253.13	1251.51	12.13	.69	.00	1.63	6.13	
45	173.0	100	1251.51	1251.36	1.45	.18	.00	.15	.87	
46	130.0	150	1251.36	1251.90	-9.89	-.56	.00	.55	4.20	
47	140.0	150	1251.90	1252.55	-10.39	-.59	.00	.64	4.61	
48	100.0	150	1252.55	1253.09	-11.39	-.64	.00	.55	5.46	
49	230.0	150	1251.51	1250.60	9.57	.54	.00	.91	3.95	
50	165.0	150	1250.60	1250.05	8.67	.49	.00	.54	3.29	
51	100.0	150	1250.05	1249.94	4.88	.28	.00	.11	1.13	
52	130.0	250	1249.94	1250.41	-34.86	-.71	.00	.47	3.60	
53	275.0	300	1250.41	1251.50	-59.32	-.84	.00	1.09	3.97	
54	420.0	300	1251.50	1253.22	-60.32	-.85	.00	1.72	4.09	
55	353.0	300	1253.22	1254.69	-60.92	-.86	.00	1.47	4.17	
56	155.0	250	1249.94	1249.52	29.70	.61	.00	.42	2.69	
57	110.0	250	1249.52	1249.24	29.16	.59	.00	.28	2.59	
58	117.0	200	1249.24	1249.30	-6.81	-.22	.00	.06	.52	
59	215.0	150	1249.30	1250.02	-8.74	-.49	.00	.72	3.34	
60	180.0	150	1250.02	1250.75	-9.74	-.55	.00	.74	4.09	
61	123.0	150	1250.75	1251.36	-10.74	-.61	.00	.60	4.90	
62	280.0	150	1249.94	1248.83	9.58	.54	.00	1.11	3.96	
63	140.0	150	1248.83	1248.34	8.98	.51	.00	.49	3.52	

Figura 24 – Resultado da Setorização Atual sem a Válvula



RELATÓRIO DE RESULTADOS					
<input type="radio"/> TUBOS <input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> BOMBAS <input type="radio"/> VÁLVULAS		<input checked="" type="radio"/> NÓS	Período <input type="text" value="0"/>
SITUAÇÃO NOS NÓS ESPECIFICADOS					
Nº Número	Cota Geométrica (m)	Carga Piezométrica (m)	Pressão Disponível (m)		
1	1288.10	1288.10	.00		
2	1216.00	1262.86	46.86		
3	1218.40	1262.67	44.27		
4	1225.80	1262.20	36.40		
5	1228.80	1261.75	32.95		
6	1217.90	1261.03	43.13		
7	1200.40	1260.48	60.08		
8	1193.60	1260.12	66.52		
9	1191.00	1260.80	69.80		
10	1195.30	1261.34	66.04		
11	1198.20	1261.59	63.39		
12	1199.00	1261.77	62.77		
13	1201.10	1262.06	60.96		
14	1206.00	1262.30	56.30		
15	1210.10	1262.47	52.37		
16	1187.60	1259.54	71.94		
17	1185.70	1258.98	73.28		
18	1185.90	1258.53	72.63		
19	1193.00	1257.99	64.99		
20	1191.00	1260.81	69.81		
21	1209.00	1260.88	51.88		
22	1195.30	1261.08	65.78		
23	1187.40	1257.32	69.92		
24	1185.90	1256.45	70.55		
25	1185.90	1256.57	70.67		
26	1185.80	1256.79	70.99		
27	1185.90	1257.38	71.48		
28	1186.50	1256.60	70.10		
29	1187.40	1255.76	68.36		
30	1187.90	1254.69	66.79		
31	1187.70	1254.61	66.91		
32	1186.80	1255.27	68.47		
33	1186.20	1255.92	69.72		
34	1185.60	1255.47	69.87		
35	1192.40	1254.46	62.06		
36	1193.70	1253.59	59.89		
37	1187.90	1253.09	65.19		
38	1187.90	1253.13	65.23		
39	1188.90	1251.51	62.61		
40	1190.70	1251.36	60.66		
41	1198.20	1251.90	53.70		
42	1200.40	1252.55	52.15		
43	1188.90	1250.60	61.70		
44	1189.90	1250.05	60.15		
45	1189.80	1249.94	60.14		
46	1190.80	1250.41	59.61		
47	1190.80	1251.50	60.70		
48	1190.40	1253.22	62.82		
49	1189.60	1249.52	59.92		
50	1194.90	1249.24	54.34		
51	1201.90	1249.30	47.40		
52	1209.90	1250.02	40.12		
53	1196.90	1250.75	53.85		
54	1191.10	1248.83	57.73		
55	1192.80	1248.34	55.54		

Figura 26 – Resultado da Setorização Atual sem a Válvula

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Mlvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Não Montante	Não Jusante	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	C (#) ou e (mm)	Soma dos K Perdas locais
1	2	1	101	1000	300	100	0
2	3	2	3	55	400	100	0
3	4	3	4	135	400	100	0
4	5	4	5	130	400	100	0
5	6	5	6	220	400	100	0
6	7	6	7	170	400	100	0
7	8	7	8	115	400	100	0
8	9	8	9	210	150	100	0
9	10	9	10	150	150	100	0
10	11	10	11	130	300	100	0
11	12	11	12	95	300	100	0
12	13	12	13	140	300	100	0
13	14	13	14	120	300	100	0
14	15	14	15	80	300	100	0
15	16	15	2	185	300	100	0
16	17	8	16	160	400	100	0
17	18	16	17	155	400	100	0
18	19	17	18	200	400	100	0
19	20	18	19	235	400	100	0
20	21	19	20	293	250	100	0
21	22	20	21	145	250	100	0
22	23	21	22	200	300	100	0
23	24	22	10	225	300	100	0
24	25	19	23	220	150	100	0
25	26	23	24	329	150	100	0
26	27	24	25	120	150	100	0
27	28	25	26	25	150	100	0
28	29	26	27	265	300	100	0
29	30	27	19	275	300	100	0
30	31	26	28	185	300	100	0
31	32	28	29	160	300	100	0
32	33	29	30	207	300	100	0
33	34	30	31	35	150	100	0
34	35	31	32	205	150	100	0
35	36	32	33	180	150	100	0
36	37	33	25	167	150	100	0
37	38	24	34	170	150	100	0
38	39	34	35	195	150	100	0
39	40	35	36	223	150	100	0
40	41	36	37	145	150	100	0
41	42	37	38	83	150	100	0
42	43	38	31	155	150	100	0
43	44	38	39	265	150	100	0
44	45	39	40	173	100	100	0
45	46	40	41	130	150	100	0
46	47	41	42	140	150	100	0
47	48	42	37	100	150	100	0
48	49	39	43	230	150	100	0
49	50	43	44	165	150	100	0
50	51	44	45	100	150	100	0
51	52	45	46	130	250	100	0
52	53	46	47	275	300	100	0
53	54	47	48	420	300	100	0
54	55	48	30	353	300	100	0
55	56	45	49	155	250	100	0
56	57	49	50	110	250	100	0
57	58	50	51	117	200	100	0
58	59	51	52	215	150	100	0
59	60	52	53	180	150	100	0
60	61	53	40	123	150	100	0
61	62	45	54	280	150	100	0
62	63	54	55	140	150	100	0

Figura 27 - Setorizao Atual com a Válvula atuando em 30 mH<sub>2</sub>O



Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

*Simulador*

	Número do Nó	Demanda 1 (l/s)	Demanda 2 (l/s)	Demanda 3 (l/s)	Demanda 4 (l/s)	Demanda 5 (l/s)	Demanda 6 (l/s)
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	.8	0	0	0	0	0
3	3	.2	0	0	0	0	0
4	4	.4	0	0	0	0	0
5	5	3.8	0	0	0	0	0
6	6	.7	0	0	0	0	0
7	7	.3	0	0	0	0	0
8	8	.9	0	0	0	0	0
9	9	.5	0	0	0	0	0
10	10	.5	0	0	0	0	0
11	11	.6	0	0	0	0	0
12	12	.6	0	0	0	0	0
13	13	.3	0	0	0	0	0
14	14	.6	0	0	0	0	0
15	15	.3	0	0	0	0	0
16	16	1	0	0	0	0	0
17	17	25.44	0	0	0	0	0
18	18	.3	0	0	0	0	0
19	19	1.2	0	0	0	0	0
20	20	11.93	0	0	0	0	0
21	21	16.54	0	0	0	0	0
22	22	1.8	0	0	0	0	0
23	23	.6	0	0	0	0	0
24	24	.6	0	0	0	0	0
25	25	.3	0	0	0	0	0
26	26	.4	0	0	0	0	0
27	27	.1	0	0	0	0	0
28	28	.4	0	0	0	0	0
29	29	.23	0	0	0	0	0
30	30	.43	0	0	0	0	0
31	31	.42	0	0	0	0	0
32	32	.48	0	0	0	0	0
33	33	.4	0	0	0	0	0
34	34	.7	0	0	0	0	0
35	35	1.5	0	0	0	0	0
36	36	.7	0	0	0	0	0
37	37	.41	0	0	0	0	0
38	38	.29	0	0	0	0	0
39	39	1.11	0	0	0	0	0
40	40	.6	0	0	0	0	0
41	41	.5	0	0	0	0	0
42	42	1	0	0	0	0	0
43	43	.9	0	0	0	0	0
44	44	3.79	0	0	0	0	0
45	45	.39	0	0	0	0	0
46	46	24.46	0	0	0	0	0
47	47	1	0	0	0	0	0
48	48	.6	0	0	0	0	0
49	49	.6	0	0	0	0	0
50	50	35.97	0	0	0	0	0
51	51	1.93	0	0	0	0	0
52	52	1	0	0	0	0	0
53	53	1	0	0	0	0	0
54	54	.6	0	0	0	0	0
55	55	8.98	0	0	0	0	0

