

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE VÁLVULAS REDUTORAS
DE PRESSÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
UM SUBSETOR DA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 25/10/00
Ass.: 

Urandi Gratão

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016743

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto

São Carlos

2000



Class.	TESE-EESC
Cat.	2595
Tombo	T0242/00

✓ 31L 00016743

st 1110131

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

G771a Gratão, Urandi
Análise de desempenho de válvulas redutoras de pressão
na rede de distribuição de água em um subsetor da cidade
de São Carlos, SP / Urandi Gratão. -- São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto.

1. Perdas por vazamento. 2. Rede de abastecimento de
água. 3. Válvulas redutoras de pressão. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **URANDI GRATÃO**

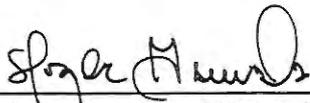
Dissertação defendida e aprovada em 06-09-2000
pela Comissão Julgadora:



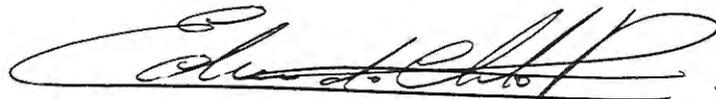
Prof. Doutor **RODRIGO DE MELO PORTO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



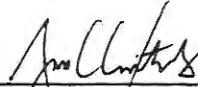
Profª. Doutora **LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **JORGE HAMADA**
(UNESP - Campus de Bauru)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais,
minhas irmãs e a minha namorada,
pelo apoio, compreensão e paciência.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto pela orientação, dedicação e incentivo propiciado durante todo o decorrer deste trabalho.

A Prof. Dra. Luisa Fernanda R. Reis por todo apoio e auxílio sem os quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais (João e Adelaide), irmãs (Rita e Rogéria), namorada (Cíntia) e cunhado (Vinícius), por toda confiança e incentivo demonstrado em todos os momentos.

Aos moradores e funcionários da E.E. Dona Aracy Leite Pereira Lopes do bairro Jardim Monte Carlo, São Carlos - SP, por tornar possível e auxiliar no levantamento de dados de campo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudo concedida e a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, pelo financiamento da pesquisa.

Ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos – SAAE, pelo fornecimento de dados, equipamentos e pessoal necessário para a realização desta pesquisa.

Aos companheiros de pesquisa Adilson e Fernando pela ajuda e apoio técnico na coleta de dados.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP que sempre se mostraram prontos a me ajudar.

A todos, enfim, que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso dos meus estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	v
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vi
RESUMO	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	6
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Levantamento da Curva de Vazamento versus Pressão.....	7
2.2 Levantamentos Recentes Realizados no Brasil e Exterior	9
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1 Materiais.....	12
3.1.1 Uso de Laboratórios.....	12
3.1.2 Equipamentos Utilizados em Campo.....	14
3.2 Métodos.....	16
3.2.1 Parceria para Desenvolvimento do Projeto.....	16
3.2.2 Identificação de Possíveis Setores para Estudo.....	17
3.2.3 Definição do Subsetor a ser Estudado	18
3.2.4 Levantamento de Dados Junto ao SAAE.....	19

3.2.5 Levantamento Sócio Econômico	20
3.2.6 Análise do Consumidor Especial do Jardim Monte Carlo	21
3.2.7 Geofonamento do Subsetor	22
3.2.8 Incidência Histórica de Vazamentos no Subsetor	22
3.2.9 Testes de Vazamentos Noturnos para Levantamento dos Parâmetros do Modelo Pressão-Vazamento	22
3.2.10 Levantamento de Cotas dos Pontos em Estudo	26
3.2.11 Distribuição de Probabilidade Triangular	26
3.2.12 Distribuição Inicial da Demandas nos Nós	30
3.2.13 Formulação Matemática do Problema de Minimização da Pressão ...	32
3.2.13.1 Método da Teoria Linear	35
3.2.13.2 Cálculo das Constantes de Perda de Carga Localizada	38
3.2.14 Utilização de um Modelo Matemático	39
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	41
4.1 Levantamento Preliminar Junto ao SAAE	41
4.2 Levantamento Sócio Econômico	42
4.3 Análise do Consumidor Especial do Jardim Monte Carlo	44
4.4 Geofonamento do Jardim Monte Carlo	45
4.5 Estudo de Incidência de Vazamentos	47
4.6 Testes Noturnos de Vazamentos	50
4.7 Resultados da Simulação Computacional	55
4.7.1 Resultados para o RedemUN.for	55
4.7.2 Resultados para o China1-UN-CORR.for	59
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	66
5.1 Conclusões.....	67
5.2 Recomendações	68
ANEXOS	70
A – Ficha Questionário	70
B – Programa RedemUN.for	72

C – Programa China1-UN-CORR for.....	86
D – Mapa do Jardim Monte Carlo.....	98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
----------------------------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Relação entre vazamento e pressão	8
Figura 2.2: Ilustração do cálculo de vazamento	10
Figura 3.1: Manômetro de peso morto utilizado para aferir os <i>Data loggers</i>	13
Figura 3.2: <i>Notebook</i> utilizado em campo para extração de dados do <i>Data logger</i> ...	13
Figura 3.3: Geofone eletrônico e haste de escuta	14
Figura 3.4: <i>Data logger</i> instalado em uma caixa de monitoramento do SAAE.....	15
Figura 3.5: Medidor de vazão ultra-sônico não intrusivo modelo <i>Porta Flow 300</i> ...	15
Figura 3.6: Equipamento utilizado para aferição de cotas topográficas (GPS)	16
Figura 3.7: Setores inicialmente identificados para estudo.....	17
Figura 3.8: Área de estudo do Jardim Monte Carlo.....	19
Figura 3.9: Esboço da rede Monte Carlo e nós de estudo.....	24
Figura 3.10: Instalação típica do <i>Data logger</i> para coleta de dados de pressão em ramais prediais	25
Figura 3.11: Medidor de vazão ultra-sônico não intrusivo	25
Figura 3.12: Distribuição de probabilidade triangular	27
Figura 3.13: Distribuição de probabilidade triangular acumulada	27
Figura 3.14: Esquema da distribuição inicial da demanda nos nós.....	31
Figura 3.15: Localização das válvulas redutoras de pressão no Jardim Monte Carlo	40
Figura 4.1: Vazamento na rede do Jardim Monte Carlo.....	46
Figura 4.2: Vazamento em ramal predial do Jardim Monte Carlo	46
Figura 4.3: Distribuição espacial dos vazamentos reparados no ano de 1998	49

Figura 4.4: Registro de pressão (mH ₂ O) na entrada do subsetor antes da válvula de redução de pressão (VRP)	50
Figura 4.5: Registro de pressão (mH ₂ O) na entrada depois da válvula de redução de pressão (VRP) (nó 56 b).....	51
Figura 4.6: Registro de pressão (mH ₂ O) no ponto crítico 1 (nó 19)	51
Figura 4.7: Registro de pressão (mH ₂ O) no ponto crítico 2 (nó 7)	52
Figura 4.8: Registro de pressão (mH ₂ O) no ponto representativo 1 (nó 38)	52
Figura 4.9: Registro de pressão (mH ₂ O) no ponto representativo 2 (nó 57)	53
Figura 4.10: Registro de pressão (mH ₂ O) no ponto representativo 3 (nó 26).....	53
Figura 4.11: Registro de Pressão (mH ₂ O) no Ponto Extremo (nó 51).....	54
Figura 4.12: Registros de vazão durante o teste noturno	54
Figura 4.13: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 5 mH ₂ O e válvula <i>vI</i>	56
Figura 4.14: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH ₂ O e válvula <i>vI</i>	56
Figura 4.15: Relação da abertura da válvula <i>vI</i> e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 5 mH ₂ O	57
Figura 4.16: Relação da abertura da válvula <i>vI</i> e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH ₂ O.....	57
Figura 4.17: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH ₂ O.....	58
Figura 4.18: Relação da abertura das válvulas e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH ₂ O.....	58
Figura 4.19: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (sem controle/literatura).....	59
Figura 4.20: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com <i>vI</i> /literatura)	60
Figura 4.21: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (sem controle/campo)	60
Figura 4.22: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com <i>vI</i> /campo).....	60

Figura 4.23: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com $v1$ e $v2$ /literatura).....	61
Figura 4.24: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com $v1$ e $v2$ /campo).....	61
Figura 4.25: Abertura da válvula $v1$ em relação à vazão com parâmetros da literatura	62
Figura 4.26: Abertura da válvula $v2$ em relação à vazão com parâmetros da literatura	62
Figura 4.27: Abertura da válvula $v1$ em relação à vazão com parâmetros de campo	63
Figura 4.28: Abertura da válvula $v2$ em relação à vazão com parâmetros de campo	63
Figura 4.29: Relação da abertura da válvula $v1$ em relação à perda por vazamento	64
Figura 4.30: Relação entre a abertura das válvulas $v1$ e $v2$ e a perda por vazamento utilizando parâmetros da literatura	64
Figura 4.31: Relação entre a abertura das válvulas $v1$ e $v2$ e a perda por vazamento utilizando parâmetros de campo.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Reduções de Perdas Físicas por Reduções de Pressões.....	3
Tabela 3.1: Relação dos bairros dos setores 6, 7 e 8 em estudo.....	18
Tabela 3.2: Amostragem do Levantamento Sócio-Econômico – Jardim Monte Carlo	20
Tabela 3.3: Pontos escolhidos para aquisição de dados.....	24
Tabela 4.1: Levantamento do Jardim Monte Carlo - São Carlos	42
Tabela 4.2: Leituras de consumo – Escola E.E. Dona Aracy Leite Lopes	45
Tabela 4.3: Locação dos vazamentos apontados no geofonamento	45
Tabela 4.4: Vazamentos efetivamente reparados no Jardim Monte Carlo em 1998 ..	47
Tabela 4.5: Valores representativos de vazões e pressões durante os testes noturnos	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIDIS	Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental
BBL	Bureau Brasileiro S/C Ltda
CEF	Caixa Econômica Federal
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GPS	Global Positioning System
ITH	Informação Técnica Hidráulica
NAG	Numerical Algorithm Group
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Tubos de polietileno
PVC	Tubos de policloreto de vinila
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SHS	Departamento de Hidráulica e Saneamento
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
USP	Universidade de São Paulo
VRP	Válvula Redutora de Pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área, m ²
C _d	coeficiente de descarga
C _i	demanda no nó <i>i</i> , l/s
CL	constante de proporcionalidade,
CM _i	consumo mensal da quadra <i>i</i> , l/mês
Contr _{ij}	contribuição da quadra <i>i</i> ao nó <i>j</i> , l/s
D _a (<i>i</i>)	demanda no nó <i>i</i> para o caso <i>a</i> , l/s
D _b (<i>i</i>)	demanda no nó <i>i</i> para o caso <i>b</i> , l/s
DD(<i>i</i>)	demanda de projeto para o nó <i>i</i> , l/s
DH _{ij}	perda de carga total no trecho que liga os nós <i>i</i> e <i>j</i> , m
DHD _{ij}	perda de carga distribuída ao longo do trecho que liga os nós <i>i</i> e <i>j</i> , m
DHL _{ij}	perda de carga localizada na válvula no trecho que liga os nós <i>i</i> e <i>j</i> , m
D _{ij}	diâmetro do trecho que liga os nós <i>i</i> e <i>j</i> , m
DI _j	demanda inicial do nó <i>j</i> , l/s
D _{min} (<i>i</i>)	demanda mínima no nó <i>i</i> , l/s
D _{máx} (<i>i</i>)	demanda máxima no nó <i>i</i> , l/s
ε	rugosidade da tubulação no trecho que liga os nós <i>i</i> e <i>j</i>
<i>f</i>	fator de atrito
<i>fator</i>	fator de demanda
F(<i>i</i>)	valor da probabilidade acumulada
<i>g</i>	aceleração da gravidade
G _i	cota do terreno do nó <i>i</i>
h(<i>i</i>)	altura para a distribuição de probabilidade triangular no nó <i>i</i>
H _i	carga no nó <i>i</i> , m

H_i^*	carga mínima no nó i , m
I	índice de perda, %
L_0	volume das perdas físicas, m ³ /h
L_1	volume das perdas físicas, m ³ /h
K_{ij}	constante de linearização iterativa carga-vazão
KS_{ij}	constante da linearização iterativa pressão-perda
Kv_{ij}	constante de perda localizada na válvula no trecho que liga os nós i e j
L_{ij}	comprimento da tubulação do trecho que liga os nós i e j , m
n	índice de iteração
n	parâmetro que vale 1,18 na literatura e 0,71 levantado em campo
nn	número de nós que faz limite com a quadra i
N	número de nós de carga desconhecida
N	número de equações e incógnitas
$N1$	coeficiente de vazamento
nq_j	número de quadras que faz limite com o nó j
PVC	tubos de policloreto de vinila
P	pressão, mH ₂ O
P_0	pressão média do sistema, mH ₂ O
P_1	pressão no momento da alteração, mH ₂ O
PE	tubos de polietileno
P_{ij}	pressão média de serviço no trecho que liga os nós i e j , mH ₂ O
q_{ij}	vazão fictícia, l/s
Q_{ij}	vazão no trecho que liga os nós i e j , l/s
QS_{ij}	perda por vazamento no trecho que liga os nós i e j , l/s
R	conjunto de nós conectados ao nó i
Re_y	número de Reynolds
RR_{ij}	parâmetro de resistência da tubulação no trecho que liga os nós i e j
RS_{ij}	parâmetro de perda para a tubulação no trecho que liga os nós i e j
S_{ij}	perda por vazamento no trecho que liga os nós i e j , l/s
T	tolerância especificada
$u(i)$	número aleatório entre 0 e 1

v_{ij}	abertura da válvula controladora de pressão no trecho que liga os nós i e j ,
$v^{\text{máx}}$	abertura máxima da válvula
$v^{\text{mín}}$	abertura mínima da válvula
V_{ij}	velocidade no trecho que liga os nós i e j , m/s

RESUMO

Dentre os sistemas hídricos urbanos, destacam-se as redes de distribuição de água, nas quais um dos aspectos operacionais que merece atenção especial é o controle das perdas de água, que em muitos casos pode atingir 50% do volume total distribuído para a população. Tais perdas implicam em despesas desnecessárias relativas a custos de bombeamento, de tratamento da água e requer investimentos prematuros para que novas fontes do recurso hídrico sejam exploradas ou a capacidade do sistema expandida, sem esquecer que a água é um recurso natural limitado. Tal fato vem preocupando os profissionais da área e levando-os a propor soluções para o problema.

Considerando que as perdas na rede de distribuição de água por vazamento são proporcionais as pressões no interior da rede, este trabalho apresenta um modelo computacional desenvolvido para reduzir tais perdas utilizando válvulas redutoras de pressão. Este modelo foi aplicado em uma rede de distribuição de água localizado no subsetor Jardim Monte Carlo, cidade de São Carlos – SP, como um método eficiente de controlar e/ou reduzir as perdas de água por vazamento. Com a finalidade de tornar o modelo mais próximo da realidade, também foi implementada uma rotina de variação temporal e espacial da demanda no modelo, através de distribuição de probabilidade triangular.

Palavras-chave: perdas por vazamento; rede de abastecimento de água; válvulas redutoras de pressão.

ABSTRACT

Among the urban hydraulic systems, water distribution networks stand out as ones with operational aspects that receive special attention and in which water is lost that, in many cases, can reach 50% of the total volume distributed to a network. The water loss implicates in useless expenses related to cost of pumping, treatment of water and premature investment for new water resources to be exploited or the capacity of the expanded system without forgetting that water is a natural resource. This fact is worrisome to the professional personnel of the area and drives them to propose solutions for this problem.

Considering that the water losses by leakage in the distribution network are proportional to pressure in the network, this work presents a computational model developed for reducing the water lost using pressure reducing valves. This model was applied to a water distribution network located in the Jardim Monte Carlo sub-sector, São Carlos city, São Paulo, as an efficient method for control and/or to reduce water leakage. With the purpose of simulation, some possible demand scenarios were produced randomly following a triangular probability distribution.

Key words: leakage; water supply network; pressure reducing valves.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades.

O Brasil é um dos países comparativamente mais ricos, entre todos, no que diz respeito à disponibilidade de água bruta. A disponibilidade de água no Brasil é da ordem de 35000 m³ per capita, contra cerca de 17 vezes menos na Alemanha e 9 vezes menos na França. Guardadas as devidas proporções, todos os três apresentam disponibilidade hídrica elevada segundo os padrões internacionais, que consideram cenários de potencial de escassez para disponibilidades na faixa entre 1000 e 2000 m³ per capita e de escassez real para disponibilidades inferiores a 1000 m³. Mesmo assim, diversas regiões do Brasil sofrem problemas de escassez. Isto se aplica tanto no caso do semi-árido nordestino, devido a causas naturais, como ao de micro-regiões, aglomerações urbanas e regiões metropolitanas em que a escassez decorre de processos de uso predatório, desperdício e degradação dos recursos hídricos. Estes últimos são os mais graves, na medida em que envolvem intensidade e velocidade crescentes, com riscos de descontrole e custos sociais extremamente elevados CONEJO & SILVA (1998).

Atualmente vive-se uma crise global e, se os atuais meios de exploração dos Recursos Hídricos da Terra não forem revistos, 2/3 da população mundial sentirá os efeitos da falta de água até 2005. Essa afirmação é feita em conformidade com o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), divulgado após a Conferência Internacional sobre a água em Paris, em 1998.

As perdas de água nos sistemas de distribuição podem atingir cifras tão elevadas quanto 40% do volume total de água bombeada e quimicamente tratada para o propósito de abastecimento urbano (KHADAM et al.; 1991). Daí a necessidade de exercer um controle efetivo de tais perdas.

No estado de São Paulo, o sistema municipal de abastecimento de água, a indústria e a irrigação na agricultura competem associados uns aos outros pelo mesmo manancial para conseguir seus abastecimentos e para lançar seus esgotos. Uma conclusão é que os recursos hídricos são escassos, dando atenção para sua qualidade e quantidade exigidas, devido a grande concentração de demanda no espaço. Além de tudo isto, há uma perda volumétrica enorme de água nos sistemas de distribuição. Enquanto 20% de perda é geralmente aceitável, no Brasil as perdas chegam a 50% e no estado de São Paulo a 40% da água de abastecimento urbano, (REIS & PORTO; 1995).

Vazamentos em redes de distribuição de água podem representar um grande percentual do total de água distribuída, dependendo de diversos fatores tais como a idade e grande deterioração do sistema. Como um resultado das grandes perdas de água e aumento da população, áreas urbanas podem experimentar escassez de água. Vazamentos envolvem não somente perdas por bombeamento e água tratada, mas também podem requerer investimento de capital em expansões e capacidade dos sistemas, ou uma escolha de fontes alternativas de água. Portanto, uma análise econômica do sistema recomenda medidas de minimização no vazamento de água.

Segundo VARAVAMOORTHY & LUMBERS (1998), de muitos fatores que afetam o vazamento de água em um sistema de distribuição existente, a pressão nos tubos pode ser mais facilmente controlada. Por isso é recomendado que, onde a redução de pressão é possível, deve ser feito sozinha ou em conjunto com outros métodos de controle de vazamento.

No caso de sistemas de distribuição já implantados, os aspectos considerados apontam para a priorização da redução de pressões nos sistemas de distribuição para redução de perdas. As perdas por vazamentos no sistema de distribuição de água sejam elas decorrentes de falhas construtivas, defeitos em peças e conexões, materiais inadequados, entre outros, aproximam-se o escoamento através de orifícios

e fendas. Desta forma, especial atenção deve ser dada ao controle de cargas na rede, pois a simples redução de cargas leva a substanciais reduções nas perdas nos vazamentos existentes, além de reduzir o risco de novas rupturas, como ilustra a Tabela 1.1, CONEJO & SILVA (1998).

Tabela 1.1: Reduções de Perdas Físicas por Reduções de Pressões.

Redução da carga (%)	Redução da perda(%)
20	10
30	16
40	23
50	29
60	37

Exemplificando, a instalação de uma válvula redutora de pressão, dimensionada para reduzir as cargas em 60% (por exemplo, de 100 mH₂O para 40 mH₂O), num setor com perdas físicas conhecidas de 50%, acarretará uma redução efetiva de 18,5% nas perdas existentes, que passarão de 50% para 31,5%. Portanto, é possível quantificar previamente as reduções de perdas esperadas através de reduções de pressões e com isso avaliar economicamente o retorno dos investimentos a realizar para atingir os objetivos.

De acordo com PUDAR & LIGGETT (1992), os vazamentos são problemas de todos os sistemas de distribuição de água. O procedimento mais popular, para localização de vazamentos, é o uso de aparelhos de escuta. Inspeção de vazamentos deve ser feita por meio de um plano rotineiro ou quando há suspeita de perdas maiores, talvez devido a dados anormais como um aumento na razão entre a demanda de água noturna e diurna, por exemplo. Um método simples de detecção e localização de vazamentos seria de grande valor econômico. Várias cidades estão instalando sistemas de monitoramento automático de vazão e/ou pressão, mas a questão é a seguinte: pode um vazamento ser localizado por medidas de pressão? A resposta dependerá da configuração do sistema, se as medidas de pressão são acuradas, do conhecimento das características do sistema e das demandas. Como em muitos problemas de engenharia, a pesquisa para a resposta pode render valiosas informações.

As empresas de saneamento do Brasil de uma maneira geral e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), em particular, vêm dedicando esforços no sentido de controlar e reduzir as perdas físicas de água e as perdas de faturamento nos seus sistemas de abastecimento, BORGES (1989).

Na SABESP esta preocupação remonta aos idos de 1977, quando se registravam perdas da ordem de 35,63% na região metropolitana de São Paulo. Este assunto mereceu a atenção dos agentes financeiros tendo a Caixa Econômica Federal (CEF) aberto uma linha especial de financiamento destinada a alocar recursos para as ações de controle de perdas, resultando em programas comumente conhecidos como Desenvolvimento Operacional.

Em setembro de 1990, a SABESP apresentou no XII Congresso da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), em Porto Rico, documento com proposições de trabalho para o controle de perdas de água na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), onde os setores de abastecimento dos sistemas distribuidores de água eram apontados como de fundamental importância para definições e acompanhamento das ações necessárias ao programa de redução das perdas de água e de faturamento, BORGES & ONOFRE (1993).

O assunto foi de atenção da alta administração da SABESP resultando, em novembro de 1991, na criação de um grupo de trabalho constituído por diferentes segmentos do corpo técnico/institucional da empresa, com a finalidade de implantar e acompanhar as ações destinadas ao controle das perdas na RMSP e no interior do Estado.

BORGES & ONOFRE (1993), apresentam informações sobre vazamentos em redes de distribuição, por faixa de pressão e de idade das tubulações, onde se verificam que as faixas de pressão maiores ou iguais a 46 mH₂O representam mais de 50% e idades de redes maiores ou iguais a 20 anos, representam mais de 40% das ocorrências de vazamentos.

As informações obtidas embasaram a SABESP, por exemplo, na execução dos seguintes empreendimentos de caráter corretivo/preventivo:

- serviços de troca de tubulações galvanizadas das ligações prediais, com mais de dez anos de instalação;

- programa de geofonamento e reparos de vazamentos com prioridade para as áreas com interface de faixas de pressão acima de 45 mH₂O e idade de redes superiores a 20 anos;
- serviços de limpeza e revestimento de tubulações, com prioridade para as áreas com interface de faixas de pressão superiores a 45 mH₂O e idade de redes superiores a 20 anos.

Segundo CONEJO & SILVA (1998), a perda de água (ou desperdício) em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água é considerada como o volume de água não faturada, que engloba perdas físicas de água, correspondendo à água não consumida, e as perdas de faturamento, correspondendo à água consumida e não faturada.

A redução das perdas físicas permite diminuir custos de produção do sistema (exemplo: redução do consumo de energia, de produtos químicos) e utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta sem expansão do sistema produtor.

A identificação e separação das perdas físicas das perdas de água não faturadas é possível tecnicamente através da análise de histogramas (registros contínuos) de consumo das vazões macromedidas: neste caso, o consumo noturno estabilizado durante a madrugada representa a perda física, enquanto o consumo remanescente em outros horários do dia menos o volume micromedido representam as perdas de faturamento.

Com a nova lei a ser aprovada na Assembléia Legislativa sobre a Cobrança pelo Uso da Água, como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, serão cobradas diretamente, pelo uso dos recursos hídricos (superficial ou subterrâneo), as companhias de serviços de água e esgotos, indústrias fora da rede pública e outros usuários com finalidades diversas como: geração hidrelétrica, abastecimento rural, lazer, recreação, agricultura, navegação, entre outros. A base de cálculo para cobrança visará os volumes captado, extraído, derivado e consumido que serão multiplicados pelos valores unitários e pelos produtos dos coeficientes de ajustes estabelecidos pelos Comitês das Bacias Hidrográficas para os diferentes usos.

Diante desta nova situação, tem-se mais uma razão para estabelecer metodologias que identifiquem e minimizem as perdas nos sistemas de abastecimento de água.

1.2 Objetivos.

A pesquisa tem como objetivo mais amplo o estudo das perdas em redes de distribuição de água em um subsetor da cidade de São Carlos, com base em levantamentos de campo e analisando o seu comportamento em face de diferentes pressões de serviço atuantes na rede, fornecer subsídios ao controle das referidas perdas. Dito isto, definem-se como objetivos específicos desta pesquisa:

- Definição e caracterização do subsetor em estudo;
- Avaliação das perdas em uma rede de distribuição de água através de um modelo matemático que utiliza válvula redutora de pressão e variação espacial e temporal da demanda (Distribuição de Probabilidade Triangular), para um caso real;
- Comparar resultados utilizando parâmetros existentes na literatura e obtidos em campo.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Levantamento da Curva de Vazamento versus Pressão.

GERMANOPOULOS & JOWITT (1989), apresentaram a relação de perdas por vazamento versus pressão como resultado de uma série de experimentos efetuados em redes de distribuição de água da Inglaterra, para quantificar o efeito da pressão sobre o vazamento, como pode ser verificado na Figura 2.1. Tais experimentos consistiram de ensaios sobre distritos de operação com pouco ou nenhum consumo noturno, onde foram medidas as vazões a várias pressões e registrados os resultados uma vez que a identificação da relação entre pressão de serviço e vazamento esbarra na necessidade de identificar o consumo noturno.

A relação entre o índice de perda, I , e as pressões noturnas médias da zona, \bar{P} , elevado ao expoente n (literatura pesquisada adota 1,18), é dado conforme expressão abaixo:

$$I = CL \times L \times (\bar{P})^n \quad (2.1)$$

onde: $I = 100q/(q+Q)$; q = quantidade total de perda na rede (m³/dia); Q = quantidade de água consumida na área (m³/dia); L = comprimento do trecho considerado (m); CL = constante de proporcionalidade e \bar{P} = pressão média no trecho (mH₂O).

GERMANOPOULOS & JOWITT (1989) já haviam deixado claro que a constante de proporcionalidade (CL) é uma característica da rede, devendo refletir

condições como: material da tubulação, ajuste das conexões e acabamento, assentamento e idade dos dutos, características do solo e tráfego, etc., sendo que JOWITT & XU (1990) atribuíram os valores entre $1,0 \times 10^{-5}$ e $1,5 \times 10^{-5}$ (l/s.m) para a constante de proporcionalidade (CL) ao tratar duas redes com características distintas.

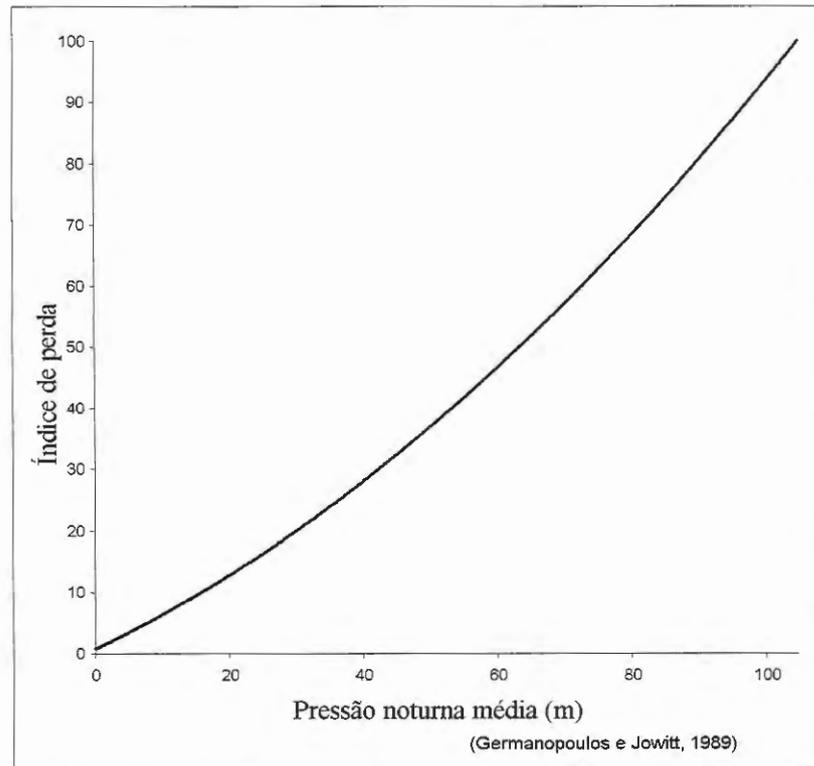


Figura 2.1: Relação entre vazamento e pressão.

GERMANOPOULOS & JOWITT (1989) apresentaram uma metodologia de minimização das perdas por vazamentos através de formulações de redes hidráulicas. Conhecendo que o vazamento na rede de distribuição de água tinha uma relação direta com a pressão de serviço do sistema, esses autores propuseram uma metodologia para determinação da colocação das válvulas de controle para minimizar os excessos de pressões. Este controle poderia ser aplicado em conjunto com outros procedimentos na descoberta e reparo dos vazamentos. JOWITT & XU (1990) estenderam o trabalho relatado por GERMANOPOULOS & JOWITT (1989), definindo o total de perdas como função objetivo a ser minimizada diretamente. REIS & PORTO (1992 e 1993) empregaram o modelo de JOWITT & XU (1990) para investigar o comportamento e localização de válvulas de controle de pressão em

uma rede hipotética, ou seja, reproduziram e em seguida acrescentaram a variação temporal e espacial da demanda no modelo matemático, sendo extraídos resultados desta rede hipotética que serviram de dados para apresentação em congresso.

2.2 Levantamentos Recentes Realizados no Brasil e Exterior.

Sabe-se que a relação entre as perdas físicas e a variação de pressão é função das condições operacionais do sistema em análise. Vários coeficientes e indicadores importados das experiências de outros países vêm sendo utilizados. Entretanto, em função do elevado índice de perdas nos sistemas de distribuição de águas brasileiros, há necessidade de estudos para determinação dos coeficientes e indicadores que reflitam a realidade de nossos sistemas.

SANTOS (2000) reporta um trabalho realizado no Brasil de que se tem notícia no sentido de quantificar perdas e estabelecer a referida relação é o trabalho contratado pela SABESP (1998), onde os valores padrões de vazamentos inerentes obtidos para a Inglaterra são relacionados com o intuito de comparação:

- Redes primárias:	5,0 m ³ /km/dia.
- Reservatório:	0,33% por dia.
- Tubulação de distribuição com 50 mH ₂ O	40 l/km/h.
- Ligações com 50 mH ₂ O	3,0 l/ligações/h.
- Hidrômetro à caixa d'água com 50 mH ₂ O.	0,50 l/ligações/h

Utilizando-se o distrito pitométrico Vila Deodoro e atendo-se às redes de distribuição, ligações e ramais até a caixa d'água, com 20,5 km de distribuição e 4.459 ligações, a aplicação dos valores da Inglaterra indica vazamento inerente a 50 mH₂O da ordem de 16,4 m³/h, ao passo que o valor de 97,94 m³/h a 45 mH₂O foi obtido pela Companhia. O valor encontrado é comparativamente muito elevado, apesar de poder incluir vazamentos visíveis ocorridos entre o período de reparos e a pesquisa e vazamentos contínuos causados pela falta de vedação de bóias.

Ainda em conformidade com a metodologia descrita no relatório SABESP (1998), a vazão pode ser obtido conforme esquema na Figura 2.2.

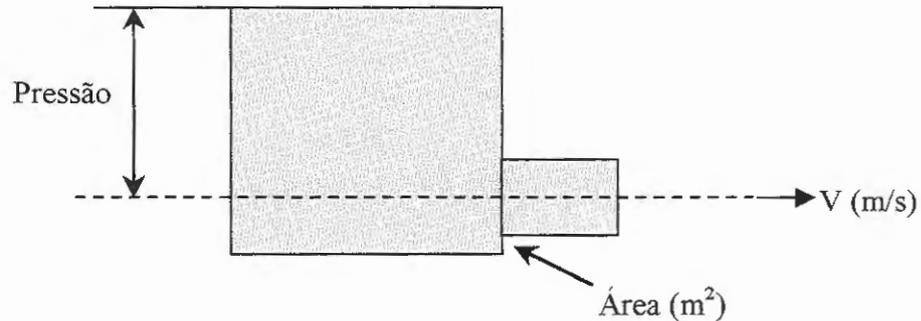


Figura 2.2: Ilustração do cálculo de vazamento.

onde:

$$\text{Velocidade} = C_d \times (2gP)^{1/2} \text{ (m/s)} \quad (2.2)$$

$$\text{Vazão} = A \times C_d \times P^{N1} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.3)$$

sendo:

$N1 = 0,5$: quando a área (furo ou trinta) do vazamento não varia com a pressão.

Exemplo: furos ou trincas de tubos fofo, furos de PVC ou PEAD.

$N1 = 1,15$: valor considerado médio de diversos experimentos já realizados a Inglaterra, Japão, etc.

$N1 > 1,15$: valor obtido em diversos experimentos para trinca de PEAD e PVC podendo chegar a 2,5.

Os vazamentos com $N1 = 2,5$ afloraram rapidamente e logo são detectados e reparados. Portanto, para a maioria dos testes, o valor de $N1$ está entre 0,5 e 1,5.

Vale lembrar que o vazamento (visível e não visível ou inerente) varia em função da pressão e da variação ou não da área através da qual o vazamento ocorre. Para calcular a relação geral entre a pressão do ponto médio da sub-rede e as perdas físicas faz-se uso da seguinte expressão:

$$L_1 = L_0 (P_1/P_0)^{N1}. \quad (2.4)$$

onde: o L_0 é o volume das perdas físicas (m^3/h) sem variação da pressão média do sistema P_0 e L_1 é o volume das perdas físicas sob alteração da pressão P_0 para P_1 .

KHADAM et al. (1991) realizaram estudo de vazamentos em 5 áreas da cidade de Ar-Riyadh, Arábia Saudita. Todos as áreas onde vazamentos foram identificados foram submetidas a pressões de testes para a quantificação dos mesmos. Após o isolamento de cada área pelo fechamento das válvulas apropriadas, a água foi bombeada nas pressões de testes 2, 4 e 6 bar durante 30, 15 e 15 minutos respectivamente. Obtiveram assim cinco curvas representativas do vazamento em função da pressão. A taxa de vazamento calculada com base na pressão média de operação de cada área, mostra que as curvas vazamento/pressão não seguem uma curva exponencial precisa. Assim os autores apontam como os fatores mais importantes da não uniformidade nas relações entre pressão e vazamento:

- Variação de pressão durante o dia causando mudança nas dimensões das fissuras, particularmente em tubos de polietileno (PEAD) e policloreto de vinila (PVC) e, conseqüentemente, o tamanho dos orifícios também irá variar com a pressão;
- Fadiga térmica devido a mudanças extremas de temperatura, causando defeitos em tubos de PEAD e PVC, causando várias formas de fissuras e orifícios;
- Mão de obra pouco qualificada empregada na construção de juntas de condutos, resultando em aberturas que se alargarão e deixarão passar crescentes fluxos de vazão a pressões elevadas. Foram também observados materiais de enchimento de valas de granulometria não uniforme. Algumas vezes grandes pedaços de pedra foram encontrados no material de enchimento das valas, causando fendas, particularmente em tubos de plástico.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Uso de Laboratórios.

Foram utilizados os laboratórios de simulação computacional e de hidráulica da EESC/USP, com o propósito de simular os modelos computacionais e aferir os equipamentos de medidas usados para levantamento de dados de campo, respectivamente.

Os instrumentos utilizados para aferição foram: manômetro de peso morto da marca *Haenni* e medidor de vazão *Conaut* – modelo 474 instalado em linhas pressurizadas de circuito fechado. O manômetro aferiu a medida de pressão dos *Data loggers*, mostrado na Figura 3.1, e o *Conaut* aferiu a medida de vazão do medidor de vazão ultra-sônico.

Já no laboratório de simulação numérica utilizou-se dois computadores, sendo o primeiro um Pentium II 266 e o segundo um *Notebook* Toshiba Pentium II 266, ilustrado na Figura 3.2, também utilizado para extrair as informações armazenadas em campo. Estes computadores receberam softwares como Fortran PowerStation 4.0 e biblioteca da NAG (*Numerical Algorithm Group*).