Figura 30 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

*Simulador*

	Número do Nó	Cota z (m)	Cota x (m)	Cota y (m)
1	1	1288.1	0	0
2	2	1216	0	0
3	3	1218.4	0	0
4	4	1225.8	0	0
5	5	1228.8	0	0
6	6	1217.9	0	0
7	7	1200.4	0	0
8	8	1193.6	0	0
9	9	1191	0	0
10	10	1195.3	0	0
11	11	1198.2	0	0
12	12	1199	0	0
13	13	1201.1	0	0
14	14	1206	0	0
15	15	1210.1	0	0
16	16	1187.6	0	0
17	17	1185.7	0	0
18	18	1185.9	0	0
19	19	1193	0	0
20	20	1191	0	0
21	21	1209	0	0
22	22	1195.3	0	0
23	23	1187.4	0	0
24	24	1185.9	0	0
25	25	1185.9	0	0
26	26	1185.8	0	0
27	27	1185.9	0	0
28	28	1186.5	0	0
29	29	1187.4	0	0
30	30	1187.9	0	0
31	31	1187.7	0	0
32	32	1186.8	0	0
33	33	1186.2	0	0
34	34	1185.6	0	0
35	35	1192.4	0	0
36	36	1193.7	0	0
37	37	1187.9	0	0
38	38	1187.9	0	0
39	39	1188.9	0	0
40	40	1190.7	0	0
41	41	1198.2	0	0
42	42	1200.4	0	0
43	43	1188.9	0	0
44	44	1189.9	0	0
45	45	1189.8	0	0
46	46	1190.8	0	0
47	47	1190.8	0	0
48	48	1190.4	0	0
49	49	1189.6	0	0
50	50	1194.9	0	0
51	51	1201.9	0	0
52	52	1209.9	0	0
53	53	1196.9	0	0
54	54	1191.1	0	0
55	55	1192.8	0	0
56	101	1216	0	0

Figura 31 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH<sub>2</sub>O

RELATÓRIO DE RESULTADOS									
<input checked="" type="radio"/> TUBOS <input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> BOMBAS <input type="radio"/> VÁLVULAS		<input type="radio"/> NÓS		<input type="button" value="Cancela"/> <input type="button" value="Imprime"/>		Período <input type="text" value="0"/>	
RESULTADOS NOS TUBOS									
Eno Ito.	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Carga Montante (m)	Carga Jusante (m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda Local (m)	Perda Dist. (m)	Perda Unit. (m/km)
2	1000.0	300	1288.10	1262.86	161.10	2.28	.00	25.24	25.24
3	55.0	400	1246.00	1245.84	108.37	.86	.00	.16	2.98
4	135.0	400	1245.84	1245.43	108.17	.86	.00	.40	2.97
5	130.0	400	1245.43	1245.05	107.77	.86	.00	.38	2.95
6	220.0	400	1245.05	1244.44	103.97	.83	.00	.61	2.76
7	170.0	400	1244.44	1243.98	103.27	.82	.00	.46	2.73
8	115.0	400	1243.98	1243.67	102.97	.82	.00	.31	2.71
9	210.0	150	1243.67	1243.71	-1.97	-.11	.00	-.04	.21
10	150.0	150	1243.71	1243.76	-2.47	-.14	.00	.05	.32
11	130.0	300	1243.76	1244.13	-49.53	-.70	.00	.37	2.84
12	95.0	300	1244.13	1244.40	-50.13	-.71	.00	.28	2.91
13	140.0	300	1244.40	1244.82	-50.73	-.72	.00	.42	2.97
14	120.0	300	1244.82	1245.18	-51.03	-.72	.00	.36	3.00
15	80.0	300	1245.18	1245.43	-51.63	-.73	.00	.25	3.07
16	185.0	300	1245.43	1246.00	-51.93	-.73	.00	.57	3.10
17	160.0	400	1243.67	1243.22	104.04	.83	.00	.44	2.77
18	155.0	400	1243.22	1242.80	103.04	.82	.00	.42	2.72
19	200.0	400	1242.80	1242.48	77.60	.62	.00	.32	1.61
20	235.0	400	1242.48	1242.11	77.30	.62	.00	.37	1.60
21	293.0	250	1242.11	1242.36	-16.29	-.33	.00	.26	.88
22	145.0	250	1242.36	1242.72	-28.22	-.57	.00	.35	2.44
23	200.0	300	1242.72	1243.19	-44.76	-.83	.00	.47	2.36
24	225.0	300	1243.19	1243.76	-46.56	-.66	.00	.57	2.53
25	220.0	150	1242.11	1240.51	13.29	.75	.00	1.60	7.27
26	329.0	150	1240.51	1238.31	12.69	.72	.00	2.20	6.68
27	120.0	150	1238.31	1238.31	-.63	-.04	.00	.00	.03
28	25.0	150	1238.31	1238.46	-11.83	-.67	.00	.15	5.90
29	265.0	300	1238.46	1240.25	-79.00	-1.12	.00	1.79	6.74
30	275.0	300	1240.25	1242.11	-79.10	-1.12	.00	1.86	6.76
31	185.0	300	1238.46	1237.55	66.72	.94	.00	.91	4.93
32	160.0	300	1237.55	1236.77	66.32	.94	.00	.78	4.88
33	207.0	300	1236.77	1235.76	66.09	.93	.00	1.00	4.85
34	35.0	150	1235.76	1235.72	5.07	.29	.00	.04	1.22
35	205.0	150	1235.72	1236.61	-10.07	-.57	.00	.89	4.35
36	180.0	150	1236.61	1237.47	-10.55	-.60	.00	.85	4.74
37	167.0	150	1237.47	1238.31	-10.95	-.62	.00	.85	5.08
38	170.0	150	1238.31	1237.17	12.72	.72	.00	1.14	6.70
39	195.0	150	1237.17	1235.99	12.02	.68	.00	1.18	6.04
40	223.0	150	1235.99	1234.94	10.52	.60	.00	1.05	4.72
41	145.0	150	1234.94	1234.34	9.82	.56	.00	.60	4.15
42	83.0	150	1234.34	1234.36	-2.15	-.12	.00	.02	.25
43	155.0	150	1234.36	1235.72	-14.72	-.83	.00	1.36	8.78
44	265.0	150	1234.36	1232.69	12.28	.70	.00	1.67	6.28
45	173.0	100	1232.69	1232.55	1.43	.18	.00	.15	.84
46	130.0	150	1232.55	1233.11	-10.06	-.57	.00	.56	4.34
47	140.0	150	1233.11	1233.78	-10.56	-.60	.00	.66	4.75
48	100.0	150	1233.78	1234.34	-11.56	-.65	.00	.56	5.61
49	230.0	150	1232.69	1231.75	9.75	.55	.00	.94	4.10
50	165.0	150	1231.75	1231.19	8.85	.50	.00	.56	3.42
51	100.0	150	1231.19	1231.07	5.06	.29	.00	.12	1.22
52	130.0	250	1231.07	1231.53	-34.53	-.70	.00	.46	3.54
53	275.0	300	1231.53	1232.61	-58.99	-.83	.00	1.08	3.93
54	420.0	300	1232.61	1234.31	-59.99	-.85	.00	1.70	4.05
55	353.0	300	1234.31	1235.76	-60.59	-.86	.00	1.46	4.13
56	155.0	250	1231.07	1230.65	29.62	.60	.00	.41	2.66
57	110.0	250	1230.65	1230.37	29.02	.59	.00	.28	2.56
58	117.0	200	1230.37	1230.44	-6.95	-.22	.00	.06	.54
59	215.0	150	1230.44	1231.18	-8.88	-.50	.00	.74	3.45
60	180.0	150	1231.18	1231.93	-9.88	-.56	.00	.76	4.20
61	123.0	150	1231.93	1232.55	-10.88	-.62	.00	.62	5.02
62	280.0	150	1231.07	1229.96	3.58	.54	.00	1.11	3.96
63	140.0	150	1229.96	1229.46	8.98	.51	.00	.49	3.52

Figura 32 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH<sub>2</sub>O



RELATÓRIO DE RESULTADOS			
<input type="radio"/> TUBOS <input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> BOMBAS <input type="radio"/> VÁLVULAS	
		<input checked="" type="radio"/> NÓS	
		<input type="button" value="Cancela"/> <input type="button" value="Imprime"/>	
		Período <input type="text" value="0"/>	
SITUAÇÃO NOS NÓS ESPECIFICADOS			
Nº Número	Cota Geométrica (m)	Carga Piezométrica (m)	Pressão Disponível (m)
1	1288.10	1288.10	.00
2	1216.00	1246.00	30.00
3	1218.40	1245.84	27.44
4	1225.80	1245.43	19.63
5	1228.80	1245.05	16.25
6	1217.90	1244.44	26.54
7	1200.40	1243.98	43.58
8	1193.60	1243.67	50.07
9	1191.00	1243.71	52.71
10	1195.30	1243.76	48.46
11	1198.20	1244.13	45.93
12	1199.00	1244.40	45.40
13	1201.10	1244.82	43.72
14	1206.00	1245.18	39.18
15	1210.10	1245.43	35.33
16	1187.60	1243.22	55.62
17	1185.70	1242.80	57.10
18	1185.90	1242.48	56.58
19	1193.00	1242.11	49.11
20	1191.00	1242.36	51.36
21	1209.00	1242.72	33.72
22	1195.30	1243.19	47.89
23	1187.40	1240.51	53.11
24	1185.90	1238.31	52.41
25	1185.90	1238.31	52.41
26	1185.80	1238.46	52.66
27	1185.90	1240.25	54.35
28	1186.50	1237.55	51.05
29	1187.40	1236.77	49.37
30	1187.90	1235.76	47.86
31	1187.70	1235.72	48.02
32	1186.80	1236.61	49.81
33	1186.20	1237.47	51.27
34	1185.60	1237.17	51.57
35	1192.40	1236.99	43.59
36	1193.70	1234.94	41.24
37	1187.90	1234.34	46.44
38	1187.90	1234.36	46.46
39	1188.90	1232.69	43.79
40	1190.70	1232.55	41.85
41	1198.20	1233.11	34.91
42	1200.40	1233.78	33.38
43	1188.90	1231.75	42.85
44	1189.90	1231.19	41.29
45	1189.80	1231.07	41.27
46	1190.80	1231.53	40.73
47	1190.80	1232.61	41.81
48	1190.40	1234.31	43.91
49	1189.60	1230.65	41.05
50	1194.90	1230.37	36.47
51	1201.90	1230.44	28.54
52	1209.90	1231.18	21.28
53	1196.90	1231.93	35.03
54	1191.10	1229.96	38.86
55	1192.80	1229.46	36.66
101	1216.00	1262.86	46.86

Figura 35 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 30 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede							
ELEMENTOS DA ENTRADA				<div style="text-align: center; font-size: 2em; font-family: cursive;">Simulador</div>			
<input checked="" type="radio"/> Tubos	<input type="radio"/> Válvulas	<input type="radio"/> Reservatórios	<input type="radio"/> Demandas				
<input type="button" value="Inserir Linha"/>							
<input type="button" value="Copia"/> <input type="button" value="Apaga"/>							
	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	C (#) ou e (mm)	Soma dos K Perdas locais
1	2	1	101	1000	300	100	0
2	3	2	3	55	400	100	0
3	4	3	4	135	400	100	0
4	5	4	5	130	400	100	0
5	6	5	6	220	400	100	0
6	7	6	7	170	400	100	0
7	8	7	8	115	400	100	0
8	9	8	9	210	150	100	0
9	10	9	10	150	150	100	0
10	11	10	11	130	300	100	0
11	12	11	12	95	300	100	0
12	13	12	13	140	300	100	0
13	14	13	14	120	300	100	0
14	15	14	15	80	300	100	0
15	16	15	2	185	300	100	0
16	17	8	16	160	400	100	0
17	18	16	17	155	400	100	0
18	19	17	18	200	400	100	0
19	20	18	19	235	400	100	0
20	21	19	20	293	250	100	0
21	22	20	21	145	250	100	0
22	23	21	22	200	300	100	0
23	24	22	10	225	300	100	0
24	25	19	23	220	150	100	0
25	26	23	24	329	150	100	0
26	27	24	25	120	150	100	0
27	28	25	26	25	150	100	0
28	29	26	27	265	300	100	0
29	30	27	19	275	300	100	0
30	31	26	28	185	300	100	0
31	32	28	29	160	300	100	0
32	33	29	30	207	300	100	0
33	34	30	31	35	150	100	0
34	35	31	32	205	150	100	0
35	36	32	33	180	150	100	0
36	37	33	25	167	150	100	0
37	38	24	34	170	150	100	0
38	39	34	35	195	150	100	0
39	40	35	36	223	150	100	0
40	41	36	37	145	150	100	0
41	42	37	38	83	150	100	0
42	43	38	31	155	150	100	0
43	44	38	39	265	150	100	0
44	45	39	40	173	100	100	0
45	46	40	41	130	150	100	0
46	47	41	42	140	150	100	0
47	48	42	37	100	150	100	0
48	49	39	43	230	150	100	0
49	50	43	44	165	150	100	0
50	51	44	45	100	150	100	0
51	52	45	46	130	250	100	0
52	53	46	47	275	300	100	0
53	54	47	48	420	300	100	0
54	55	48	30	353	300	100	0
55	56	45	49	155	250	100	0
56	57	49	50	110	250	100	0
57	58	50	51	117	200	100	0
58	59	51	52	215	150	100	0
59	60	52	53	180	150	100	0
60	61	53	40	123	150	100	0
61	62	45	54	280	150	100	0
62	63	54	55	140	150	100	0

Figura 36 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Nível atual (m)	Nível Mínimo (m)	Nível Máximo (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	1	100	1	1288.1	0	0	0
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Figura 37 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

CÓDIGOS DE TIPO DAS VALVULAS

Válvulas de Controle  
1 - Simples      3 - Pressão a montante  
2 - Retenção      4 - Pressão a jusante  
7 - Descarga livre      5 - Pressão diferencial  
6 - Vazão

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Código de Tipo (ver quadro)	Diâmetro (mm)	Dado relativo (#), (m) ou (l/s)
1	64	101	2	4	300	1241
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

Figura 38 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Cópia      Apaga

	Número do Nó	Demanda 1 (l/s)	Demanda 2 (l/s)	Demanda 3 (l/s)	Demanda 4 (l/s)	Demanda 5 (l/s)	Demanda 6 (l/s)
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	.8	0	0	0	0	0
3	3	.2	0	0	0	0	0
4	4	.4	0	0	0	0	0
5	5	3.8	0	0	0	0	0
6	6	.7	0	0	0	0	0
7	7	.3	0	0	0	0	0
8	8	.9	0	0	0	0	0
9	9	.5	0	0	0	0	0
10	10	.5	0	0	0	0	0
11	11	.6	0	0	0	0	0
12	12	.6	0	0	0	0	0
13	13	.3	0	0	0	0	0
14	14	.6	0	0	0	0	0
15	15	.3	0	0	0	0	0
16	16	1	0	0	0	0	0
17	17	25.44	0	0	0	0	0
18	18	.3	0	0	0	0	0
19	19	1.2	0	0	0	0	0
20	20	11.93	0	0	0	0	0
21	21	16.54	0	0	0	0	0
22	22	1.8	0	0	0	0	0
23	23	.6	0	0	0	0	0
24	24	.6	0	0	0	0	0
25	25	.3	0	0	0	0	0
26	26	.4	0	0	0	0	0
27	27	.1	0	0	0	0	0
28	28	.4	0	0	0	0	0
29	29	.23	0	0	0	0	0
30	30	.43	0	0	0	0	0
31	31	.42	0	0	0	0	0
32	32	.48	0	0	0	0	0
33	33	.4	0	0	0	0	0
34	34	.7	0	0	0	0	0
35	35	1.5	0	0	0	0	0
36	36	.7	0	0	0	0	0
37	37	.41	0	0	0	0	0
38	38	.29	0	0	0	0	0
39	39	1.11	0	0	0	0	0
40	40	.6	0	0	0	0	0
41	41	.5	0	0	0	0	0
42	42	1	0	0	0	0	0
43	43	.9	0	0	0	0	0
44	44	3.79	0	0	0	0	0
45	45	.39	0	0	0	0	0
46	46	24.46	0	0	0	0	0
47	47	1	0	0	0	0	0
48	48	.6	0	0	0	0	0
49	49	.6	0	0	0	0	0
50	50	35.97	0	0	0	0	0
51	51	1.93	0	0	0	0	0
52	52	1	0	0	0	0	0
53	53	1	0	0	0	0	0
54	54	.6	0	0	0	0	0
55	55	8.98	0	0	0	0	0

Figura 39 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

PARÂMETROS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Número do Nó	Cota z (m)	Cota x (m)	Cota y (m)
1	1	1288.1	0	0
2	2	1216	0	0
3	3	1218.4	0	0
4	4	1225.8	0	0
5	5	1228.8	0	0
6	6	1217.9	0	0
7	7	1200.4	0	0
8	8	1193.6	0	0
9	9	1191	0	0
10	10	1195.3	0	0
11	11	1198.2	0	0
12	12	1199	0	0
13	13	1201.1	0	0
14	14	1206	0	0
15	15	1210.1	0	0
16	16	1187.6	0	0
17	17	1185.7	0	0
18	18	1185.9	0	0
19	19	1193	0	0
20	20	1191	0	0
21	21	1209	0	0
22	22	1195.3	0	0
23	23	1187.4	0	0
24	24	1185.9	0	0
25	25	1185.9	0	0
26	26	1185.8	0	0
27	27	1185.9	0	0
28	28	1186.5	0	0
29	29	1187.4	0	0
30	30	1187.9	0	0
31	31	1187.7	0	0
32	32	1186.8	0	0
33	33	1186.2	0	0
34	34	1185.6	0	0
35	35	1192.4	0	0
36	36	1193.7	0	0
37	37	1187.9	0	0
38	38	1187.9	0	0
39	39	1188.9	0	0
40	40	1190.7	0	0
41	41	1198.2	0	0
42	42	1200.4	0	0
43	43	1188.9	0	0
44	44	1189.9	0	0
45	45	1189.8	0	0
46	46	1190.8	0	0
47	47	1190.8	0	0
48	48	1190.4	0	0
49	49	1189.6	0	0
50	50	1194.9	0	0
51	51	1201.9	0	0
52	52	1209.9	0	0
53	53	1196.9	0	0
54	54	1191.1	0	0
55	55	1192.8	0	0
56	101	1216	0	0