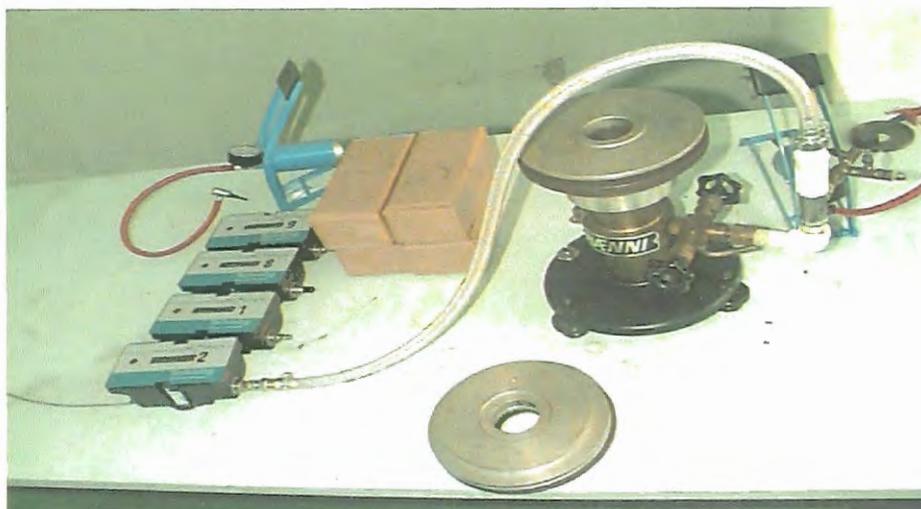


Figura 3.1: Manômetro de peso morto utilizado para aferir os *Data loggers*.



Figura 3.2: *Notebook* utilizado em campo para extração de dados do *Data logger*.

3.1.2 Equipamentos Utilizados em Campo.

Na etapa de detecção de vazamentos relativos ao subsetor em estudo, para posterior reparo pela equipe do SAAE, utilizou-se equipamentos para amplificar o som de vazamentos, como geofone mecânico, geofone eletrônico (*water leak detector* modelo *FD-10* da *Fuji Tecom*) e haste de escuta, apresentado na Figura 3.3. Como parte deste levantamento foi realizado no período noturno, para a segurança pessoal a equipe contou com coletes luminosos e lanternas.

Para as medidas de pressão utilizaram-se oito medidores armazenadores de dados do tipo *Metrolog NA Data Logger* da *Technolog*, como mostra a Figura 3.4. As medidas de vazão foram tomadas através de dois medidores ultra-sônicos não intrusivos modelo *Porta Flow 300* da *Micronics*, ilustrado na Figura 3.5.

Na aferição de medidas de cotas topográficas nos pontos onde foram realizadas as medidas de pressão e/ou vazão, utilizou-se o *GPS Leika – SR9400* (*Global Positioning System*), Figura 3.6.



Figura 3.3: Geofone eletrônico e haste de escuta.

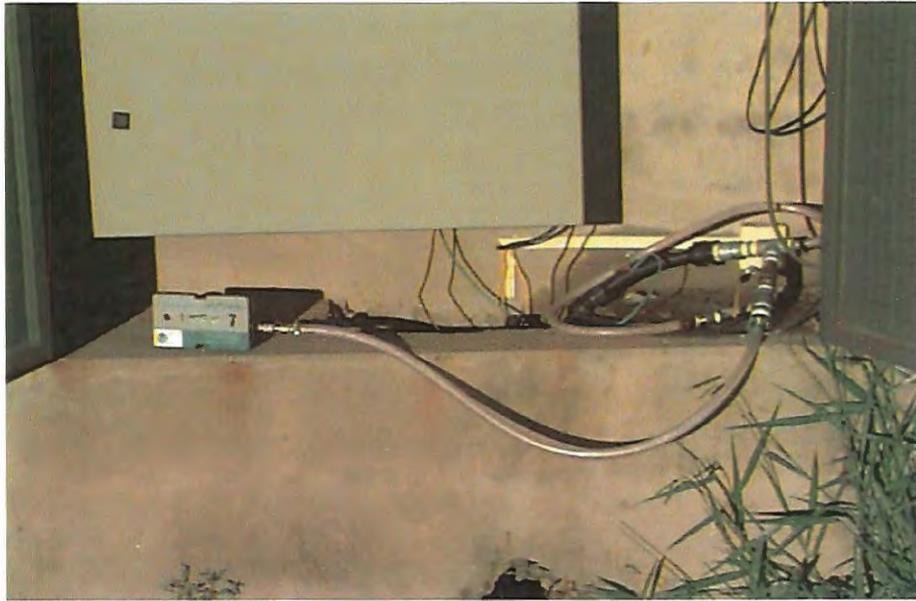


Figura 3.4: *Data logger* instalado em uma caixa de monitoramento do SAAE.



Figura 3.5: Medidor de vazão ultra-sônico não intrusivo modelo *Porta Flow 300*.



Figura 3.6: Equipamento utilizado para aferição de cotas topográficas (GPS).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Parceria para Desenvolvimento do Projeto.

Vale lembrar que a pesquisa foi desenvolvida em parceria com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), da cidade de São Carlos, como parte integrante do projeto intitulado como “Controle Operacional e Avaliação de Perdas em um Subsetor Urbano e Distribuição de Água”, sendo financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e também contamos com o apoio técnico do Bureau Brasileiro S/C Ltda (BBL).

3.2.2 Identificação de Possíveis Setores para Estudo.

Nas reuniões da equipe de trabalho do Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP com engenheiros e diretores do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), ficaram definidas como possíveis áreas de estudo os setores 6, 7 e 8, como ilustra a Figura 3.7. Tais setores apresentam frequência elevada de denúncias de vazamentos em comparação com outros setores e também estes setores poderiam ser isolados através de registros e válvula redutora de pressão (VRP). Os bairros correspondentes aos setores mencionados estão na Tabela 3.1 a seguir.

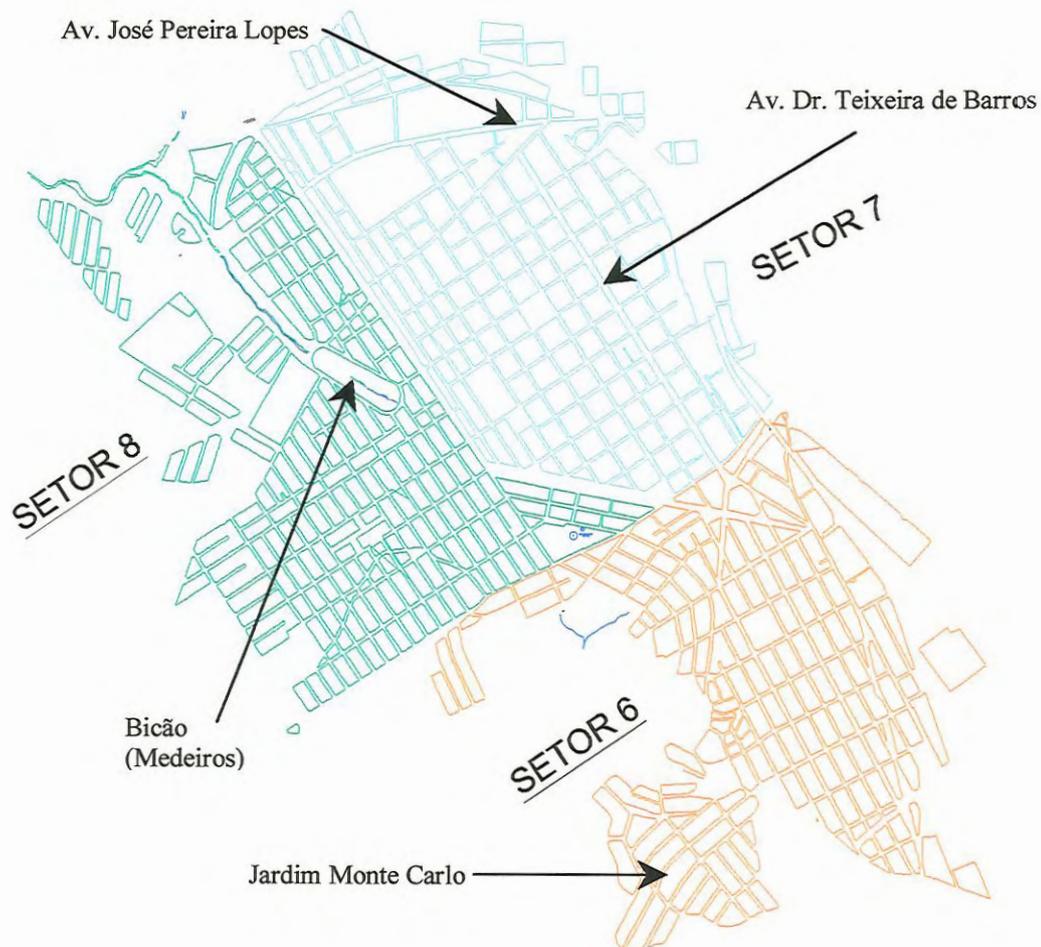


Figura 3.7: Setores inicialmente identificados para estudo.

Tabela 3.1: Relação dos bairros dos setores 6, 7 e 8 em estudo.

Setor 6	Setor 7	Setor 8
Santa Madre Cabrine	Vila Prado	Mirante de Bela Vista
Vila Conceição	Vila Bela Vista	Jardim Beatriz
Jardim Monte Carlo	Vila Pelicano	Jardim Medeiros
Jardim Gonzaga	Jardim Paulista	Vila Boa Vista
Jardim Cruzeiro do Sul		Jardim das Torres
Vila Morumbi		Cooperativa Habitacional Bicão
Jardim das Rosas		Vila Carmem
Jardim Santa Tereza		Jardim Botafogo
Cooperativa Habitacional Belvedere		Recreio dos Bandeirantes II
Vila Sônia		São Carlos VI – Conj. Habitacional
Jardim Pacaembu		

3.2.3 Definição do Subsetor a ser Estudado.

A análise da rede de abastecimento de água destes bairros, pelo grupo de trabalho da USP e engenheiros do SAAE, indicou o setor 6, mais especificamente o Jardim Monte Carlo, para início dos estudos por ser considerado uma área que apresenta elevada incidência de vazamentos ao longo dos meses, ser facilmente isolável devido ao bairro possuir uma única entrada na rede de abastecimento de água e porque neste local existe uma válvula redutora de pressão instalada. Na Figura 3.8 é apresentado o Jardim Monte Carlo com as respectivas numerações das quadras.

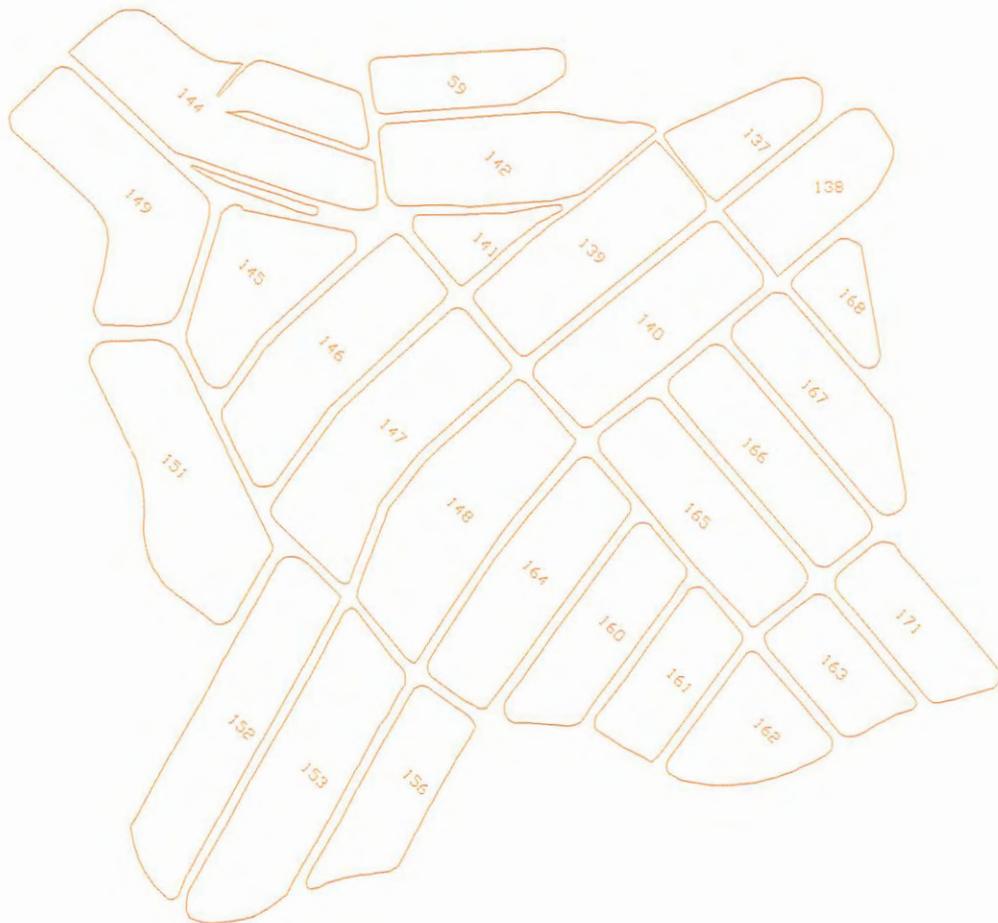


Figura 3.8: Área de estudo do Jardim Monte Carlo.

3.2.4 Levantamento de Dados Junto ao SAAE.

O SAAE disponibilizou o cadastro de consumidores do Jardim Monte Carlo para análises e identificação do perfil dos consumidores locais, mapas digitais, e informação relativas à extensão da rede, número de ligações, número de economias, tipo de material da rede, diâmetros, etc.

3.2.5 Levantamento Sócio Econômico.

Identificou-se a necessidade de elaboração de um questionário específico a ser aplicado para avaliação da população local e do perfil sócio econômico da mesma, com ênfase em aspectos reveladores dos hábitos de consumo de água, conforme indicação de KHADAM et al. (1991).

O questionário elaborado na forma de ficha a ser preenchida pelos entrevistadores é apresentada no Anexo A.

Através do cadastro (SAAE) do número de ligações por quadra, amostrou-se aproximadamente 20% das referidas ligações, como ilustrada na Tabela 3.2, ou seja, de 1.051 ligações residenciais foram amostradas 219. A amostragem nas quadras deu-se por escolhas aleatórias. Na impossibilidade de aplicação do questionário, ausência do morador ou qualquer outro motivo, os entrevistadores dirigiam-se para a casa ao lado.

Tabela 3.2: Amostragem do Levantamento Sócio-Econômico – Jardim Monte Carlo.

Quadras	N.º de Ligações	Amostragem \pm 20% do número ligações
137	11	2
138	42	9
139	33	7
140	23	5
141	7	2
142	35	7
143	124	25
144	25	5
145	1	1
146	38	8
147	32	7
148	3	1
149	49	10
151	62	13
152	54	11
153	39	8
154	9	2
155	2	1
156	42	9
160	39	8

Tabela 3.2: Amostragem do Levantamento Sócio-Econômico – Jardim Monte Carlo (continuação).

161	29	6
162	22	5
163	31	6
164	42	9
165	64	13
166	49	10
167	39	8
168	11	2
169	26	5
170	28	6
171	40	8
Total	1051	219

3.2.6 Análise do Consumidor Especial do Jardim Monte Carlo.

Foi considerado consumidor especial àquele que consome uma quantidade de água superior a 100 m³/mês. Com base nas micro-medições realizadas pelo SAAE, o único consumidor que ultrapassa este volume no Jardim Monte Carlo é a escola E.E. Dona Aracy Leite Pereira Lopes, localizada na Travessa Francisco Parrota s/n.

Este procedimento foi realizado visando um refinamento do modelo, pois a colocação de um nó específico para este consumidor na rede, evita uma vazão em um trecho muito superior aos demais, podendo prejudicar os resultados. Este procedimento foge do padrão utilizado para a determinação dos demais nós em estudo, apresentado adiante.

3.2.7 Geofonamento do Subsetor.

Durante o geofonamento do Jardim Monte Carlo foi percorrido toda a extensão da rede (9.173 metros), onde integrantes da equipe utilizavam o geofone eletrônico caminhando sobre a rede e outros, com auxílio da haste de escuta, faziam uma inspeção nos cavaletes residenciais. Essa atividade foi desenvolvida ao longo de uma semana, contando com a presença de um engenheiro e um técnico do SAAE e três engenheiros da equipe da USP, durante a qual foram detectados pontos com possíveis vazamentos. Após a identificação dos possíveis vazamentos foi elaborado um boletim e encaminhado para o Departamento de Vazamentos do SAAE para os possíveis reparos.

3.2.8 Incidência Histórica de Vazamentos no Subsetor.

Para verificar a incidência de vazamentos e poder traçar uma estratégia de controle de vazamentos, dentre outras ações, tem-se que definir as áreas de maior suscetibilidade aos mesmos. Para isto levou-se em consideração as reclamações feitas pelos consumidores do bairro em questão. Estas áreas foram identificadas com dados mínimos de um ano, a fim de verificar a frequência de vazamentos.

3.2.9 Testes de Vazamentos Noturnos para Levantamento dos Parâmetros do Modelo Pressão-Vazamento.

O presente trabalho visou à análise das perdas físicas de água por vazamento, através da avaliação de vazão durante o período noturno. A inspeção dos gráficos de vazão de distribuição ao longo das 24 horas do dia, apresentados pelo SAAE, retratou consumo reduzido no período da 1:00 às 4:00 horas. Assim, considerou-se

que esse seria o período adequado para a realização dos testes noturnos de vazamentos, pois podemos considerar que o consumo é praticamente nulo.

Com base na topografia do terreno e no traçado da rede, foram selecionados pontos de natureza diversos: críticos, médios (representativos da rede) e extremo para aquisição de dados de pressão, como ilustram Figura 3.9 e Tabela 3.3. Observa-se que os medidores de pressão foram instalados no cavalete residencial com a permissão dos consumidores. Nos cavaletes usados para coleta de dados de pressão, utilizando os *Data loggers*, foram colocadas umas conexões “T” para minimizar a nossa interferência sobre a rotina dos consumidores, ou seja, permitir o uso da torneira do cavalete, como ilustra Figura 3.10.

Visando a determinação das relações entre pressão e vazamento para o subsetor, os dados foram obtidos de maneira a manter fixa a pressão na entrada em quatro níveis, através da regulagem da válvula redutora de pressão (VRP) existente no local. A partir da VRP totalmente aberta, foram realizadas manobras de fechamento, aproximado, gradativo de 75% , 50%, e 25% e registradas as informações simultâneas de interesse, ou seja, vazão e pressão na entrada do setor e pressões nos pontos pré-estabelecidos.

Os testes foram realizados com o auxílio de equipamentos como um medidor de vazão ultra-sônico, apresentado na Figura 3.11, e oito registradores contínuos de pressão medindo simultaneamente vazão e pressão do subsetor em intervalos de quinze em quinze minutos.