Figura 40 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

RELATÓRIO DE RESULTADOS										
<input checked="" type="radio"/> TUBOS		<input type="radio"/> BOMBAS		<input type="radio"/> NÓS		Cancela		Imprime		Período
<input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> VÁLVULAS								0
RESULTADOS NOS TUBOS										
Eno. Ilo.	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Carga Montante (m)	Carga Jusante (m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda Local (m)	Perda Dist. (m)	Perda Unit. (m/km)	
2	1000.0	300	1288.10	1262.86	161.10	2.28	.00	25.24	25.24	
3	55.0	400	1241.00	1240.84	108.37	.86	.00	.16	2.98	
4	135.0	400	1240.84	1240.43	108.17	.86	.00	.40	2.97	
5	130.0	400	1240.43	1240.05	107.77	.86	.00	.38	2.96	
6	220.0	400	1240.05	1239.44	103.97	.83	.00	.61	2.76	
7	170.0	400	1239.44	1238.98	103.27	.82	.00	.46	2.73	
8	115.0	400	1238.98	1238.67	102.97	.82	.00	.31	2.71	
9	210.0	150	1238.67	1238.71	-1.97	-.11	.00	.04	.21	
10	150.0	150	1238.71	1238.76	-2.47	-.14	.00	.05	.32	
11	130.0	300	1238.76	1239.13	-49.53	-.70	.00	.37	2.84	
12	95.0	300	1239.13	1239.40	-50.13	-.71	.00	.28	2.91	
13	140.0	300	1239.40	1239.82	-50.73	-.72	.00	.42	2.97	
14	120.0	300	1239.82	1240.18	-51.03	-.72	.00	.36	3.00	
15	80.0	300	1240.18	1240.43	-51.63	-.73	.00	.25	3.07	
16	185.0	300	1240.43	1241.00	-51.93	-.73	.00	.57	3.10	
17	160.0	400	1238.67	1238.22	104.04	.83	.00	.44	2.77	
18	155.0	400	1238.22	1237.80	103.04	.82	.00	.42	2.72	
19	200.0	400	1237.80	1237.48	77.60	.62	.00	.32	1.61	
20	235.0	400	1237.48	1237.11	77.30	.62	.00	.37	1.60	
21	293.0	250	1237.11	1237.36	-16.29	-.33	.00	.26	.88	
22	145.0	250	1237.36	1237.72	-28.22	-.57	.00	.35	2.44	
23	200.0	300	1237.72	1238.19	-44.76	-.63	.00	.47	2.36	
24	225.0	300	1238.19	1238.76	-46.56	-.66	.00	.57	2.53	
25	220.0	150	1237.11	1235.51	13.29	.75	.00	1.60	7.27	
26	329.0	150	1235.51	1233.31	12.69	.72	.00	2.20	6.68	
27	120.0	150	1233.31	1233.31	-.63	-.04	.00	.00	.03	
28	25.0	150	1233.31	1233.46	-11.88	-.67	.00	.15	5.90	
29	265.0	300	1233.46	1235.25	-79.00	-1.12	.00	1.79	6.74	
30	275.0	300	1235.25	1237.11	-79.10	-1.12	.00	1.86	6.76	
31	185.0	300	1233.46	1232.55	66.72	.94	.00	.91	4.93	
32	160.0	300	1232.55	1231.77	66.32	.94	.00	.78	4.88	
33	207.0	300	1231.77	1230.76	66.09	.93	.00	1.00	4.85	
34	35.0	150	1230.76	1230.72	5.07	.29	.00	.04	1.22	
35	205.0	150	1230.72	1231.61	-10.07	-.57	.00	.89	4.35	
36	180.0	150	1231.61	1232.47	-10.55	-.60	.00	.85	4.74	
37	167.0	150	1232.47	1233.31	-10.95	-.62	.00	.85	5.08	
38	170.0	150	1233.31	1232.17	12.72	.72	.00	1.14	6.70	
39	195.0	150	1232.17	1230.99	12.02	.68	.00	1.18	6.04	
40	223.0	150	1230.99	1229.94	10.52	.60	.00	1.05	4.72	
41	145.0	150	1229.94	1229.34	9.82	.56	.00	.60	4.15	
42	83.0	150	1229.34	1229.36	-2.15	-.12	.00	.02	.25	
43	155.0	150	1229.36	1230.72	-14.72	-.83	.00	1.36	8.78	
44	265.0	150	1229.36	1227.69	12.28	.70	.00	1.67	6.28	
45	173.0	100	1227.69	1227.55	1.43	.18	.00	.15	.84	
46	130.0	150	1227.55	1228.11	-10.06	-.57	.00	.56	4.34	
47	140.0	150	1228.11	1228.78	-10.56	-.60	.00	.66	4.75	
48	100.0	150	1228.78	1229.34	-11.56	-.65	.00	.56	5.61	
49	230.0	150	1227.69	1226.75	9.75	.55	.00	.94	4.10	
50	165.0	150	1226.75	1226.19	8.85	.50	.00	.56	3.42	
51	100.0	150	1226.19	1226.07	5.06	.29	.00	.12	1.22	
52	130.0	250	1226.07	1226.53	-34.53	-.70	.00	.46	3.54	
53	275.0	300	1226.53	1227.61	-58.99	-.83	.00	1.08	3.93	
54	420.0	300	1227.61	1229.31	-59.99	-.85	.00	1.70	4.05	
55	353.0	300	1229.31	1230.76	-60.59	-.86	.00	1.46	4.13	
56	155.0	250	1226.07	1225.65	29.62	.60	.00	.41	2.66	
57	110.0	250	1225.65	1225.37	29.02	.59	.00	.28	2.56	
58	117.0	200	1225.37	1225.44	-6.95	-.22	.00	.06	.54	
59	215.0	150	1225.44	1226.18	-8.88	-.50	.00	.74	3.45	
60	180.0	150	1226.18	1226.93	-9.88	-.56	.00	.76	4.20	
61	123.0	150	1226.93	1227.55	-10.88	-.62	.00	.62	5.02	
62	280.0	150	1226.07	1224.96	9.58	.54	.00	1.11	3.96	
63	140.0	150	1224.96	1224.46	8.98	.51	.00	.49	3.52	

Figura 41 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O



RELATÓRIO DE RESULTADOS			
<input type="radio"/> TUBOS	<input type="radio"/> BOMBAS	<input checked="" type="radio"/> NÓS	Período
<input type="radio"/> RESERVATÓRIOS	<input type="radio"/> VÁLVULAS	Cancela	Imprime
SITUAÇÃO NOS NÓS ESPECIFICADOS			0
Nº Número	Cota Geométrica (m)	Carga Piezométrica (m)	Pressão Disponível (m)
1	1288.10	1288.10	.00
2	1216.00	1241.00	25.00
3	1218.40	1240.84	22.44
4	1225.80	1240.43	14.63
5	1228.80	1240.05	11.25
6	1217.90	1239.44	21.54
7	1200.40	1238.98	38.58
8	1193.60	1238.67	45.07
9	1191.00	1238.71	47.71
10	1195.30	1238.76	43.46
11	1198.20	1239.13	40.93
12	1199.00	1239.40	40.40
13	1201.10	1239.82	38.72
14	1206.00	1240.18	34.18
15	1210.10	1240.43	30.33
16	1187.60	1238.22	50.62
17	1185.70	1237.80	52.10
18	1185.90	1237.48	51.58
19	1193.00	1237.11	44.11
20	1191.00	1237.36	46.36
21	1209.00	1237.72	28.72
22	1195.30	1238.19	42.89
23	1187.40	1235.51	48.11
24	1185.90	1233.31	47.41
25	1185.90	1233.31	47.41
26	1185.80	1233.46	47.66
27	1185.90	1235.25	49.35
28	1186.50	1232.55	46.05
29	1187.40	1231.77	44.37
30	1187.90	1230.76	42.86
31	1187.70	1230.72	43.02
32	1186.80	1231.61	44.81
33	1186.20	1232.47	46.27
34	1185.60	1232.17	46.57
35	1192.40	1230.99	38.59
36	1193.70	1229.94	36.24
37	1187.90	1229.34	41.44
38	1187.90	1229.36	41.46
39	1188.90	1227.69	38.79
40	1190.70	1227.55	36.85
41	1198.20	1228.11	29.91
42	1200.40	1228.78	28.38
43	1188.90	1226.75	37.85
44	1189.90	1226.19	36.29
45	1189.80	1226.07	36.27
46	1190.80	1226.53	36.73
47	1190.80	1227.61	36.81
48	1190.40	1229.31	38.91
49	1189.60	1225.65	36.05
50	1194.90	1225.37	30.47
51	1201.90	1225.44	23.54
52	1209.90	1226.18	16.28
53	1196.90	1226.93	30.03
54	1191.10	1224.96	33.86
55	1192.80	1224.46	31.66
101	1216.00	1262.86	46.86

Figura 44 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 25 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DA REDE