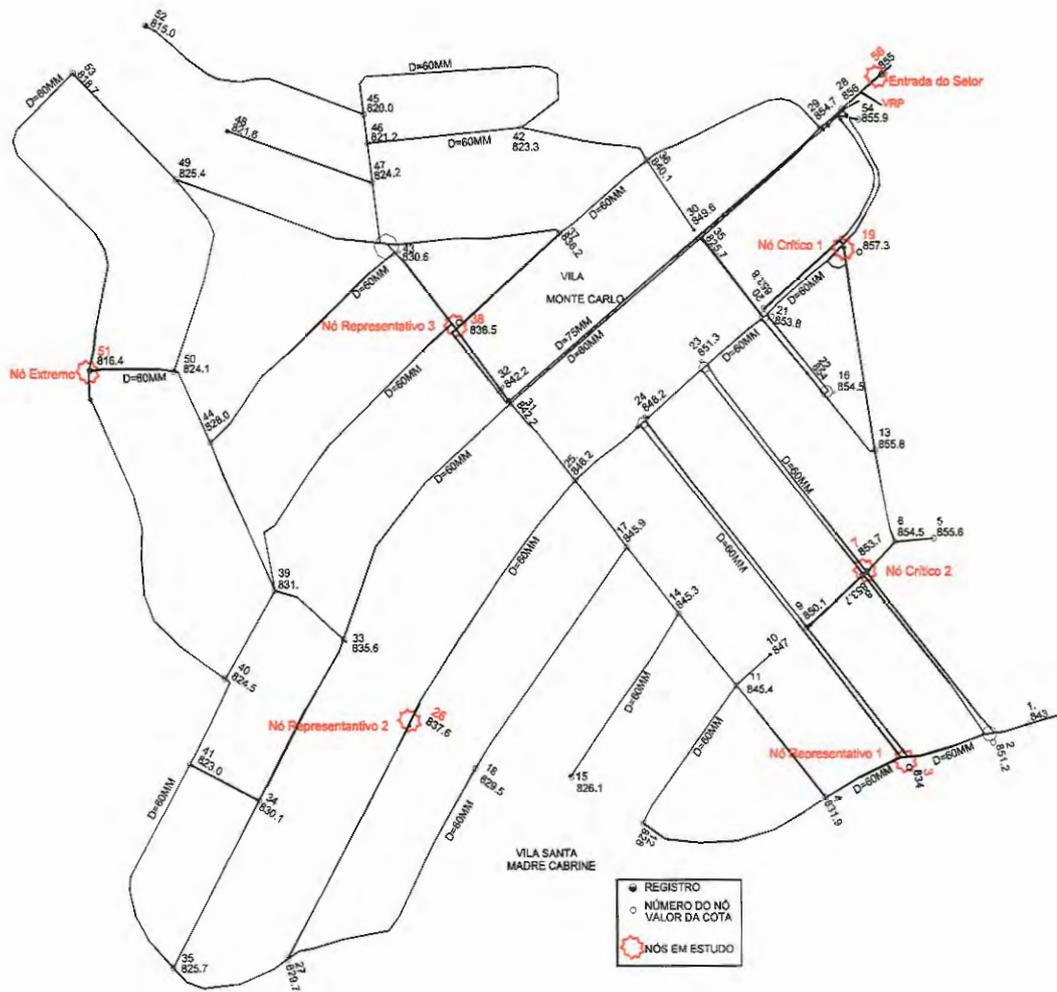


Figura 3.9: Esboço da rede Monte Carlo e nós de estudo.

Tabela 3.3: Pontos escolhidos para aquisição de dados

Nó	Natureza	Localização -Cota (m)	Medidas
56 a	Entrada do setor	Antes da VRP (PV)* - 855,0	Pressão
56 b	Entrada do setor	após a VRP (PV) - 855,0	Vazão e pressão
3	Representativo 1	CR** - 836,5	Pressão
26	Representativo 2	CR - 836,0	Pressão
38	Representativo 3	CR - 837,3	Pressão
19	Crítico 1	CR - 856,4	Pressão
7	Crítico 2	CR - 853,1	Pressão
51	Extremo	CR - 816,2	Pressão

* Poço de visita; ** Cavalete residencial.

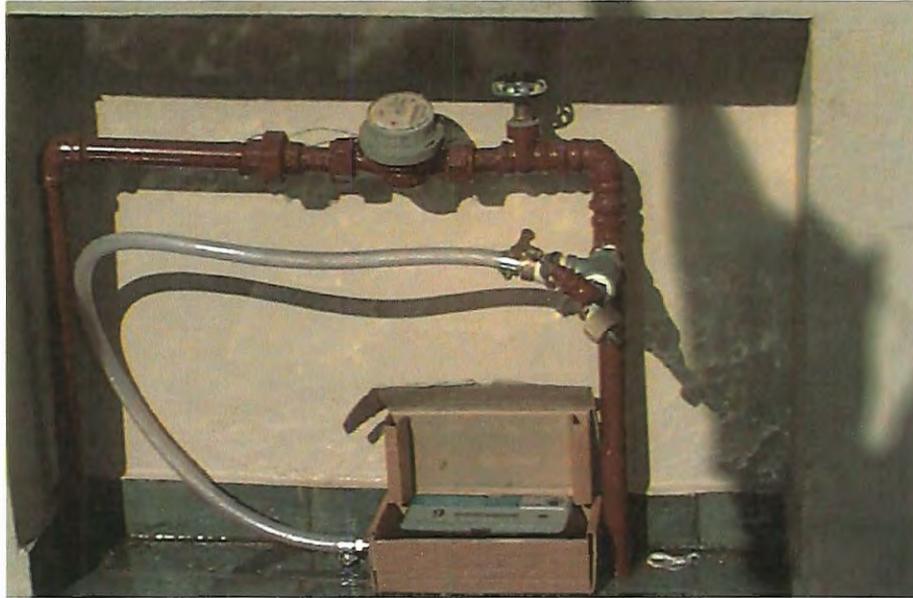


Figura 3.10: Instalação típica do *Data logger* para coleta de dados de pressão em ramais prediais.



Figura 3.11: Medidor de vazão ultra-sônico não intrusivo.

3.2.10 Levantamento de Cotas dos Pontos em Estudo.

Utilizando o GPS, equipamento cedido pelo Departamento de Transporte da EESC/USP, levantou-se as cotas dos pontos onde foram feitas as medidas de pressão e/ou vazão. O objetivo foi conferir as cotas levantadas nos mapas do SAAE, pois estes pontos seriam muito importantes para a calibração do modelo.

3.2.11 Distribuição de Probabilidade Triangular.

Além da determinação do local de instalação das válvulas de controle, a aplicação prática no processo para minimizar as perdas por vazamentos, requerer um estudo sobre o número de válvulas e seu comportamento em resposta a variação temporal e espacial da demanda.

Para operar válvulas redutoras de pressão, dependemos do conhecimento das demandas na rede. Geralmente, a demanda diária não é conhecida a priori, requerendo o uso de um modelo de previsão de demanda. Demandas especiais podem ocorrer como devido a incêndio e quebra de canos, por exemplo. Como consequência, a eficiência de tal sistema muda diretamente com o tempo, assumindo valores diferentes para zonas diferentes da mesma rede. Uma distribuição de demanda admite que o sistema total de demanda pode ser distribuído no tempo e no espaço entre vários pontos da rede. Em outras palavras, as válvulas devem ser capazes de operar sob diferentes condições, representadas por diversas variações temporais e espaciais da demanda, chamados cenários.

Com o propósito de avaliação da operação de válvulas por um modelo matemático disponível, a metodologia proposta por RIGHETTO & CARRIJO (1989) foi adaptada e melhorada para uso neste trabalho, no qual foi admitido que as vazões de demanda dos nós seguem uma distribuição de probabilidade triangular, ver Figuras 3.12 e 3.13, com as seguintes características:

- a) é especificado o limite mínimo e máximo da demanda em cada nó, $D_{min}(i)$ e $D_{max}(i)$, respectivamente;
- b) a distribuição de probabilidade triangular é definida de maneira que a área do triângulo de altura $h(i)$ é unitária.

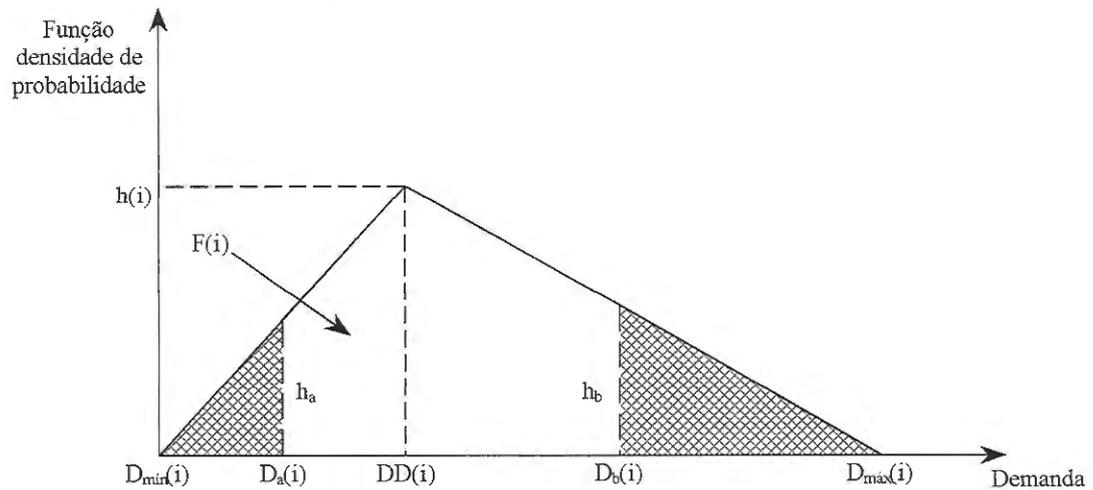


Figura 3.12: Distribuição de probabilidade triangular.

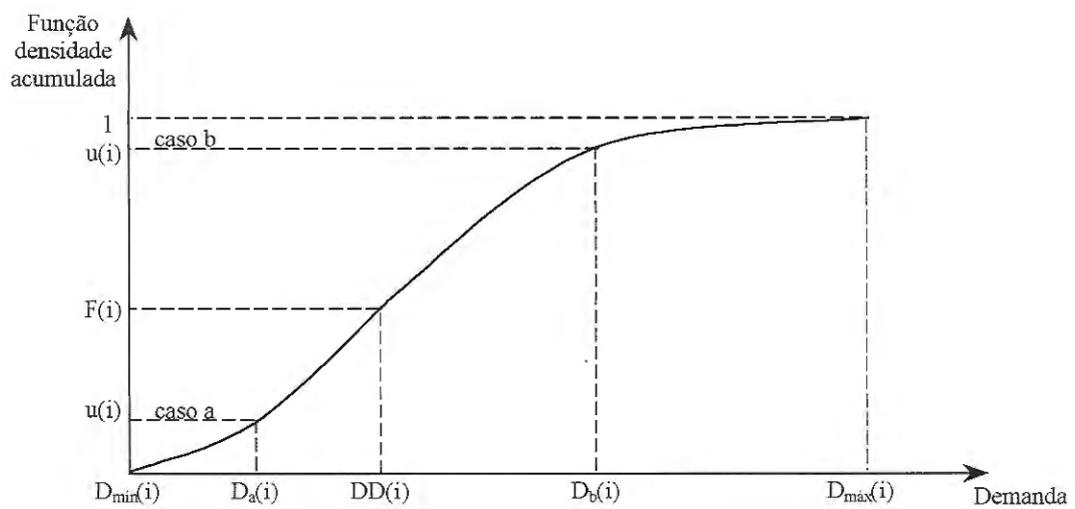


Figura 3.13: Distribuição de probabilidade triangular acumulada.

Sendo a área do triângulo unitária, a altura $h(i)$ é definida como:

$$A = 1 = \frac{D_{m\acute{a}x}(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{2} \times h(i) \quad (3.1)$$

$$h(i) = \frac{2}{D_{m\acute{a}x}(i) - D_{m\acute{i}n}(i)} \quad (3.2)$$

Diferentes cenários podem ser produzidos por geração de números aleatórios $u(i)$ entre zero e um para cada nó i . Duas situações podem ocorrer, chamadas caso **a** ou caso **b**.

No caso **a**, o número aleatório é menor ou igual ao valor da probabilidade acumulada $F(i)$ e a altura $h_a(i)$ pode ser calculada através de semelhança de triângulos:

$$\frac{D_a(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{h_a} = \frac{DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{h(i)} \quad (3.3)$$

$$h_a = \frac{D_a(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)} \times h(i) \quad (3.4)$$

onde: $D_a(i)$ = demanda no nó i para o caso **a** e $DD(i)$ = demanda de projeto.

A probabilidade acumulada $F(i)$ e a equação de $u(i)$ são dadas, respectivamente, por:

$$F(i) = \frac{DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{2} \times h(i) \quad (3.5)$$

$$u(i) = \frac{D_a(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{2} \times h_a \quad (3.6)$$

Substituindo as equações (3.2) e (3.4) na equação (3.6), tem-se:

$$u(i) = \frac{[D_a(i) - D_{m\acute{i}n}(i)]^2}{[DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)] \times [D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}]} \quad (3.7)$$

Substituindo a equação (3.4) em (3.5), obtém-se:

$$D_{m\acute{a}x}(i) - D_{m\acute{i}n}(i) = \frac{DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)}{F(i)} \quad (3.8)$$

Substituindo a equao (3.8) em (3.7), tem-se:

$$u(i) = \frac{[D_a(i) - D_{m\acute{i}n}(i)]^2 \times F(i)}{[DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)]^2} \quad (3.9)$$

Obtém-se uma equao de 2^o grau:

$$[D_a(i)]^2 - [2D_{m\acute{i}n}(i)]D_a(i) + [D_{m\acute{i}n}(i)]^2 - \frac{u(i)}{F(i)}[DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)]^2 = 0 \quad (3.10)$$

Portanto, o valor de $D_a(i)$  dado por:

$$D_a(i) = D_{m\acute{i}n}(i) + [DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)] \times \sqrt{\frac{u(i)}{F(i)}} \quad (3.11)$$

No caso **b**, o valor de $u(i)$  maior que $F(i)$ e a altura $h_b(i)$  dada por:

$$\frac{D_{m\acute{a}x}(i) - D_b(i)}{h_b} = \frac{D_{m\acute{a}x}(i) - DD(i)}{h(i)} \quad (3.12)$$

$$h_b = \frac{D_{m\acute{a}x}(i) - D_b(i)}{D_{m\acute{a}x}(i) - DD(i)} \times \frac{2}{D_{m\acute{a}x}(i) - D_{m\acute{i}n}(i)} \quad (3.13)$$

onde: $D_b(i)$ = demanda no n i para o caso **b**.

A equao de $u(i)$  dada por:

$$u(i) = 1 - \frac{D_{m\acute{a}x}(i) - D_b(i)}{2} \times h_b \quad (3.14)$$

Substituindo as equaes (3.5) e (3.13) em (3.14), temos:

$$u(i) = 1 - \frac{[D_{m\acute{a}x}(i) - D_b(i)]^2 \times F(i)}{[D_{m\acute{a}x}(i) - DD(i)] \times [DD(i) - D_{m\acute{i}n}(i)]} \quad (3.15)$$

Obtém-se uma equação do 2º grau:

$$[D_b(i)]^2 - [2D_{máx}(i)]D_b(i) + [D_{máx}(i)]^2 - \left(\frac{1-u(i)}{F(i)}\right) \times [D_{máx}(i) - DD(i)] \times [DD(i) - D_{mín}(i)] = 0 \quad (3.16)$$

Portanto, o valor de $D_b(i)$ é dado por:

$$D_b(i) = D_{máx}(i) + \sqrt{\left(\frac{1-u(i)}{F(i)}\right) \times [D_{máx}(i) - DD(i)] \times [DD(i) - D_{mín}(i)]} \quad (3.17)$$

3.2.12 Distribuição Inicial da Demandas nos Nós.

Como os programas exigem valores iniciais de demanda em cada nó, foi calculado o valor de demanda através de dados fornecidos pelo SAAE de consumo mensal por quadra, no caso foi levantado para o mês de agosto de 1999. Foi definido nó como sendo todo cruzamento de tubulação ou mudança de diâmetro e/ou material, única exceção foi à locação do nó para o consumidor especial.

A distribuição foi feita dividindo-se o consumo mensal de cada quadra pelo número de nós que faz limite com a quadra em questão e atribuindo como demanda no nó a soma das contribuições de cada quadra.

Exemplificando com o cálculo de demanda inicial para o nó E . A contribuição da quadra 6 ao nó E será:

$$Contr_{ij} = \frac{CM_i}{nn} \quad (3.18)$$

sendo: $Contr_{ij}$ = contribuição da quadra i ao nó j , CM_i = consumo mensal da quadra i e nn = número de nós que faz limite com a quadra i (para o exemplo, $i = 6$, $j = E$ e $nn = 4$, pois os nós A , B , D e E rodeiam a quadra), como ilustra a Figura 3.14.

Deste modo, a demanda inicial do nó E será a soma de todas as contribuições das quadras que fazem limites com o nó em estudo:

$$DI_j = \sum_j^{i=1, nq_j} Contr_{ij} \quad (3.19)$$

sendo: DI_j = demanda inicial do nó j e nq_j = número de quadras que faz limite com o nó j (no exemplo, $nq_E = 4$).

Portanto, para o nó E teremos:

$$DI_E = \frac{1}{4} \times (CM_6 + CM_7 + CM_{10} + CM_{11}) \quad (3.20)$$

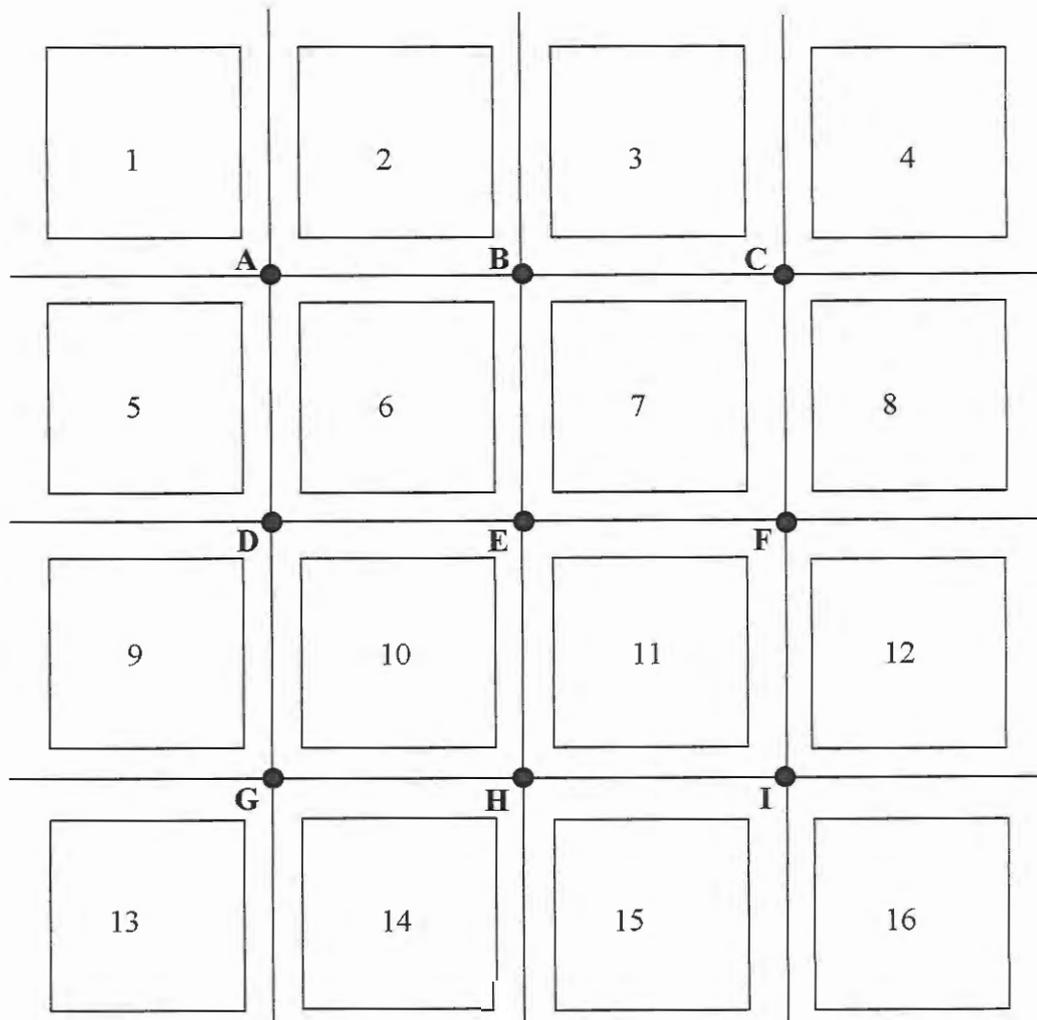


Figura 3.14: Esquema da distribuição inicial da demanda nos nós.