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	C (#) ou e (mm)	Soma dos K Perdas locais
1	2	1	101	1000	300	100	0
2	3	2	3	55	400	100	0
3	4	3	4	135	400	100	0
4	5	4	5	130	400	100	0
5	6	5	6	220	400	100	0
6	7	6	7	170	400	100	0
7	8	7	8	115	400	100	0
8	9	8	9	210	150	100	0
9	10	9	10	150	150	100	0
10	11	10	11	130	300	100	0
11	12	11	12	95	300	100	0
12	13	12	13	140	300	100	0
13	14	13	14	120	300	100	0
14	15	14	15	80	300	100	0
15	16	15	2	185	300	100	0
16	17	8	16	160	400	100	0
17	18	16	17	155	400	100	0
18	19	17	18	200	400	100	0
19	20	18	19	235	400	100	0
20	21	19	20	293	250	100	0
21	22	20	21	145	250	100	0
22	23	21	22	200	300	100	0
23	24	22	10	225	300	100	0
24	25	19	23	220	150	100	0
25	26	23	24	329	150	100	0
26	27	24	25	120	150	100	0
27	28	25	26	25	150	100	0
28	29	26	27	265	300	100	0
29	30	27	19	275	300	100	0
30	31	26	28	185	300	100	0
31	32	28	29	160	300	100	0
32	33	29	30	207	300	100	0
33	34	30	31	35	150	100	0
34	35	31	32	205	150	100	0
35	36	32	33	180	150	100	0
36	37	33	25	167	150	100	0
37	38	24	34	170	150	100	0
38	39	34	35	195	150	100	0
39	40	35	36	223	150	100	0
40	41	36	37	145	150	100	0
41	42	37	38	83	150	100	0
42	43	38	31	155	150	100	0
43	44	38	39	265	150	100	0
44	45	39	40	173	100	100	0
45	46	40	41	130	150	100	0
46	47	41	42	140	150	100	0
47	48	42	37	100	150	100	0
48	49	39	43	230	150	100	0
49	50	43	44	165	150	100	0
50	51	44	45	100	150	100	0
51	52	45	46	130	250	100	0
52	53	46	47	275	300	100	0
53	54	47	48	420	300	100	0
54	55	48	30	353	300	100	0
55	56	45	49	155	250	100	0
56	57	49	50	110	250	100	0
57	58	50	51	117	200	100	0
58	59	51	52	215	150	100	0
59	60	52	53	180	150	100	0
60	61	53	40	123	150	100	0
61	62	45	54	280	150	100	0
62	63	54	55	140	150	100	0

Figura 45 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Nível atual (m)	Nível Mínimo (m)	Nível Máximo (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	1	100	1	1288.1	0	0	0
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Figura 46 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ELEMENTOS DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

CÓDIGOS DE TIPO DAS VÁLVULAS

Válvulas de Controle

1 - Simples      3 - Pressão a montante  
2 - Retenção      4 - Pressão a jusante  
7 - Descarga livre      5 - Pressão diferencial  
6 - Vazão

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Eno Número	Nó Montante	Nó Jusante	Código de Tipo [ver quadro]	Diâmetro (mm)	Dado relativo (#), (m) ou (l/s)
1	64	101	2	4	300	1236
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

Figura 47 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

ADRENTE DE ENTRADA

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Número do Nó	Demanda 1 [l/s]	Demanda 2 [l/s]	Demanda 3 [l/s]	Demanda 4 [l/s]	Demanda 5 [l/s]	Demand [l/s]
1	1	0	0	0	0	0	
2	2	.8	0	0	0	0	
3	3	.2	0	0	0	0	
4	4	.4	0	0	0	0	
5	5	3.8	0	0	0	0	
6	6	.7	0	0	0	0	
7	7	.3	0	0	0	0	
8	8	.9	0	0	0	0	
9	9	.5	0	0	0	0	
10	10	.5	0	0	0	0	
11	11	.6	0	0	0	0	
12	12	.6	0	0	0	0	
13	13	.3	0	0	0	0	
14	14	.6	0	0	0	0	
15	15	.3	0	0	0	0	
16	16	1	0	0	0	0	
17	17	25.44	0	0	0	0	
18	18	.3	0	0	0	0	
19	19	1.2	0	0	0	0	
20	20	11.93	0	0	0	0	
21	21	16.54	0	0	0	0	
22	22	1.8	0	0	0	0	
23	23	.6	0	0	0	0	
24	24	.6	0	0	0	0	
25	25	.3	0	0	0	0	
26	26	.4	0	0	0	0	
27	27	.1	0	0	0	0	
28	28	.4	0	0	0	0	
29	29	.23	0	0	0	0	
30	30	.43	0	0	0	0	
31	31	.42	0	0	0	0	
32	32	.48	0	0	0	0	
33	33	.4	0	0	0	0	
34	34	.7	0	0	0	0	
35	35	1.5	0	0	0	0	
36	36	.7	0	0	0	0	
37	37	.41	0	0	0	0	
38	38	.29	0	0	0	0	
39	39	1.11	0	0	0	0	
40	40	.6	0	0	0	0	
41	41	.5	0	0	0	0	
42	42	1	0	0	0	0	
43	43	.9	0	0	0	0	
44	44	3.79	0	0	0	0	
45	45	.39	0	0	0	0	
46	46	24.46	0	0	0	0	
47	47	1	0	0	0	0	
48	48	.6	0	0	0	0	
49	49	.6	0	0	0	0	
50	50	35.97	0	0	0	0	
51	51	1.93	0	0	0	0	
52	52	1	0	0	0	0	
53	53	1	0	0	0	0	
54	54	.6	0	0	0	0	
55	55	8.98	0	0	0	0	

Figura 48 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

Entrada de Dados da Rede

**ELEMENTOS DE ENTRADA**

Tubos       Válvulas  
 Reservatórios       Demandas  
 Bombas       Cotas

*Simulador*

Encerra      Imprime  
Inserir Linha  
Copia      Apaga

	Número do Nó	Cota z (m)	Cota x (m)	Cota y (m)
1	1	1288.1	0	0
2	2	1216	0	0
3	3	1218.4	0	0
4	4	1225.8	0	0
5	5	1228.8	0	0
6	6	1217.9	0	0
7	7	1200.4	0	0
8	8	1193.6	0	0
9	9	1191	0	0
10	10	1195.3	0	0
11	11	1198.2	0	0
12	12	1199	0	0
13	13	1201.1	0	0
14	14	1206	0	0
15	15	1210.1	0	0
16	16	1187.6	0	0
17	17	1185.7	0	0
18	18	1185.9	0	0
19	19	1193	0	0
20	20	1191	0	0
21	21	1209	0	0
22	22	1195.3	0	0
23	23	1187.4	0	0
24	24	1185.9	0	0
25	25	1185.9	0	0
26	26	1185.8	0	0
27	27	1185.9	0	0
28	28	1186.5	0	0
29	29	1187.4	0	0
30	30	1187.9	0	0
31	31	1187.7	0	0
32	32	1186.8	0	0
33	33	1186.2	0	0
34	34	1185.6	0	0
35	35	1192.4	0	0
36	36	1193.7	0	0
37	37	1187.9	0	0
38	38	1187.9	0	0
39	39	1188.9	0	0
40	40	1190.7	0	0
41	41	1198.2	0	0
42	42	1200.4	0	0
43	43	1188.9	0	0
44	44	1189.9	0	0
45	45	1189.8	0	0
46	46	1190.8	0	0
47	47	1190.8	0	0
48	48	1190.4	0	0
49	49	1189.6	0	0
50	50	1194.9	0	0
51	51	1201.9	0	0
52	52	1209.9	0	0
53	53	1196.9	0	0
54	54	1191.1	0	0
55	55	1192.8	0	0
56	101	1216	0	0