3.2.13 Formulação Matemática do Problema de Minimização da Pressão.

O problema de minimização de perdas por vazamento em redes foi montado a partir do balanço de massa do sistema, utilizando-se de uma equação de resistência e uma relação entre perda de água e pressão média nos trechos.

Observa-se que a $cte1 = 0,5$ e que a $cte2 = n = 1,18$ (literatura) ou $0,71$ (levantado em campo), dependendo do caso em estudo.

Utilizando-se a fórmula Universal, dentre as diversas alternativas disponíveis na literatura, para relacionar vazão e perda de carga nos condutos forçados, tem-se que:

$$Q_{ij} = RR_{ij} \times \text{sinal}(H_i - H_j) \times |H_i - H_j|^{cte1} \quad (3.21)$$

sendo:

$$RR_{ij} = \frac{1}{f^{cte1}} \left[\frac{g(\pi)^2 (D_{ij})^5}{8L_{ij}} \right]^{cte1} \quad (3.22)$$

onde: Q_{ij} = vazão no trecho que liga os nós i e j (l/s); RR_{ij} = parâmetro de resistência da tubulação, L_{ij} = comprimento do trecho que liga os nós i e j (m); D_{ij} = diâmetro do trecho que liga os nós i e j (m); H_i = carga no nó i (m); H_j = carga no nó j ; f = fator de atrito; $cte1 = 0,5$ (para a fórmula Universal) e g = aceleração da gravidade (m/s^2).

O fator de atrito é calculado através da equação de Swamee-Jain (3.23):

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{\text{Re } y} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\epsilon_{ij}}{3,7D_{ij}} + \frac{5,74}{\text{Re } y^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{\text{Re } y} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (3.23)$$

sendo:

$$\text{Re } y = \frac{4 \times 10^6 \times Q_{ij}}{\pi \times D_{ij}} \quad (3.24)$$

onde: Rey = número de Reynolds; ε_{ij} = rugosidade absoluta equivalente da tubulação no trecho que liga os nós i e j (m); Q_{ij} = vazão no trecho que liga os nós i e j (m^3/s) e D_{ij} = diâmetro do trecho que liga os nós i e j (m).

No caso de haver válvula controladora de pressão no trecho entre os nós i e j , a relação acima passa a ser:

$$Q_{ij} = v_{ij} \times RR_{ij} \times \text{sinal}(H_i - H_j) \times |H_i - H_j|^{cte1} \quad (3.25)$$

onde: v_{ij} = padrão de abertura da válvula controladora de pressão do trecho que liga os nós i e j .

Portanto, v_{ij} pode assumir valores entre zero e um, cujo significado físico é de fechamento total e abertura total, respectivamente. Observa-se que o fato de algumas válvulas permitirem o fluxo em uma única direção foi desconsiderado na explicitação do problema.

A relação entre perda por vazamento e pressão de serviço média no trecho pode, segundo dados experimentais apresentados por GERMANOPOULOS & JOWITT (1989), ser expressa como:

$$QS_{ij} = RS_{ij} \times P_{ij}^{cte2} \quad (3.26)$$

com:

$$RS_{ij} = CL_{ij} \times L_{ij} \quad (3.27)$$

onde: QS_{ij} = perda por vazamento no trecho que liga os nós i e j (l/s); CL_{ij} = constante de proporcionalidade no trecho que liga os nós i e j (depende das características do sistema como do tempo de uso e grau de deterioração dos condutos); $cte2$ = constante (na literatura é igual a 1,18) e P_{ij} = pressão de serviço média no trecho que liga os nós i e j (mH₂O), definida por:

$$P_{ij} = \frac{1}{2} \times [(H_i - G_i) + (H_j - G_j)] \quad (3.28)$$

sendo: G_i e G_j as cotas do terreno nos nós i e j , respectivamente.

As perdas por vazamento ocorridas no trecho são supostamente divididas igualmente entre os nós i e j , de maneira que a equação de balanço de massa nos nós, pode ser escrita:

$$\sum_{j \in R_i} Q_{ij} + 0,5 \times \sum_{j \in R_i} QS_{ij} + fator \times C_i = 0, \quad i = 1, N \quad (3.29)$$

sendo: N = o número total de nós de carga desconhecida; R_i = conjunto de nós conectados ao nó i ; C_i = demanda no nó i e $fator$ = fator de demanda.

Conhecendo-se o número de válvulas a ser adotado e as respectivas posições na rede, a determinação do conjunto ótimo de parâmetros de abertura v_{ij} requer um critério de ordenação de alternativas e resolução do sistema não-linear de N equações a N incógnitas.

GERMANOPOULOS & JOWITT (1989) propuseram que o critério fosse a minimização das diferenças entre as cargas nos nós e o requisito de carga mínima, representada matematicamente por:

$$\min_{H,V} \sum_{i \in R} (H_i - H_i^*) \quad (3.30)$$

onde: R = conjunto representativo de todos os pares de nós conectados da rede; H_i^* = carga mínima para o nó i e V = vetor de padrões de abertura para as válvulas, cujos elementos são v_{ij} .

JOWITT & XU (1990) apresentaram um outro critério com vantagens sobre o primeiro, por expressar diretamente o problema em termos da minimização das perdas por vazamento, representado por:

$$\min_{H,V} \sum_{ij \in R} QS_{ij} \quad (3.31)$$

Deste modo, o modelo matemático de minimização de perdas por vazamento em redes de abastecimento adotado para o desenvolvimento das análises aqui apresentadas utiliza-se a função critério explicitada em 3.31, sujeita a:

$$\sum_{ij \in R_i} Q_{ij} + 0,5 \times \sum_{ij \in R_i} QS_{ij} + fator \times C_i = 0, i = 1, N \quad (3.32)$$

$$H_i > H_i^* \quad (3.33)$$

$$v^{\min} < v_{ij} < v^{\max} \quad (3.34)$$

A técnica iterativa adotada para a resolução do problema foi a de linearização sucessiva, conforme detalhada por GERMANOPOULOS & JOWITT (1989) e JOWITT & XU (1990).

3.2.13.1 Método da Teoria Linear.

De forma resumida, as expressões não-lineares de interesse podem ser formulados como:

$$\left| Q_{ij} \right|^{\frac{1}{cte2}} \times Q_{ij} = RR_{ij}^{\frac{1}{cte1}} \times (H_i - H_j) \quad (3.35)$$

$$QS_{ij}^{\left(\frac{1}{cte2}-1\right)} \times QS_{ij} = 0,5 \times RS_{ij}^{\frac{1}{cte2}} \times (H_i + H_j - G_i - G_j) \quad (3.36)$$

Isolando-se Q_{ij} e QS_{ij} obtém-se:

$$Q_{ij} = K_{ij} \times (H_i - H_j) \quad (3.37)$$

sendo:

$$K_{ij} = v_{ij}^{\frac{1}{cte1}} \times \frac{RR_{ij}^{\frac{1}{cte1}}}{\left| Q_{ij} \right|^{\frac{1}{cte2}}} \quad (3.38)$$

onde: K_{ij} = constante de linearização iterativa carga-vazão.

Não havendo válvula no trecho v_{ij} será igual a 1,0.

Da mesma forma, o termo com perda pode ser linearizado:

$$QS_{ij} = KS_{ij} \times (H_i + H_j - G_i - G_j) \quad (3.39)$$

sendo:

$$KS_{ij} = 0,5 \times RS_{ij}^{\frac{1}{cte2}} \times QS_{ij}^{\left(1 - \frac{1}{cte2}\right)} \quad (3.40)$$

onde: KS_{ij} = constante da linearização iterativa pressão-perda.

A cada iteração, com base nos valores estimados de Q_{ij} , H_i e H_j , consegue-se a linearização dos termos vazão e perda por vazamento e, por conseguinte, um problema de programação linear a ser resolvido.

A resolução do problema é dividida em duas etapas distintas. Na primeira obtém-se uma solução para o sistema de N equações a N incógnitas, denominada estimativa hidráulicamente viável, sem válvulas e requisitos de carga mínima. Portanto, N corresponde ao número de nós de carga desconhecida, ou seja, número de nós da rede menos o número de reservatórios. A partida do processo iterativo é dada admitindo-se a velocidade média de 1m/s e perdas de 15% da vazão em todos os trechos da rede.

As estimativas de vazão e perda são reavaliadas, a cada iteração, de acordo com as expressões:

$$Q_{ij}^n = \frac{(Q_{ij}^n + Q_{ij}^{n-1})}{2} \quad (3.41)$$

$$QS_{ij}^n = \frac{(QS_{ij}^n + QS_{ij}^{n-1})}{2} \quad (3.42)$$

A estimativa hidráulicamente viável é atingida quando:

$$\max_{ij \in R} |Q_{ij}^n - Q_{ij}^{n-1}| < T \quad (3.43)$$

onde: T = tolerância especificada a priori e n = índice de iteração.

Na segunda etapa resolve-se o problema de programação linear propriamente dito de maneira iterativa, admitindo a existência de válvulas, impondo limites de abertura para as mesmas e requisito de carga mínima para todos os nós. O problema de programação linear tem como incógnitas, portanto, além das cargas nos nós, o conjunto de aberturas ótimas.

Observa-se aqui um procedimento diferente daquele adotado por JOWITT & XU (1990), onde apenas alguns nós, ditos de referência, são eleitos para atender ao requisito de carga mínima.

A partida do processo iterativo é dada pela solução hidraulicamente viável, obtida na primeira etapa, com as válvulas totalmente abertas.

Admitindo-se que a vazão no interior dos condutos dotados de válvulas é condicionada pela abertura da mesma e pode ser expressa por:

$$Q_{ij} = v_{ij} \times q_{ij} \quad (3.44)$$

onde: q_{ij} = vazão fictícia e corresponde, em valor, à vazão sem controle exercida por válvula (l/s).

Diferenciando-se a equação 3.44, obtém-se:

$$\Delta Q_{ij} = v_{ij} \times \Delta q_{ij} + q_{ij} \times \Delta v_{ij} \quad (3.45)$$

Assim, o fluxo através da válvula numa iteração qualquer n pode ser escrita como:

$$Q_{ij}^n = Q_{ij}^{n-1} + \Delta Q_{ij} \quad (3.46)$$

onde:

$$\Delta Q_{ij} = v_{ij}^n \times \Delta q_{ij} + q_{ij}^n \times \Delta v_{ij} \quad (3.47)$$

$$\Delta v_{ij} = v_{ij}^n - v_{ij}^{n-1} \quad (3.48)$$

$$\Delta q_{ij} = q_{ij}^n - q_{ij}^{n-1} \quad (3.49)$$

A vazão fictícia q_{ij} pode então ser aproximada por:

$$q_{ij}^n = K_{ij}^{n-1} \times (H_i^n - H_j^n) \quad (3.50)$$

onde:

$$K_{ij}^n = \frac{RR_{ij}^{cte1}}{|q_{ij}^n|^{cte2}} \quad (3.51)$$

3.2.13.2 Cálculo das Constantes de Perda de Carga Localizada.

Para que o significado físico da constante de perda de carga localizada na válvula do trecho que liga os nós *i* e *j*, Kv_{ij} , fosse esclarecida, a perda de carga total, DH_{ij} , nos trechos dotados de válvula foi equacionado como sendo composta pelas perdas distribuídas ao longo do trecho, DHD_{ij} , e localizada na válvula, DHL_{ij} , segundo:

$$DH_{ij} = DHL_{ij} + DHD_{ij} \quad (3.52)$$

onde:

$$DHL_{ij} = Kv_{ij} \times \frac{V_{ij}^2}{2g} \quad (3.53)$$

$$DHD_{ij} = \left(\frac{Q_{ij}}{RR_{ij}} \right)^{cte1} \quad (3.54)$$

onde: V_{ij} é a velocidade média do escoamento no trecho que liga os nós *i* e *j*.

Conhecidos DH_{ij} , DHD_{ij} e V_{ij} avaliam-se os valores das constantes de perda de carga localizada, Kv_{ij} , relativos a cada abertura da válvula, v_{ij} .

O programa desenvolvido por PORTO & REIS (1992) foi codificado em Fortran para incorporar o equacionamento apresentado, constituindo a ferramenta empregada nos ensaios computacionais ora descritos.

3.2.14 Utilização de um Modelo Matemático.

As simulações computacionais foram realizadas utilizando parâmetros levantados na literatura ($CL = 1,0 \cdot 10^{-5}$ e $n = 1,18$) de acordo com JOWITT & XU (1990) e em campo ($CL = 6,2 \cdot 10^{-5}$ e $n = 0,71$) segundo SANTOS (2000). Os programas estão codificados em Fortran e fazem uso de rotinas da biblioteca NAG, listagens nos Anexos B e C, e foram desenvolvidos por REIS & PORTO (1992), na qual sofreram algumas adaptações para a rede em estudo.

Existe duas versões do programa: o primeiro é o **RedemUN.for** que busca a solução hidraulicamente viável com a presença de VRPs, mas não leva em consideração diferentes cenários aleatórios na distribuição de demanda, ou seja, não usa a distribuição de probabilidade triangular e **China1-UN-CORR.for** é uma evolução do programa anterior, pois há a possibilidade de variar a demanda em cada nó para diversos cenários diferentes, portanto, acrescenta a distribuição de probabilidade triangular.

Para avaliação de uma possível locação de mais de uma válvula no Jardim Monte Carlo, fez-se a simulação de trecho a trecho da rede, cobrindo os 83 trechos, para determinar onde a válvula seria mais atuante depois da entrada, local onde já existe uma VRP instalada. Foi verificada a inviabilidade da colocação de outra válvula devido a pouca redução das perdas, mas para efeito de comparação realizou-se simulações com outra válvula no trecho entre os nós 47-48, pois apresentou uma atuação maior que a dos outros trechos. A válvula já existente está locada no trecho 28-56, apresentado na Figura 3.15.

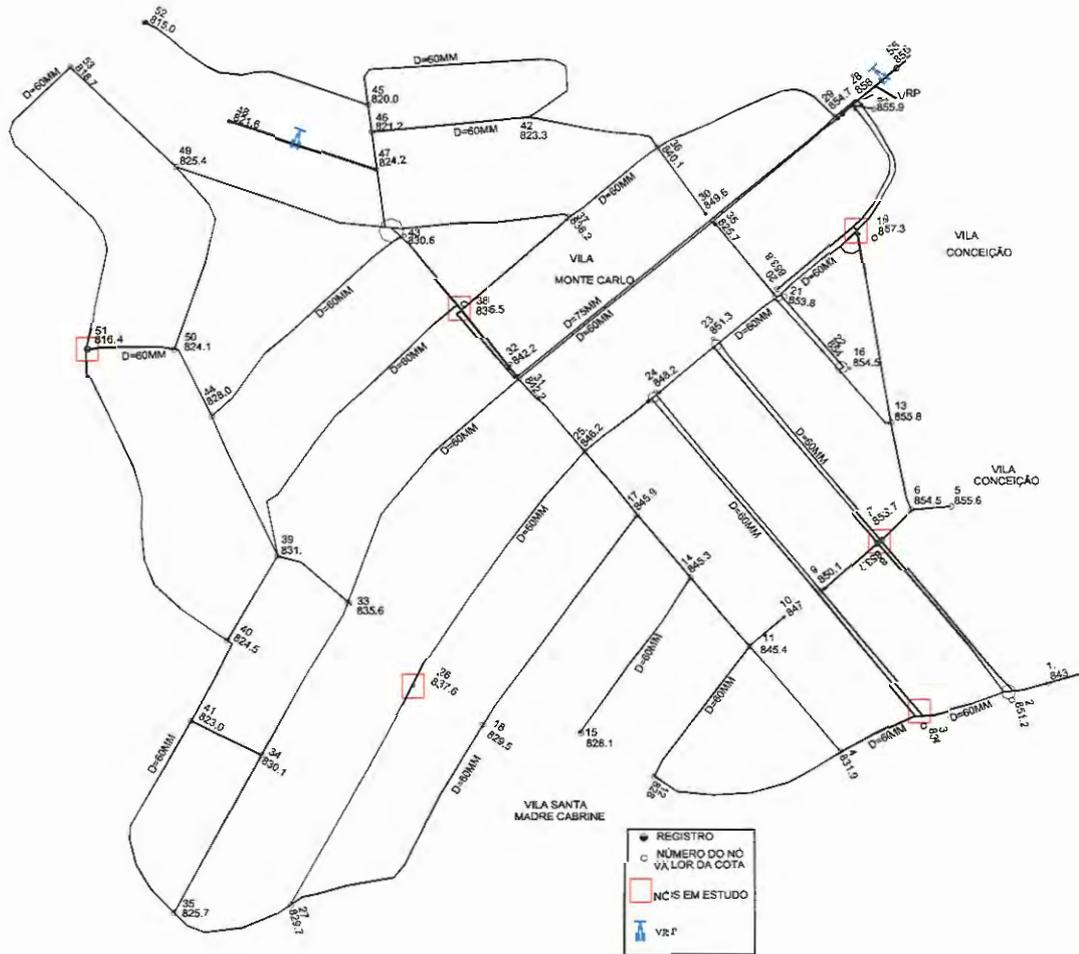


Figura 3.15: Locação das válvulas redutoras de pressão no Jardim Monte Carlo.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Levantamento Preliminar Junto ao SAAE.

As atividades de pesquisa iniciaram-se com o levantamento de informações do subsetor a ser estudado. Através de cadastro do próprio SAAE e visitas à área, verificou-se que o Jardim Monte Carlo é tipicamente residencial com uma população de aproximadamente de 5.065 habitantes. A rede de distribuição de águas para abastecimento local caracteriza-se por ter uma extensão de 9.173 metros, com tubulações de ferro fundido e PVC e um total de 1.051 ligações/economias, em junho de 1999.

Este subsetor é abastecido pelo reservatório denominado Cruzeiro do Sul, constituído de duas unidades. A unidade elevada, que efetivamente abastece o bairro, possui capacidade de armazenamento de 200m^3 , altura interna de 8m e diâmetro interno 5,75m, sendo o nível d'água interno máximo de 7,64m, com cota de fundo 878,38m. A unidade enterrada possui 700m^3 de capacidade, altura interna de 3,63m, como dimensões internas 22,62 x 15,52m, altura d'água interna máxima de 2,97m. Esse reservatório é abastecido pelo poço Cruzeiro do Sul, com uma capacidade de exploração de $120\text{m}^3/\text{h}$.

4.2 Levantamento Sócio Econômico.

Conforme indicação de KHADAM et al. (1991), elaborou-se um questionário específico que foi aplicado para avaliação do perfil sócio econômico do subsetor, dando ênfase a aspectos reveladores do ponto de vista dos hábitos de consumo de água. A seguir será apresentada a Tabela 4.1, que contempla parte das informações, por quadra, colhidas no Jardim Monte Carlo, cidade de São Carlos.

Tabela 4.1: Levantamento do Jardim Monte Carlo - São Carlos.

Número da quadra	Número de habitantes (1)	Consumo médio m ³ /mês (por ligação) (2)	Consumo per capita micromedido l/dia (3)	Renda familiar (Salários) (4)	Dias de maior frequência de uso d'água (5)
137	53	14,44	99,90	4,50	2 e 6
138	203	19,26	132,83	3,80	2,4,5,6 e Sáb
139	159	19,44	134,49	4,90	2, 6 e Sáb
140	111	15,05	103,95	4,30	2,3,5 e Sáb
141	34	16,79	115,23	5,00	2 e Sáb
142	169	13,61	93,95	6,00	2,4,6 e Sáb
143	598	22,37	154,62	3,50	2,4,6 e Sáb
144	121	15,65	107,78	4,60	2,4,5,6
145	0	566,33	-	*Escola	-
146	183	12,78	88,46	6,45	2,4,6 e Sáb
147	154	14,27	98,84	5,10	2, 4 e Sáb
148	14	25,00	178,57	2,00	2 e Sáb
149	236	18,47	127,83	4,40	2,4,6 e Sáb
151	299	17,42	120,41	4,90	2,4,6 e Sáb
152	261	15,20	104,83	5,20	2, 3, 6 e Sáb
153	188	16,95	117,21	5,60	2, 4, 6 e Sáb
154	43	10,17	70,95	5,15	3, 5 e Sáb
155	10	6,00	40,00	10,0	2,3,4,5 e Sáb
156	203	12,87	88,76	4,10	2, 4,6 e Sáb
160	188	16,19	111,95	3,60	2 e 6
161	140	15,62	107,85	3,80	2, 4 e 6
162	106	15,07	104,26	4,20	2,4,6
163	150	17,98	123,86	4,10	2, 6
164	203	17,88	123,31	4,20	2,4,6
165	309	13,87	95,76	4,10	2,4,5,6
166	236	16,68	115,44	4,70	2,4,6 e Sáb
167	188	14,09	97,43	4,40	2,4,6 e Sáb
168	53	15,77	109,10	2,10	2 e 6
169	125	14,15	98,11	4,70	2,3 e Sáb
170	135	13,88	95,96	4,00	2, 4, 6
171	193	14,61	100,93	4,80	2, 3, 6 e Sáb
Total	5065	Média = 15,25	Média = 75	Méd=3,30	2,4,6 e sáb

(*) consumidor especial do bairro.

Na coluna (1), o número de habitantes por quadra foi estimado com relação ao número médio de habitantes por entrevista para o bairro; assim, o número de indivíduos de cada quadra foi obtido multiplicando-se o referido número médio de habitantes pelo número de ligações da respectiva quadra. Tomando-se como exemplo a quadra 137, onde se verificaram 11 ligações, a população estimada foi de 53 pessoas. O mesmo procedimento foi realizado para as demais quadras.

Na coluna (2), para a determinação do consumo médio por ligação nas respectivas quadras levou-se em consideração seis meses de consumo. Os dados fornecidos pelo SAAE referem-se ao período de junho a novembro de 1999. Para a avaliação do consumo médio por ligação foram considerados somente os dados de consumo referentes a leituras efetivamente realizadas, descartando os dados obtidos de outras maneiras (estimativas com base em leituras anteriores, leituras informadas por telefone, etc.). O consumo médio, assim obtido, foi adotado como representativo da quadra.

Para obter o consumo per capita micromedido por quadra, foram utilizadas as informações das colunas (1) e (2), de forma que a coluna (3) é obtida através da equação: $(3) = (2) / (1) \times \text{número de ligações da quadra} \times (1000/30)$.

O questionário aplicado no setor revelou uma renda familiar média de 3,3 salários mínimos, que correspondem a aproximadamente R\$ 449,00, uma vez que o salário mínimo é de R\$136,00 reais, relativos a janeiro de 2000.

Procurou-se identificar também os dias da semana em que os moradores costumam lavar roupas, áreas externas e carros. Apesar das informações pouco detalhadas na coluna (5), pode-se constatar uma maior concentração dessas atividades as segundas (27,72%), quartas (17,82%), sextas-feiras (22,77%) e sábados (18,81%).

Pode-se constatar também através do levantamento realizado, que o setor é totalmente abastecido por redes de água e esgoto, e que a coleta de lixo é realizada em 100% da área.

As reclamações do setor em relação ao serviço prestado pelo SAAE foram extraídas de 218 entrevistados, sendo que as principais reclamações foram: 14,24% acham o custo do serviço elevado, 6,02% mencionaram a falta de água

principalmente nos finais de semana, 5,10% disseram que a pressão da água está baixa, 3,62% reclamou da taxa do lixo embutida na conta de água, 2,74% queixaram-se do atendimento demorado em caso da necessidade de reparos, 2,28% apontaram a demora em concertar e limpar as ruas (quando quebradas para reparos de vazamentos), 1% acha o esgoto com mau cheiro e presença de insetos, 1% acredita ter muito cloro na água. Apesar destas reclamações 64,00 % aprovam o sistema e os serviços realizados pelo SAAE.

Através do levantamento sócioeconômico realizado no subsetor Jardim Monte Carlo, pode-se concluir que a área pode ser considerada como homogênea, pois não existe diferença social significativa, o bairro é totalmente formado por residências térreas (ausência de comércio) e a renda média familiar é de 3,3 salários mínimos, estando bem próxima da renda estimada para a família brasileira (ordem de 3,58 salários). Também foi observado baixo nível de escolaridade, sendo que 40% dos chefes de família do subsetor apresentam um nível de instrução até o 4º ano primário.

4.3 Análise do Consumidor Especial do Jardim Monte Carlo.

Para efeito de confirmação do consumidor especial foram tomadas leituras de consumo de hora em hora em um período de atividade escolar, ou seja, das 6:00 as 23:00h. A Tabela 4.2 apresenta as leituras realizadas com auxílio de funcionários da escola.

Considerou-se que este período corresponde a um dia de consumo, ou seja, teríamos 9,47 m³/dia e como a escola funciona apenas de segunda-feira à sexta-feira, o consumo mensal da escola foi calculado multiplicando o consumo diário por 20 dias (dias estipulados em um mês de funcionamento da escola).

Portanto, o consumo mensal aproximado da escola foi de 189,4 m³/mês sendo a mesma considerada um consumidor especial (acima dos 100 m³/mês estipulados anteriormente).

Tabela 4.2: Leituras de consumo – Escola E.E. Dona Aracy Leite Lopes.

Horas	Leitura	Consumo (m ³ /h)
6:00	1596,37	0
7:00	1596,45	0,08
8:00	1596,46	0,01
9:00	1596,54	0,08
10:00	1597,65	1,11
11:00	1598,80	1,15
12:00	1598,84	0,04
13:00	1599,54	0,7
14:00	1599,68	0,14
15:00	1599,91	0,23
16:00	1600,66	0,75
17:00	1601,54	0,88
18:00	1602,23	0,69
19:00	1603,15	0,92
20:00	1603,98	0,83
21:00	1604,87	0,89
22:00	1605,56	0,69
23:00	1605,84	0,28
Total		9,47

4.4 Geofonamento do Jardim Monte Carlo.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos pela equipe do geofonamento. Tal relação de possíveis vazamentos a serem confirmados e reparados foi entregue ao departamento competente do SAAE. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam vazamentos tipicamente detectáveis através dos equipamentos empregados.

Tabela 4.3: Localização dos vazamentos apontados no geofonamento.

Número	Identificação	Endereço
1	Esgoto quebrado	R: Manoel Wenzel (final)
2	Vazamento	R: Geraldo Bretas, 601
3	Vazamento	R: José Fernandes Nunes (final)
4	Vazamento na calçada	Av: Papa Paulo VI, 1460
5	Registro	Av: Cesare, 253
6	Vazamento no cavalete	Av: Cesare, 68
7	Vazamento	Av: Cesare, 45
8	Vazamento	Av: Cesare, 17
9	Hidrômetro quebrado	R: Rodolpho M. Parrota, 386
10	Vazamento	R: Geraldo Bretas, 134

Tabela 4.3: Localização dos vazamentos apontados no geofonamento (continuação).

11	Vazamento	R: Mário Versola, 89
12	Vazamento	R: Geraldo Bretas, 85
13	Vazamento	Av. Alvaro Camara, 305
14	Cano Exposto	Av. Alvaro Camara, 392
15	Cano Exposto	Travessa 3, 440
16	Vazamento	R: Madri Cabrini, 40



Figura 4.1: Vazamento na rede do Jardim Monte Carlo.



Figura 4.2: Vazamento em ramal predial do Jardim Monte Carlo.

4.5 Estudo de Incidência de Vazamentos.

Com o objetivo de determinar pontos de maior ocorrência de vazamentos, fez-se um levantamento das solicitações de reparos através de consulta aos boletos de campo do Departamento de Vazamento do SAAE, no período de janeiro a dezembro de 1998. A Tabela 4.4 indica os vazamentos efetivamente reparados durante o período.

Tabela 4.4: Vazamentos efetivamente reparados no Jardim Monte Carlo em 1998.

Assunto	Data Chamado (mês/dia/ano)	Solicitante	Endereço	Número
Vazamento no Ramal	1/6/98	Sandra	Rua Giovanni Vassolo	340
Vazamento no Ramal	1/9/98	Marli Ap. Franca	Rua Giovani Vassolo	365
Vazamento no Ramal	1/12/98	Vitoria	Rua 04	105
Vazamento no Ramal	2/3/98	Marcelino Ananias	Rua Mario Verzola	46
Vazamento no Ramal	3/9/98	Alessandra	Rua Francisco Parrota	165
Vazamento no Ramal	3/11/98	Marcelino Ananias	Rua Mario Verzola	46
Vazamento de Rede	5/11/98	Francisco Souto	Rua Geraldo Bretas	81
Vazamento de Rede	5/11/98	Usuario	Rua 03	21
Vazamento no Ramal	6/11/98	Usuario	Rua 03	45
Vazamento de Rede	7/9/98	Usuario	Rua Geraldo Bretas	420
Vazamento no Ramal	8/4/98	Usuario	Rua 04	60
Vazamento no Ramal	10/11/98	Geraldo do N. Ferraz	Rua Jose Scalla	150
Vazamento no Ramal	12/3/98	Lucilvane	Rua 04	76
Vazamento de Rede	12/3/98	Aparecido	Avenida Alvaro Camara	204
Vazamento no Ramal	12/8/98	Luciovane	Rua 04	100
Vazamento no Ramal	06/07/98	Manoel Franco	Rua 03	69
Vazamento no Ramal	13/11/98	Carlos R. Gigliote	Rua Geraldo Bretas	290
Vazamento de Rede	14/09/98	Escola A. P. Lopes	Rua Francisco Parrota	
Vazamento de Rede	14/09/98	Donato	Rua 01	87

Tabela 4.4: Vazamentos efetivamente reparados no Jardim Monte Carlo em 1998 (continuação).

Vazamento no Ramal	14/09/98	Orlando D. Batista	Rua Giovani Vassolo	365
Vazamento de Rede	14/11/98	Cleonice	Travessa Tarcilio de Oliveira	63
Vazamento no Ramal	15/09/98	Celia Aparecida	Rua Cezar Brigante	1206
Vazamento no Ramal	16/04/98	Ivania	Rua Hercules Saches	296
Vazamento no Ramal	16/11/98	Donizete	Rua Mario Verzola	126
Vazamento no Ramal	17/04/98	Ronaldo Aparecido	Rua Geraldo Bretas	256
Vazamento no Ramal	17/09/98	Antonio Nunes	Rua Rodolfo Messegier	218
Vazamento de Rede	19/11/98	Thomas Vespa	Travessa 05	60
Vazamento de Rede	20/11/98	Francisco S. Sobrinho	Rua Geraldo Bretas	81
Vazamento no Ramal	21/11/98	Francisco	Rua Geraldo Bretas	290
Vazamento de Rede	22/06/99	Usuário	Rua Geovane Vassouro	85
Vazamento de Rede	22/09/98	Jose Antonio	Rua Alvaro Camara	265
Vazamento de Rede	24/06/98	Ramiro	Rua Alvaro Camara	12
Vazamento no Ramal	24\06\98	Sergio L. Oliveira	Rua 02	41
Vazamento no Ramal	25/06/98	Celina	Travessa Francisco Parrota	189
Vazamento no Ramal	26/03/98	Paulo C. Almeida	Rua Francisco Parrota	205
Vazamento no Ramal	26/06/98	Eva	Rua 07	71
Vazamento no Ramal	28/05/98	Epitácio	Avenida Cesare Brigante	79
Vazamento de Rede	29/05/98	Aparecido Ferreira	Rua Álvaro Camara	390
Vazamento no Ramal	30/01/98	Maria Aparecida	Rua Mario Verzola	49
Vazamento no Ramal	30/11/98	Celia Aparecida	Rua César Brigante	1206

Observa-se que a frequência de reparo de vazamentos aqui relacionada pode não incluir todas as ocorrências, uma vez que a busca de tais informações foi dificultada em função da mudança ocorrida nas instalações do setor competente no SAAE na ocasião do levantamento. De qualquer maneira, possibilita uma locação espacial das ocorrências. A Figura 4.3 exhibe a distribuição espacial dos vazamentos

reparados durante o ano de 1998. Observa-se que os vazamentos concentram-se nas áreas de cotas topográficas menores, isto é, locais com pressões mais elevadas.

Os boletos de reparo do SAAE foram úteis também na caracterização dos vazamentos, no que diz respeito à sua localização nos ramais prediais ou na rede, embora não fornecessem elementos suficientes para uma análise mais detalhada. Tal identificação foi realizada de acordo com as peças substituídas. Assim por exemplo, substituições de peças em PEAD ou PVC indicaram reparos realizados em ramais prediais ou na rede, respectivamente.

O estudo de incidência de vazamentos possibilitou que fossem avaliados os percentuais de 67% e 33% para vazamentos em ramais prediais e na rede, respectivamente.

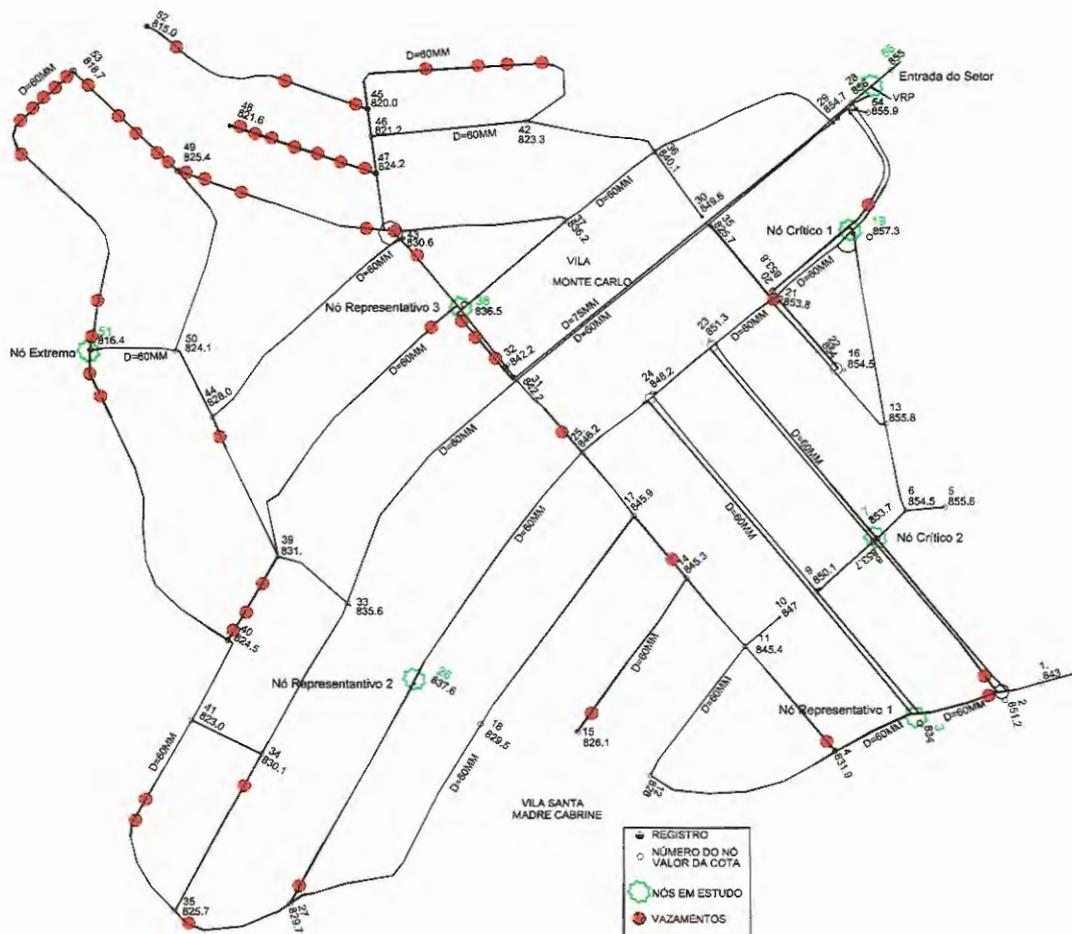


Figura 4.3: Distribuição espacial dos vazamentos reparados no ano de 1998.

4.6 Testes Noturnos de Vazamentos.

No caso do subsetor estudado a população é tipicamente operária, não apresentando hábitos de consumo no período da 1:00 às 4:00 horas da madrugada (horário realizado os testes), permitindo que a vazão medida no período seja atribuída aos vazamentos, portanto, uma perda média de 6,39 L/s (levantamento do SAAE). Nota-se que estudos preliminares do próprio SAAE através de comparação entre medida de vazão e o faturamento mensal da empresa no Jardim Monte Carlo, acusava uma perda de aproximadamente 45%.

As Figuras 4.4 a 4.12 mostram os registros obtidos durante os testes realizados na madrugada do dia 24 de junho de 1999.