Figura 49 - Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

RELATÓRIO DE RESULTADOS									
<input checked="" type="radio"/> TUBOS <input type="radio"/> BOMBAS <input type="radio"/> NÓS <input type="radio"/> RESERVATÓRIOS <input type="radio"/> VÁLVULAS						Cancela	Imprime	Período	0
RESULTADOS NOS TUBOS									
Eno. No.	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Carga Montante (m)	Carga Jusante (m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda Local (m)	Perda Dist. (m)	Perda Unit. (m/km)
2	1000.0	300	1288.10	1262.86	161.10	2.28	.00	25.24	25.24
3	55.0	400	1236.00	1235.84	108.37	.86	.00	.16	2.98
4	135.0	400	1235.84	1235.43	108.17	.86	.00	.40	2.97
5	130.0	400	1235.43	1235.05	107.77	.86	.00	.38	2.95
6	220.0	400	1235.05	1234.44	103.97	.83	.00	.61	2.76
7	170.0	400	1234.44	1233.98	103.27	.82	.00	.46	2.73
8	115.0	400	1233.98	1233.67	102.97	.82	.00	.31	2.71
9	210.0	150	1233.67	1233.71	-1.97	-1.11	.00	-.04	.21
10	150.0	150	1233.71	1233.76	-2.47	-1.14	.00	-.05	.32
11	130.0	300	1233.76	1234.13	-49.53	-.70	.00	.37	2.84
12	95.0	300	1234.13	1234.40	-50.13	-.71	.00	.23	2.91
13	140.0	300	1234.40	1234.82	-50.73	-.72	.00	.42	2.97
14	120.0	300	1234.82	1235.18	-51.03	-.72	.00	.36	3.00
15	80.0	300	1235.18	1235.43	-51.63	-.73	.00	.25	3.07
16	185.0	300	1235.43	1236.00	-51.93	-.73	.00	.57	3.10
17	160.0	400	1233.67	1233.22	104.04	.83	.00	.44	2.77
18	155.0	400	1233.22	1232.80	103.04	.82	.00	.42	2.72
19	200.0	400	1232.80	1232.48	77.60	.62	.00	.32	1.61
20	235.0	400	1232.48	1232.11	77.30	.62	.00	.37	1.60
21	293.0	250	1232.11	1232.36	-16.29	-.33	.00	.26	.88
22	145.0	250	1232.36	1232.72	-28.22	-.57	.00	.35	2.44
23	200.0	300	1232.72	1233.19	-44.76	-.83	.00	.47	2.36
24	225.0	300	1233.19	1233.76	-46.56	-.66	.00	.57	2.53
25	220.0	150	1232.11	1230.51	13.29	.75	.00	1.60	7.27
26	329.0	150	1230.51	1228.31	12.69	.72	.00	2.20	6.68
27	120.0	150	1228.31	1228.31	-.63	-.04	.00	.00	.03
28	25.0	150	1228.31	1228.46	-11.88	-.67	.00	.15	5.90
29	265.0	300	1228.46	1230.25	-79.00	-1.12	.00	1.79	6.74
30	275.0	300	1230.25	1232.11	-79.10	-1.12	.00	1.86	6.76
31	185.0	300	1228.46	1227.55	66.72	.94	.00	.91	4.93
32	160.0	300	1227.55	1226.77	66.32	.94	.00	.78	4.88
33	207.0	300	1226.77	1225.76	66.09	.93	.00	1.00	4.85
34	35.0	150	1225.76	1225.72	5.07	.29	.00	.04	1.22
35	205.0	150	1225.72	1226.61	-10.07	-.57	.00	.89	4.35
36	180.0	150	1226.61	1227.47	-10.55	-.60	.00	.85	4.74
37	167.0	150	1227.47	1228.31	-10.95	-.62	.00	.85	5.08
38	170.0	150	1228.31	1227.17	12.72	.72	.00	1.14	6.70
39	195.0	150	1227.17	1225.99	12.02	.68	.00	1.18	6.04
40	223.0	150	1225.99	1224.94	10.52	.60	.00	1.05	4.72
41	145.0	150	1224.94	1224.34	9.82	.56	.00	.60	4.15
42	83.0	150	1224.34	1224.36	-2.15	-.12	.00	.02	.25
43	155.0	150	1224.36	1225.72	-14.72	-.83	.00	1.36	8.78
44	265.0	150	1224.36	1222.69	12.28	.70	.00	1.67	6.28
45	173.0	100	1222.69	1222.55	1.43	.18	.00	.15	.84
46	130.0	150	1222.55	1223.11	-10.96	-.57	.00	.56	4.34
47	140.0	150	1223.11	1223.78	-10.56	-.60	.00	.66	4.75
48	100.0	150	1223.78	1224.34	-11.56	-.65	.00	.56	5.61
49	230.0	150	1222.69	1221.75	9.75	.55	.00	.94	4.10
50	165.0	150	1221.75	1221.19	8.85	.50	.00	.56	3.42
51	100.0	150	1221.19	1221.07	5.06	.29	.00	.12	1.22
52	130.0	250	1221.07	1221.53	-34.53	-.70	.00	.46	3.54
53	275.0	300	1221.53	1222.61	-58.99	-.83	.00	1.08	3.93
54	420.0	300	1222.61	1224.31	-59.99	-.85	.00	1.70	4.05
55	353.0	300	1224.31	1225.76	-60.59	-.86	.00	1.46	4.13
56	155.0	250	1221.07	1220.65	29.62	.60	.00	.41	2.66
57	110.0	250	1220.65	1220.37	29.02	.59	.00	.28	2.56
58	117.0	200	1220.37	1220.44	-6.95	-.22	.00	.06	.54
59	215.0	150	1220.44	1221.18	-8.88	-.50	.00	.74	3.45
60	180.0	150	1221.18	1221.93	-9.88	-.56	.00	.76	4.20
61	123.0	150	1221.93	1222.55	-10.88	-.62	.00	.62	5.02
62	280.0	150	1221.07	1219.96	9.58	.54	.00	1.11	3.96
63	140.0	150	1219.96	1219.46	8.98	.51	.00	.49	3.52

Figura 50 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O



RELATÓRIO DE RESULTADOS					
<input type="radio"/> TUBOS <input type="radio"/> RESERVATÓRIOS		<input type="radio"/> BOMBAS <input type="radio"/> VÁLVULAS		<input checked="" type="radio"/> NÓS	Período <input type="text" value="0"/>
SITUAÇÃO NOS NÓS ESPECIFICADOS					
Nº Número	Cota Geométrica (m)	Carga Piezométrica (m)	Pressão Disponível (m)		
1	1288.10	1288.10	.00		
2	1216.00	1236.00	20.00		
3	1218.40	1235.84	17.44		
4	1225.80	1235.43	9.63		
5	1228.80	1235.05	6.25		
6	1217.90	1234.44	16.54		
7	1200.40	1233.98	33.58		
8	1193.60	1233.67	40.07		
9	1191.00	1233.71	42.71		
10	1195.30	1233.76	38.46		
11	1198.20	1234.13	35.93		
12	1199.00	1234.40	35.40		
13	1201.10	1234.82	33.72		
14	1206.00	1235.18	29.18		
15	1210.10	1235.43	25.33		
16	1187.60	1233.22	45.62		
17	1185.70	1232.80	47.10		
18	1185.90	1232.48	46.58		
19	1193.00	1232.11	39.11		
20	1191.00	1232.36	41.36		
21	1209.00	1232.72	23.72		
22	1195.30	1233.19	37.89		
23	1187.40	1230.61	43.11		
24	1185.90	1228.31	42.41		
25	1185.90	1228.31	42.41		
26	1185.80	1228.46	42.66		
27	1185.90	1230.25	44.35		
28	1186.50	1227.55	41.05		
29	1187.40	1226.77	39.37		
30	1187.90	1225.76	37.86		
31	1187.70	1225.72	38.02		
32	1186.80	1226.61	39.81		
33	1186.20	1227.47	41.27		
34	1185.60	1227.17	41.57		
35	1192.40	1225.99	33.59		
36	1193.70	1224.94	31.24		
37	1187.90	1224.34	36.44		
38	1187.90	1224.36	36.46		
39	1188.90	1222.69	33.79		
40	1190.70	1222.55	31.85		
41	1198.20	1223.11	24.91		
42	1200.40	1223.78	23.38		
43	1188.90	1221.75	32.85		
44	1189.90	1221.19	31.29		
45	1189.80	1221.07	31.27		
46	1190.80	1221.53	30.73		
47	1190.80	1222.61	31.81		
48	1190.40	1224.31	33.91		
49	1189.60	1220.65	31.05		
50	1194.90	1220.37	25.47		
51	1201.90	1220.44	18.54		
52	1209.90	1221.18	11.28		
53	1196.90	1221.93	25.03		
54	1191.10	1219.96	28.86		
55	1192.80	1219.46	26.66		
101	1216.00	1262.86	46.86		

Figura 53 - Resultado da Setorização Atual com a Válvula atuando em 20 mH<sub>2</sub>O

No estudo de caso, adotou-se para a rede considerada, tubulações em ferro fundido, indicando para final de plano o crescimento da população.

A simulação feita com o modelo "SIMULA" em regime permanente apontou deficiência e excesso de pressão em alguns nós, conforme plantas (ANEXO I), não atendendo a NBR 12218 – 7/94, que estipula pressão dinâmica mínima de 10 mH<sub>2</sub>O e máxima dinâmica de 50 mH<sub>2</sub>O.

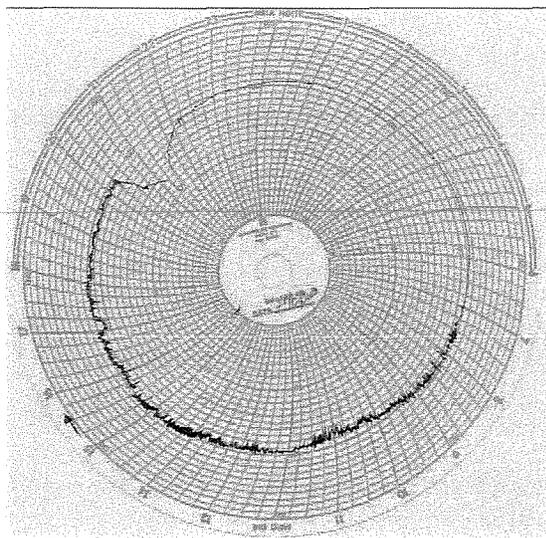


Figura 54 – Registro de pressão no trecho da VRP-Cidade (Registrador DMAE-Poços de Caldas)

Observou-se também que, depois de simulada a instalação de uma VRP, controlando a pressão a jusante em torno de 30, 25 e 20 mH<sub>2</sub>O, ocorreu uma melhora significativa na redução de pressão, mesmo assim, alguns pontos ainda não atendem à norma, conforme a ser demonstrado em plantas (ANEXO I).

Sabe-se que, quando as redes de distribuição apresentam problemas de pressão e vazão, algumas medidas podem ser tomadas para solucionar tais problemas:

(a) substituir tubulações que se revelam insuficientes em termos de diâmetros hidráulicos;

(b) proceder à limpeza das instalações que se encontram com alto índice de incrustação;

(c) proceder à limpeza e revestimento das tubulações, aumentando desse modo o seu diâmetro hidráulico;

(d) executar a setorização do sistema de distribuição;

(e) substituir tubulações que apresentam alto índice de rupturas;

(f) colocar VRPs de maneira a corrigir distorções existentes.

---

Com objetivo de solucionar o problema de altas pressões e ao mesmo tempo ter condições de, nos pontos críticos, ter uma pressão mínima suficiente para atender a demanda do subsetor, consideramos que a única medida a ser tomada para solucionar o problema, seria a instalação de uma VRP na entrada do subsetor em uma área isolada a partir da rua Antônio Emídio de Resende, Jardim Country Club, que é abastecida pelo Reservatório Cidade (com volume de reservação de 4.500 m<sup>3</sup>), situada a uma cota 1.284m, sendo que os registros se encontram fechados para isolamento desse subsetor.

Este subsetor tem ocupação diversificada, com predominância residencial, incluindo alguns edifícios e também possui comércio e algumas indústrias. A topografia é regular, com pouco desnível entre a entrada do subsetor e os locais mais isolados.