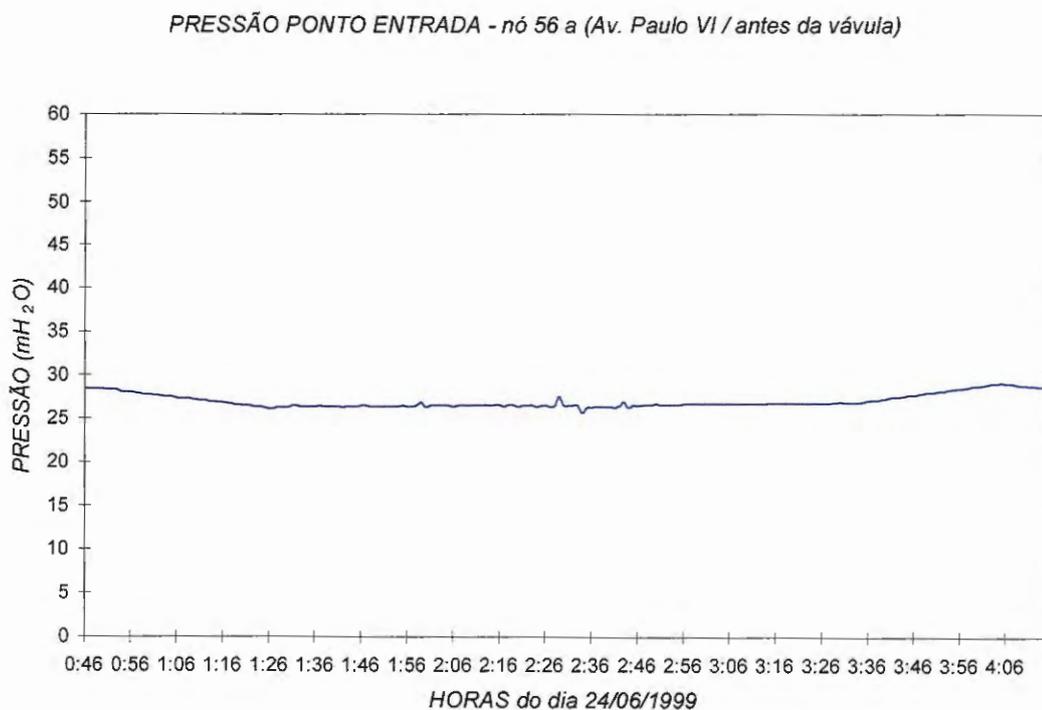
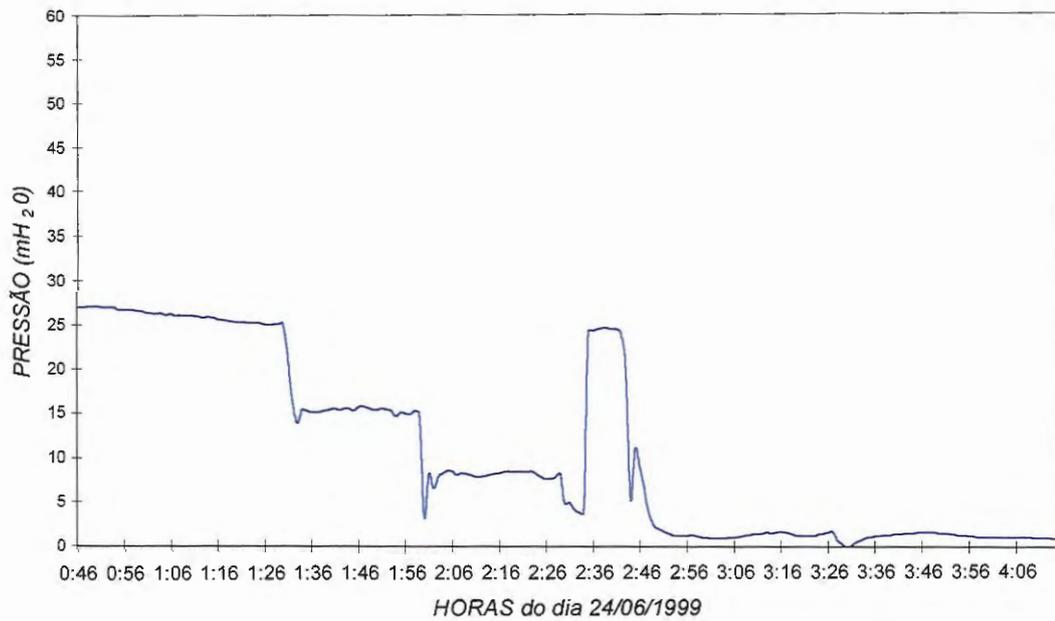


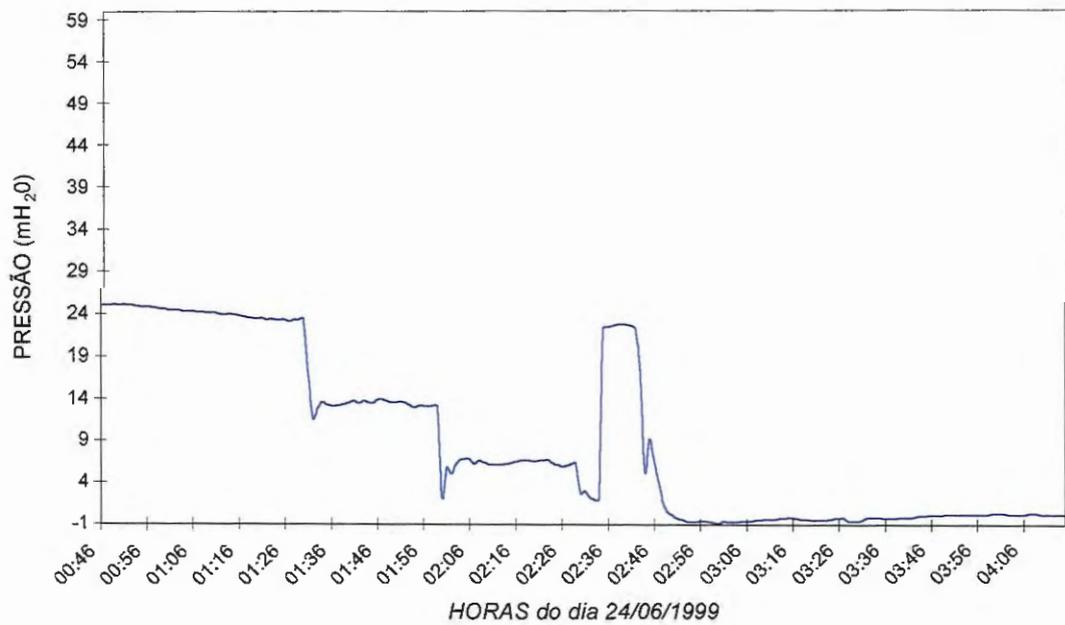
Figura 4.4: Registro de pressão (mH₂O) na entrada do subsetor antes da válvula de redução de pressão (VRP).



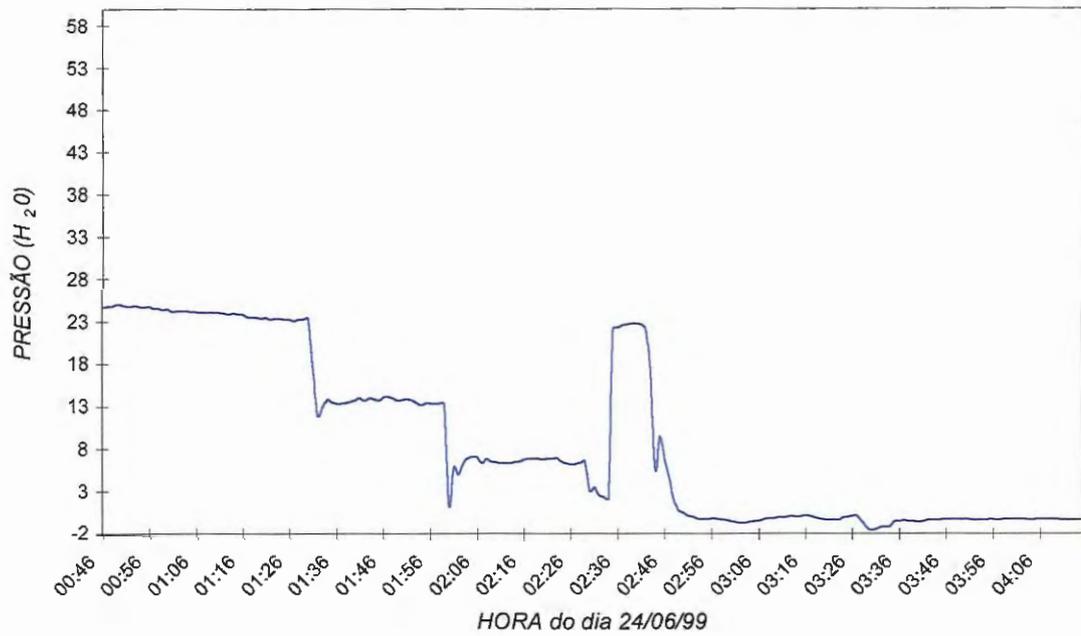
Pressão de Entrada Depois da Válvula (nó 56 b)

Figura 4.5: Registro de pressão (mH₂O) na entrada depois da válvula de redução de pressão (VRP) (nó 56 b).

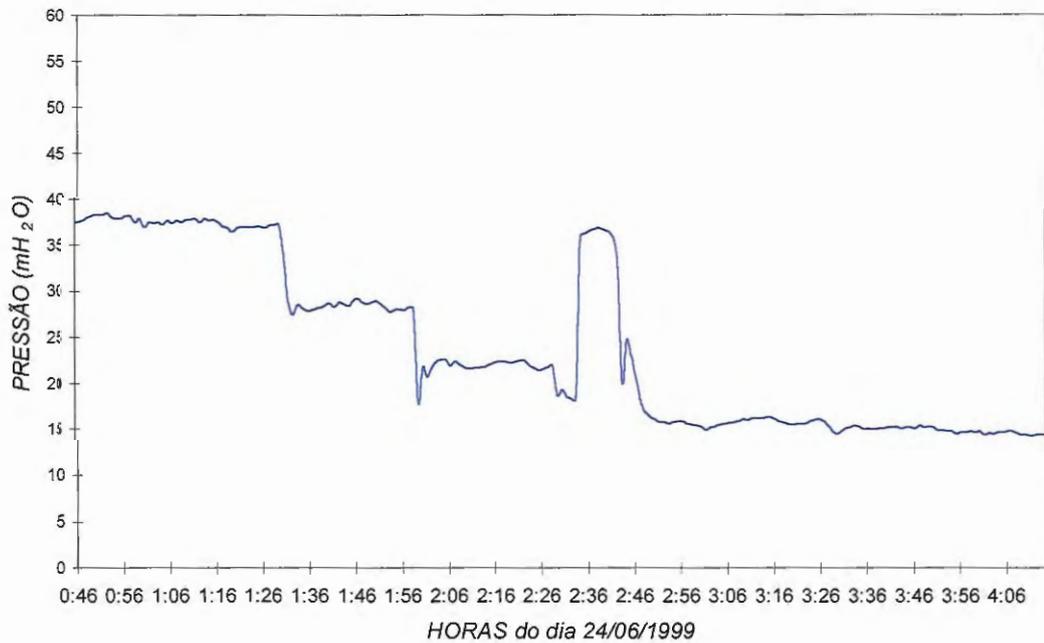
Pressão Ponto Crítico 1 (Av. Sta Madre Cabrine)

Figura 4.6: Registro de pressão (mH₂O) no ponto crítico 1 (nó 19).

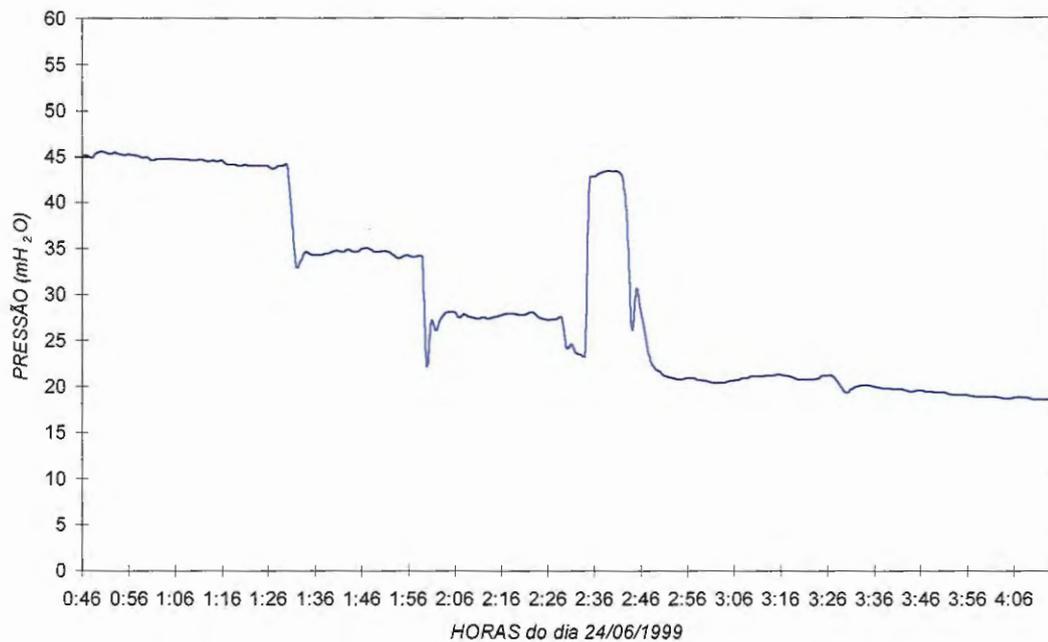
Pressão Ponto Crítico 2 (R: Pedro de Almeida, 30)

Figura 4.7: Registro de pressão (mH₂O) no ponto crítico 2 (nó 7).

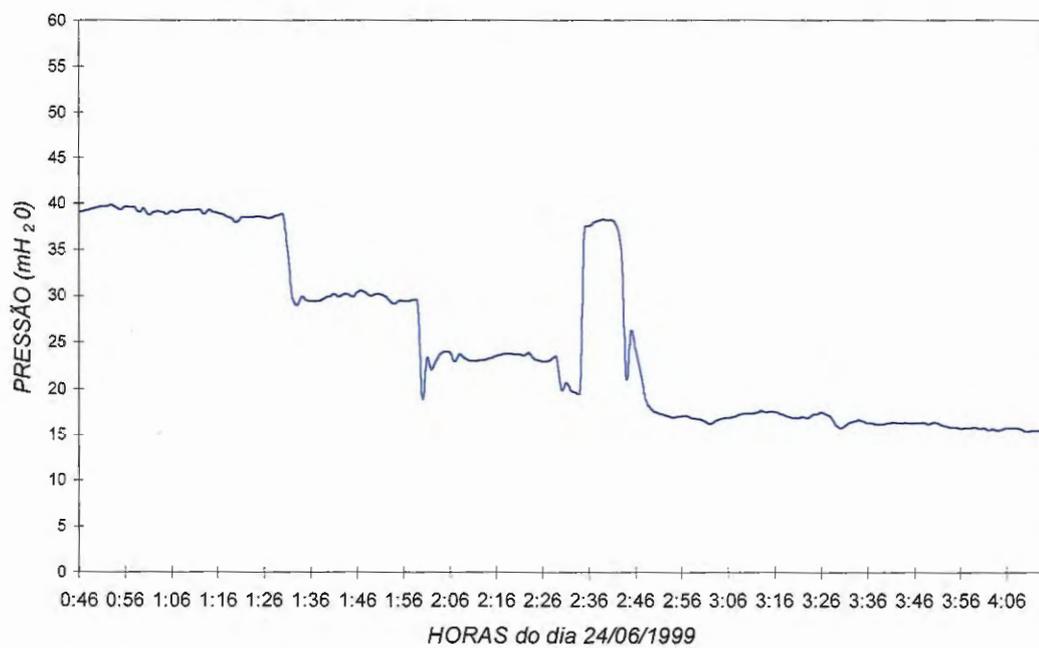
Pressão do Ponto Representativo 1 (Av. Geraldo Bretas)

Figura 4.8: Registro de pressão (mH₂O) no ponto representativo 1 (nó 38).

Pressão do Ponto Representativo 2 (R. Rodolfo Hercules Sachi, 554)

Figura 4.9: Registro de pressão (mH₂O) no ponto representativo 2 (nó 57).

Pressão do Ponto Representativo 3 (R. Rodolfo Meisegeier, 280)

Figura 4.10: Registro de pressão (mH₂O) no ponto representativo 3 (nó 26).

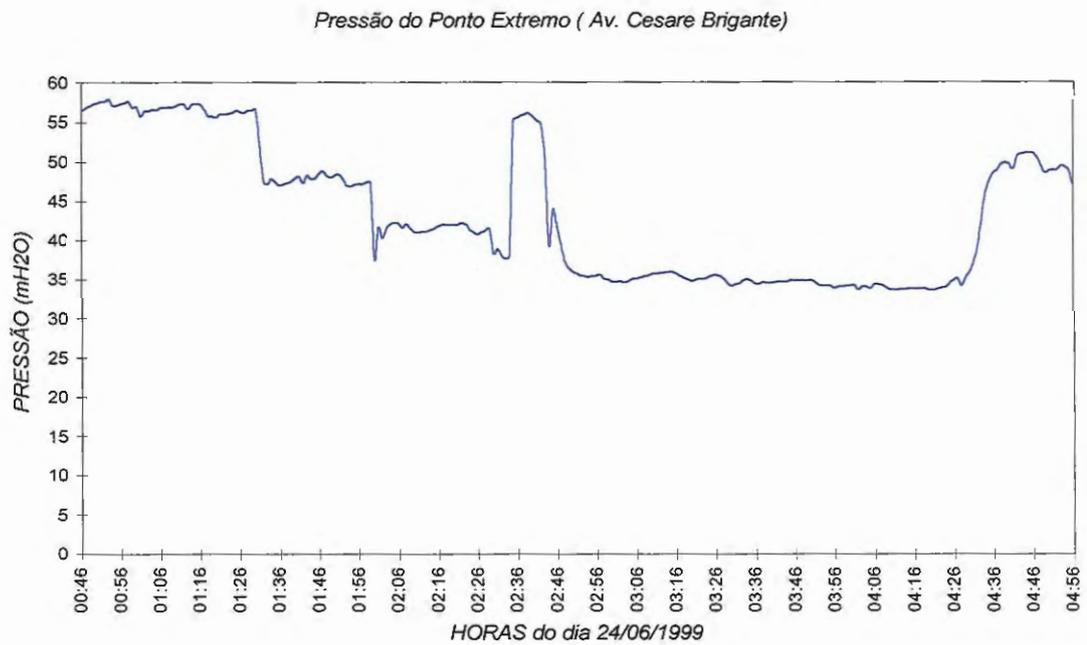


Figura 4.11: Registro de Pressão (mH₂O) no Ponto Extremo (nó 51).