Apresentamos a seguir a planilha de dados característicos do subsetor:

Tabela 02 – Dados Característicos do Subsetor

<b>* FÍSICOS:</b>
Setor de Abastecimento: Reservatório Cidade
Local da VRP: Rua Antônio Emídio de Resende
Diâmetro da Tubulação de Entrada (mm): 300
Extensão de Rede (m): 12.693
Número de Ligações: 2.159
<b>* TÉCNICOS:</b>
1-Entrada do Subsetor (medido com "DATA LOGGER", no local)
Pressão Mínima (mH <sub>2</sub> O): 46
Pressão Máxima (mH <sub>2</sub> O): 64
2-Pontos Críticos
Local: Rua Ouro Preto, 376

Pressão Mínima (mH <sub>2</sub> O): 20
Pressão Máxima (mH <sub>2</sub> O): 57
Local: Rua Jéferson Alves Moraes, 05
Pressão Mínima (mH <sub>2</sub> O): 32
Pressão Máxima (mH <sub>2</sub> O): 68

### 8.1.2 – Controle de transmissão dos dados

Considerando a opção de controle da válvula e transmissão dos dados via rádio, faz-se necessária a programação e o desenvolvimento de algoritmo com a integração do software existente na Central de Controle (CCO do DMAE), possibilitando, com isso, a supervisão da operação deste equipamento em tempo real junto ao sistema de telemetria.

### 8.1.3 – Resultados obtidos com aplicação do modelo “SIMULA”

De posse dos resultados do simulador-rede, em regime permanente, para o trecho compreendido entre o subsetor VRP-Cidade, notamos que a maior parte das

pressões ficam acima dos valores propostos pela NBR 12218 – 7/94, propiciando automaticamente um aumento de vazamentos por excesso de pressão durante o ano.

Após a simulação, com a introdução de uma VRP na entrada do subsetor, notamos uma considerável melhoria na adequação destas pressões, tanto para as vazões máximas ou mínimas no horário e dia de maior consumo. Sendo que, em apenas uma simulação para controle da válvula a jusante para 20 mH<sub>2</sub>O, obtivemos um resultado no nó nº 05, possibilitando uma pressão disponível em torno de 9,11 mH<sub>2</sub>O (conforme ANEXO I), contrariando a NBR 12218 – 7/94.

As figuras abaixo identificam o número de reclamações de rompimentos de tubulação originados por excesso de pressão neste subsetor, com a sua manutenção devidamente especificada.

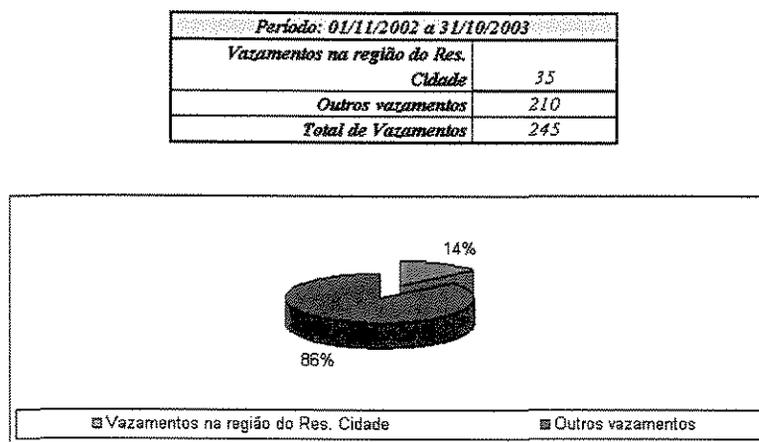


Figura 55 – Vazamentos detectados por geofonamento – Setor VRP-Cidade  
(DMAE-Poços de Caldas)

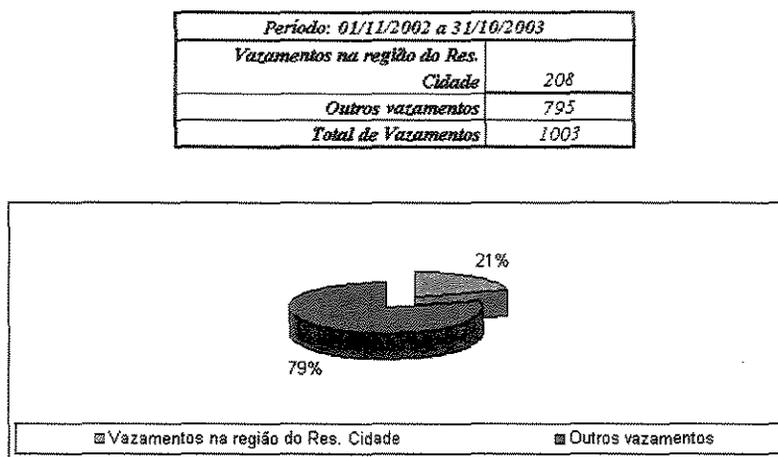


Figura 56 – Vazamentos encontrados no passeio dos arruamentos no subsetor VRP-Cidade  
(DMAE-Poços de Caldas)

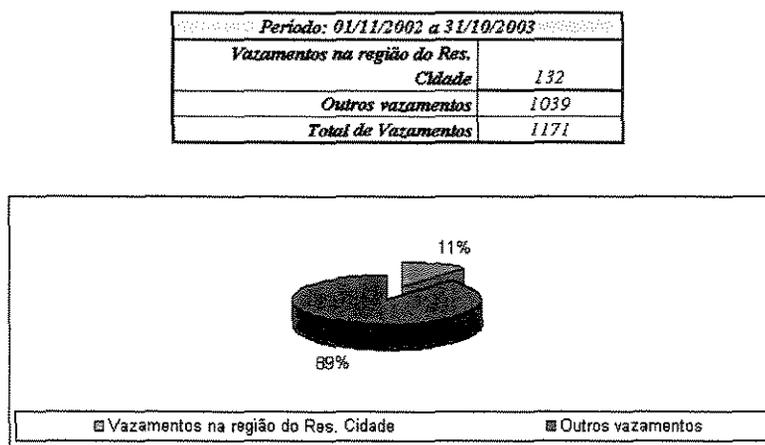


Figura 57 – Vazamentos encontrados nos arruamentos do subsetor VRP-Cidade  
(DMAE-Poços de Caldas)

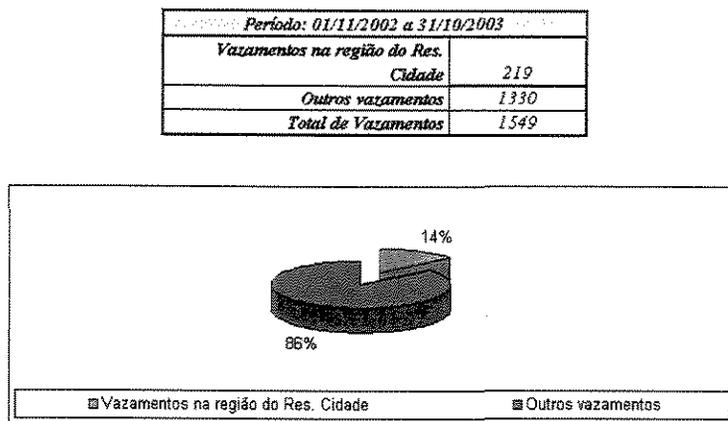


Figura 58 – Vazamentos encontrados no cavalete dos hidrômetros (micromedidores) do subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas)

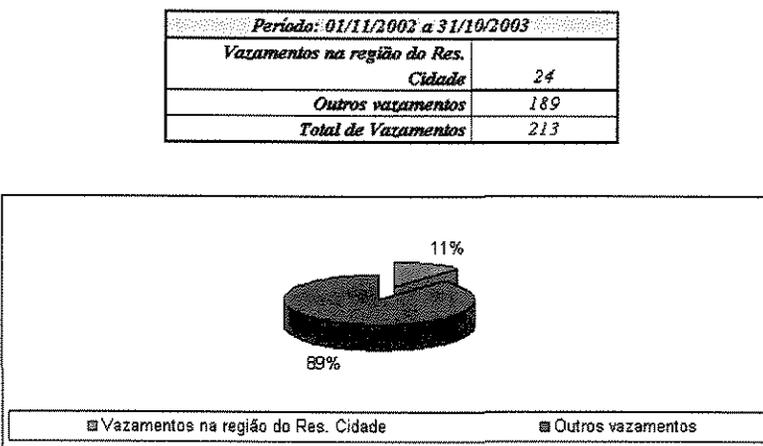


Figura 59 – Vazamentos encontrados no registro de passeio no subsetor VRP-Cidade (DMAE-Poços de Caldas)

## 9. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que para a instalação de uma VRP é necessário o conhecimento preciso da topologia da rede visando uma precisa setorização.

No estudo de caso, através da simulação em regime permanente, demonstrou-se a ação da válvula redutora de pressão no setor VRP-Cidade de Poços de Caldas, MG. Conforme demonstrado, a válvula instalada na entrada do subsetor reduz as pressões excessivas à jusante deste ponto.

O modelo permite ao gerenciador do sistema avaliar o comportamento da VRP em várias situações operacionais (consumo alto, médio e baixo). Inclusive como ferramenta na tomada de decisão, principalmente, no caso da VRP permitir ajuste do seu *set point* por telemetria.

Este modelo mostrou-se ser uma ferramenta adequada aos programas de redução de perdas nos sistemas de abastecimento, pois auxilia desde o real conhecimento do índice de perdas (setorização) até a identificação das zonas prioritárias para ações corretivas (zonas de altas pressões).

Outra contribuição dada por este trabalho de dissertação foi a revisão bibliográfica com a apresentação e detalhamento de várias técnicas consagradas em países desenvolvidos e também em nosso país, que poderão ser usadas na implantação de um Programa de Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água.

Até pouco tempo, os programas de redução de perdas fundamentavam-se em variáveis passíveis de quantificação, não tendo um objetivo significativo, observando as análises técnico-econômicas e, principalmente, as metodologias de planejamento mais consistentes e definindo uma estrutura mínima necessária a hierarquização dos decisores com coerência dos resultados obtidos pelas empresas de saneamento.

Finalizando, ao concluir este trabalho de dissertação, esperamos contribuir significativamente para a operacionalidade de implantação e execução de um programa de redução de perdas para os sistemas de distribuição de água, principalmente no Brasil, que ainda hoje, operam com perdas físicas em torno de 45%, prejudicando consideravelmente tanto o nível de atendimento nos serviços prestados quanto a preservação dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, H. A.; TSELENTIS, Y.; AINSWORTH, K., "A Guidance for Greeek Municipal Water Enterprises on Introduction of New Technologies and Methodologies to Improve Network Management", Water Supply, Vol. 16, Nº 1/2,1998.

ALMEIDA, A.B. e KOELLE, E., "Fluid transients in pipe networks", Computational Mechanics Publications and Elsevier Apllied Science, 1992.

Encontro Técnico Sobre Redução e Controle de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água, fevereiro/março, 2002. Anais do encontro ... Salvador, Bahia, 2002.

FOX, J.A. e KEECH, A.E., "Pipe network analysis – a novel steady state technique", Journal Institute of water engineer & science, 1975.

GERMANOPOULOS, G., "La Regulacion Optima de Válvulas en aras de Una Minimizacion de Fugas, in: Mejora Del Rendimiento y De La Fiabilidad En Sistemas De Distribución de Agua" (curso dictado en la UMIP, noviembre, 1994), vol. 1, 1995.

GERMANOPOULOS, G.; JOWITT, P. W., "Leakage Reduction by excessive pressure minimisation in a water supply network", Proc. Inst. Of. Civ. Engr., Pt. 2, nº 87, 1989.

HIRNER, W.; ALEGRE, H.; COELHO, S. T., Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento: Conceitos Básicos, Terminologia e Indicadores de Desempenho, 4º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Coimbra, Portugal, 1999.

JOWITT, P.; XU, C., "Optimal Valve Control in Water Distribution Networks, Journal Water Resources Planning And Management", ASCE, 116 (4), 1990.

LAMBERT, A., "Managing water leakage: economic and technical issues", Financial Times, Energy report, 1998.

LAMBERT, A.; HIRNER, W., "Blue pages on losses from water supply systems", final draft, International Water Services Association, 1999.

LUVIZOTTO JR. E., Controle Operacional de Redes de Abastecimento de Água Auxiliado por Computador, Tese (Doutorado), São Paulo: EPUSP, 1995.

REIS, L. F. R.; PORTO, R. M.; CHAUDHRY, F. H., "Optimal Location of Control Valves in Pipe Networks by Genetic Algorithm", *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 123 nº 06, 1997.

Seminário internacional sobre Programas de Redução e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água, abril, 2003. Anais do Seminário ... Brasília, Distrito Federal 2002.

Seminário sobre Programas de Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água em Países da América Latina, outubro, 2001. Anais do Seminário ... Fortaleza, Ceará, 2001.

Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XIV, Aracaju, Sergipe, Simpósio de Hidráulica de Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, V, novembro, 2001.

SHIMADA, M., "Time Marching Approach for pipe steady flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 114, nov., 1989.

THEESS, R., *Redução das Perdas em Redes de Distribuição Através do Controle de Pressão e seus Reflexos na Manutenção*, São Paulo, 1999.

THEESS, R.; MORRIGAN K., Redução de Pressões em Redes de Distribuição de Água, Norma Técnica nº 252, São Paulo, 1999.

THEESS, R.; QUEIROZ JÚNIOR, P. P., O aumento da Capacidade de Suprimento e a Redução dos Cursos do Abastecimento de Água , com Baixo Investimento, pela Estabilização das Pressões nas Redes de Distribuição, o Controle e a Redução das Perdas Físicas nos Vazamentos, Documento Técnico nº 242, ver. 4.0, São Paulo, 1996

VAIRAVAMOORTHY, K.; LUMBERS, J., “Leakage Reduction in Water Distribution Systems: Optimal Valve Control”, Journal of Hydraulic Engineering, v. 124, N. 11, November, 1998.

VENTURINI, M. A. A. G., Metodologia de Análise e Decisão Multicriterial para a Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água, Tese (Doutorado), UNICAMP, 2003.

#### **Catálogo de Produtos:**

CLA-VAL – Pressure Reducing Valve, “Manufactures Catalog of CLA-VAL Co., Model 131/631, Newport Beach, Canadá, 2001.

# **ANEXOS**

As planilhas abaixo, geram resultados de várias simulações realizadas através do modelo computacional “*SIMULA*”, aonde no testes demonstrados, trabalhamos com a vazão máxima sem a instalação da válvula redutora de pressão na entrada do setor estudado e, pressão mínima, vazão mínima e pressão máxima e, logo em seguida, simulamos um controle de pressão a jusante com a instalação de uma VRP com a mesma, operando em pressões de 30, 25 e 20 mH<sub>2</sub>O. Os resultados obtidos foram satisfatórios em relação a diminuição de pressão em alguns nós gerados mas, mesmo assim, não atendendo as normas descritas na NBR 12218 – 07/94 que estipulam valores no mínimo de 10 mH<sub>2</sub>O e máximo de 50 mH<sub>2</sub>O.

Analizamos também que, em alguns nós, a perda de carga é elevada e a velocidade de escoamento está nas mesmas condições e que, o resultado mais satisfatório foi com a operação da VRP para 20 a 25 mH<sub>2</sub>O.

Após todo o desenvolvimento deste trabalho, notamos que a rede existente em questão, deverá sofrer uma nova avaliação quanto ao seu planejamento, levando em conta que neste setor talvez haja necessidade de ser abastecido por outros setores existentes no município ou mesmo realizando outros estudos para implantação de outras VRPs ou até mesmo com a mudança dos diâmetros das tubulações, verificando a possibilidade de um novo caminhamento em relação a topografia existente no local.

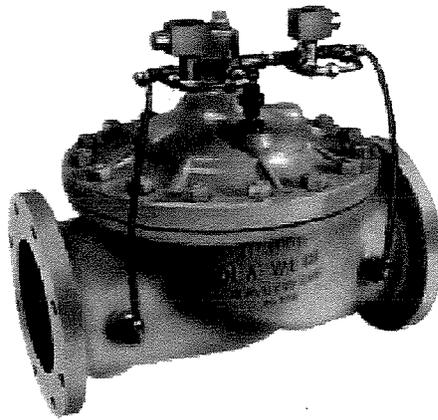
**Anexo I – Plantas Aerofotogramétricas com Setorização e  
Zona de Pressão e Planta Topológica**

## **Anexo II – Dados Técnicos da Válvula CLA-VAL**



— MODEL — **131**  
**631** ⚡

## Electronic Control Valves



- Simple Proven Design
- Quality Solenoid Pilot Controls
- Ideal For SCADA Systems
- Multi-Function Capability; Hydraulic Backup
- Easy To Maintain

The Cla-Val Series 131/631 Electronic Control Valves are designed specifically for applications where control of the valve with electrical signals is preferred. It is a hydraulically operated, pilot controlled, diaphragm valve. The solenoid pilot controls are actuated by electrical signals from the optional 131VC Electronic Valve Controller. The solenoid pilots either add or relieve line pressure from the cover chamber of the valve, causing it to open or close as directed by the electronic controller.

Series 131/631 valves can be configured to perform a wide range of functions, such as: pressure reducing, pressure sustaining, flow control, or level control. The electric controls can also be combined with hydraulic controls to create dual function, or fail-safe capability.

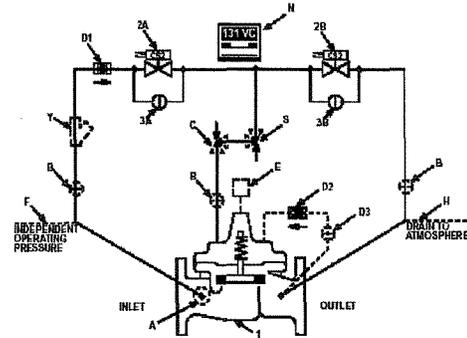
### Schematic Diagram

Item	Description
1	Hytrol (Main Valve)
2	CS2 Solenoid Control
3	CK2 Cock (Solenoid By-pass)

### Optional Features

Item	Description
A	X46A Flow Clean Strainer
B	CK2 Cock (Isolation Valve)
C	CV Flow Control (Closing)
D	Check Valves With Cock
E	X117C Position Transmitter
F	Independent Operating Pressure
H	Atmospheric Drain
N	Electronic Controller
S	CV Flow Control (Opening)
Y	X43 "Y" Strainer

The basic 131-01/631-01 Electronic Control Valve (Schematic shown below) includes the main valve and dual solenoid pilot controls. Optional features include the 131VC Electronic Valve Controller and the X117C Valve Position Transmitter. If the check feature option is added, and a pressure reversal occurs, the downstream pressure is admitted into the cover, closing the valve.



The "D" feature on a vertically installed 8" and larger valve must be horizontally oriented.

### Typical Applications

The Model 131-01/631-01 Electronic Control Valve is typically installed in a pipeline with an electronic signal transmitter and the Model 131VC Electronic Valve Controller. This system can be designed to control flow, pressure, tank level or valve position. The 131VC Electronic Valve Controller enables remote computer control over valve operations.