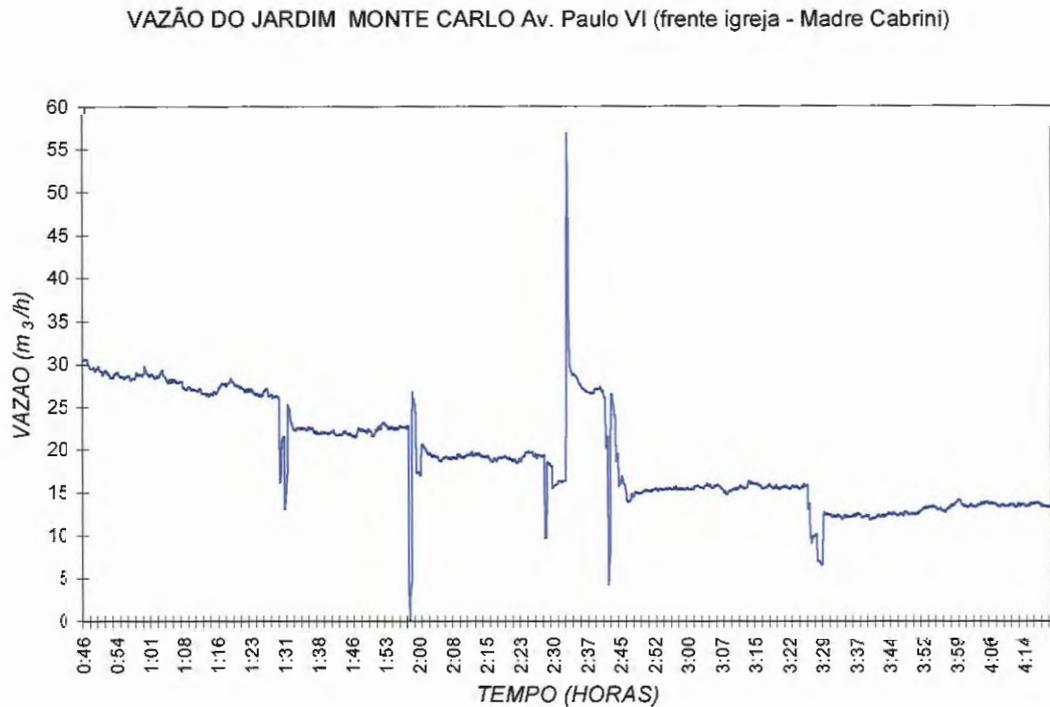


Figura 4.12: Registros de vazão durante o teste noturno.

As figuras evidenciam patamares com valores médios de pressão e vazão, indicando as condições em que a rede foi submetida por ocasião das manobras promovidas pelo fechamento da válvula redutora de pressão na entrada do subsetor. Os valores médios de vazões e pressões relativos aos referidos patamares são apresentados na Tabela 4.5, com base nos quais foram estimados os parâmetros para o modelo pressão versus vazamento, SANTOS (2000).

Tabela 4.5: Valores representativos de vazões e pressões durante os testes noturnos.

Condição	Vazão (m ³ /h)	Pressão (mH ₂ O)						
		Ponto repres.	Ponto repres.	Ponto repres.	Ponto entrada	Ponto crítico	Ponto crítico	Ponto extremo
		1	2	3		1	2	
Início*	27,4	37,35	44,39	38,88	25,80	23,82	23,79	56,65
Teste 1	22,19	28,37	34,44	29,80	15,33	13,38	13,58	47,85
Teste 2	19,01	21,9	27,48	23,26	8,02	6,18	6,46	41,66
Teste 3	15,55	15,79	20,91	17,11	1,30	-0,5	-0,21	35,65

*válvula totalmente aberta

4.7 Resultados da Simulação Computacional.

Foram extraídos resultados de dois programas (RedemUN.for e China1-UN-CORR.for) ambos usando o mesmo arquivo de dados (mc2.dat).

O mapa do Jardim Monte Carlo com a localização das válvulas, numeração e cotas nos nós e diâmetros das tubulações são apresentados no Anexo D.

4.7.1 Resultados para o RedemUN.for.

Na rede de distribuição de água do Jardim Monte Carlo foram atribuídos 58 nós e 83 trechos para a montagem do arquivo de dados, ver Anexo A. Sendo que se entende por entrada o trecho entre os nós 28-56 da rede. Com este arquivo fez-se

simulações com parâmetros da literatura e levantados em campo, com pressão mínima exigida na rede de 5 mH₂O e 15 mH₂O para verificação da perda por vazamento com relação ao fator de demanda, como mostra Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente. Também foi analisada a abertura da válvula com relação ao fator de demanda para ambos os casos, Figuras 4.15 e 4.16. Nota-se que *v1* é a válvula na entrada (*v1* já está instalada no local), ou seja, no trecho 28-56 e *v2* é a válvula no trecho 47-48.

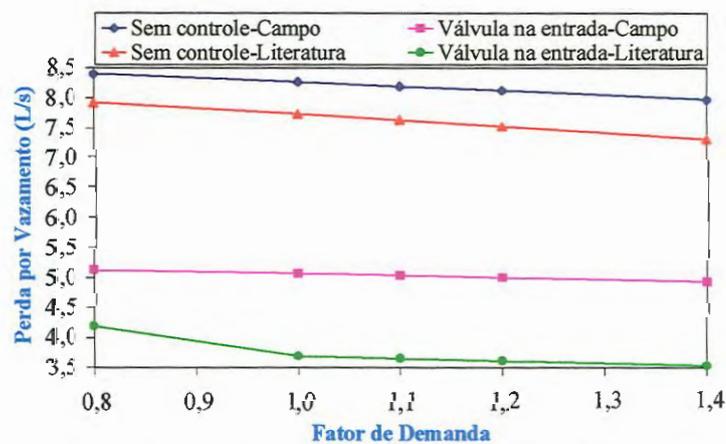


Figura 4.13: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 5 mH₂O e válvula *v1*.

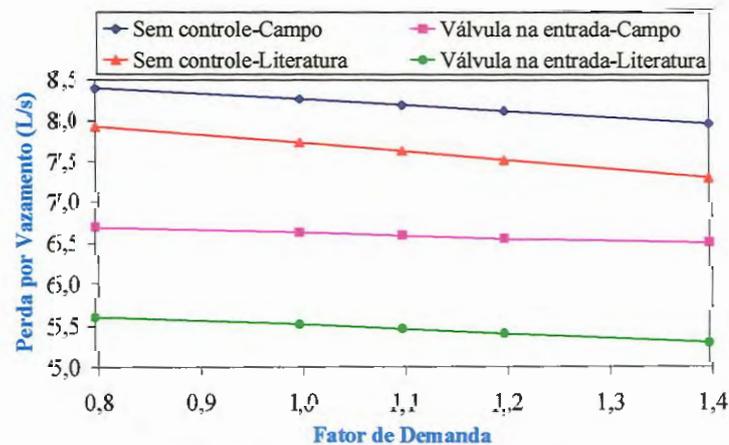


Figura 4.14: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH₂O e válvula *v1*.

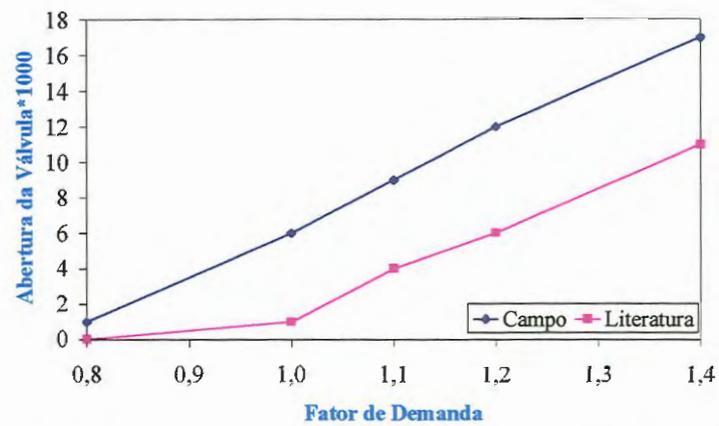


Figura 4.15: Relação da abertura da válvula vI e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 5 mH₂O.

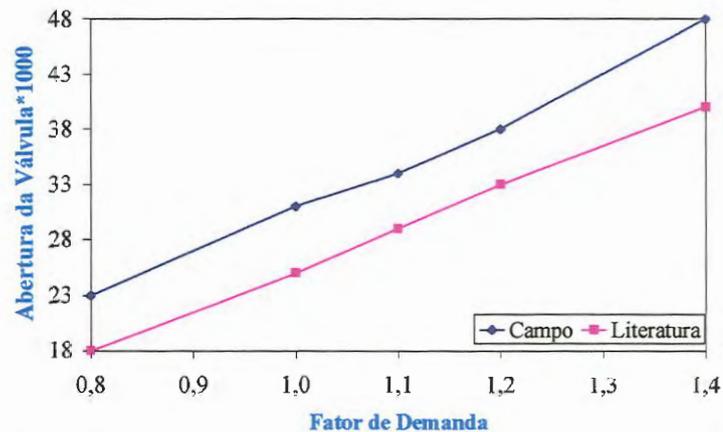


Figura 4.16: Relação da abertura da válvula vI e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH₂O.

A abertura das válvulas é muito pequena, isto mostra que a atuação das mesmas na rede teria uma faixa estreita, não esquecendo que estas simulações podem e devem ser melhoradas com o refinamento dos dados de entrada, como por exemplo, a verificação da existência e condição dos registros da rede.

Como a pressão mínima de 15 mH₂O é a situação mais desfavorável, não realizamos simulações para 5 mH₂O para os demais casos estudados.

Foi determinada a relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda, para os parâmetros da literatura e levantados em campo, apresentado na Figura 4.17.

Também se verificou a abertura de cada válvula em relação ao fator de demanda para os dois parâmetros, Figura 4.18.

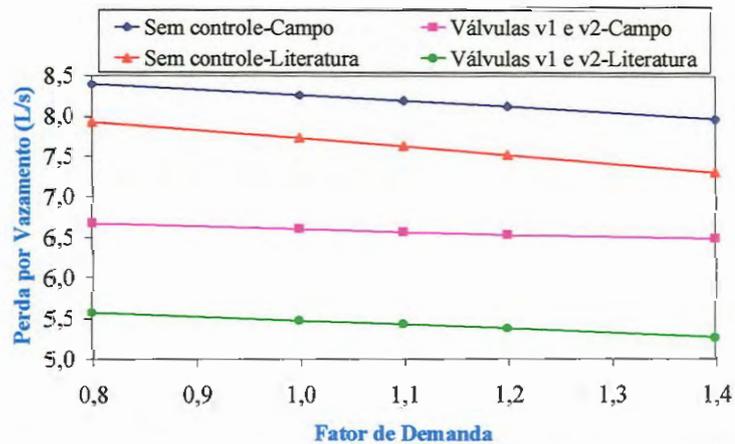


Figura 4.17: Relação entre a perda por vazamento e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH₂O.

Observou-se que a redução da perda, diferença entre a perda sem controle e depois com a válvula, com *v1* foi de 1,63 L/s (parâmetros de campo) e 2,21 L/s (parâmetros da literatura), enquanto com *v1* e *v2* foi de 1,65 L/s (parâmetros de campo) e 2,25 L/s (parâmetros da literatura) todos com fator de demanda igual a 1,0. A economia feita na utilização de duas válvulas é muito pequena tornando-se inviável a instalação de duas válvulas.

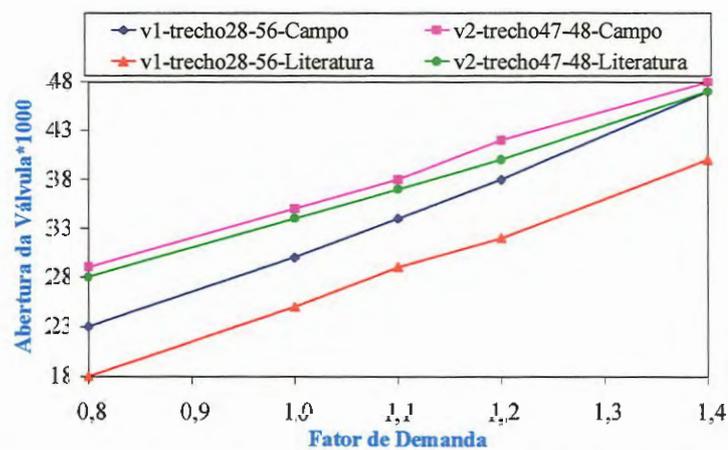


Figura 4.18: Relação da abertura das válvulas e o fator de demanda utilizando pressão mínima de 15 mH₂O.

Nota-se que tanto $v1$ como $v2$ ficam praticamente fechadas, pois sua abertura poderia variar entre 0 e 1, onde representa a válvula totalmente fechada e totalmente aberta, respectivamente. Deste modo podemos verificar que a rede não é didática com relação à operação das válvulas (válvulas pouco atuantes), mas fica evidente as respostas e dificuldades que poderemos encontrar quando trabalhamos com um caso real.

4.7.2 Resultados para o China1-UN-CORR.for.

Com esta versão do programa podemos empregar a distribuição de probabilidade triangular para diversos cenários, no caso foram utilizados 24 cenários simulando às 24 horas do dia e através das Figuras 4.19 a 4.22, podemos observar que a perda tende a ficar estável após o cenário de número 20, aproximadamente.

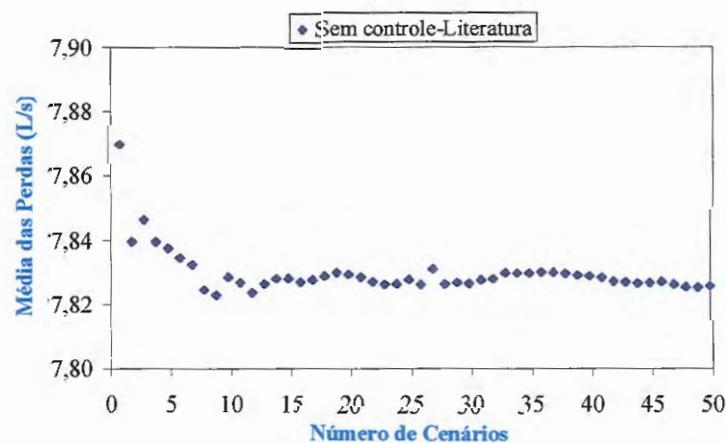


Figura 4.19: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (sem controle/literatura).

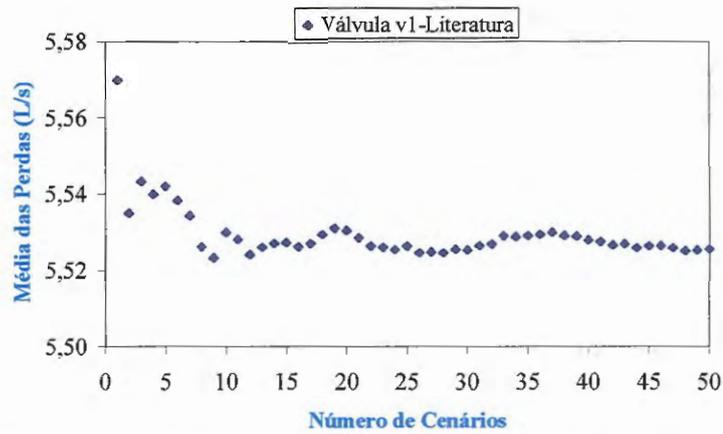


Figura 4.20: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com vI /literatura).

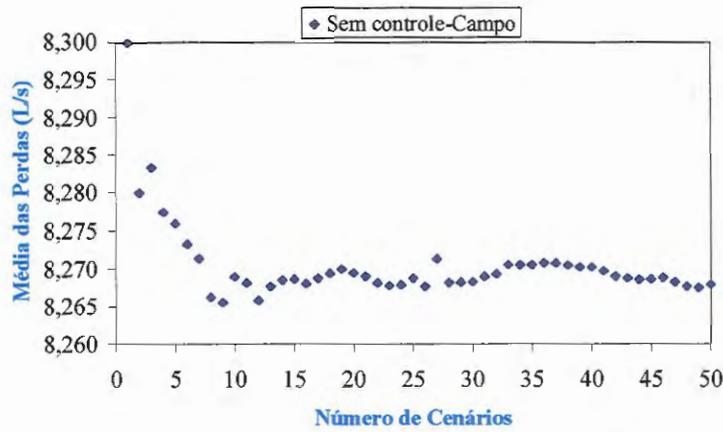


Figura 4.21: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (sem controle/campo).

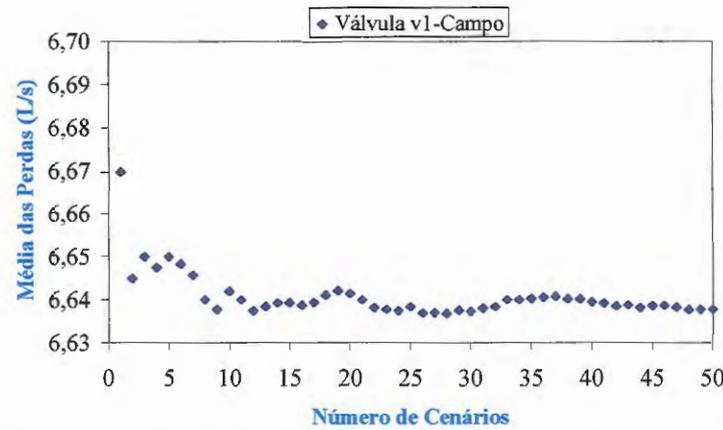


Figura 4.22: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com vI /campo).

Podemos observar uma oscilação nos valores das médias das perdas nos primeiros cenários e após o cenário de número 20 uma tendência de estabilização, isto confirma a boa escolha no número de cenários para geração dos resultados (24 cenários).

Devido à variação das médias das perdas ser muito pequena, não é viável condensar mais de uma curva no mesmo gráfico, pois a escala não nos permitiria observar a oscilação existente, ou seja, ficaria uma reta em todos os casos.

Foi realizada a mesma simulação para duas válvulas, ilustrado nas Figuras 4.23 e 4.24.

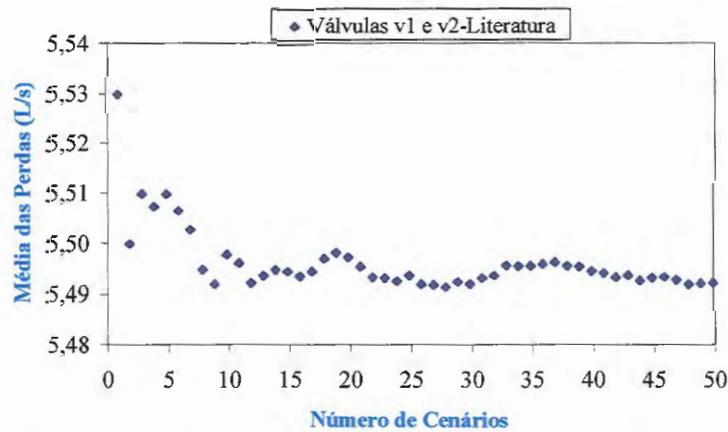


Figura 4.23: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com $v1$ e $v2$ /literatura).

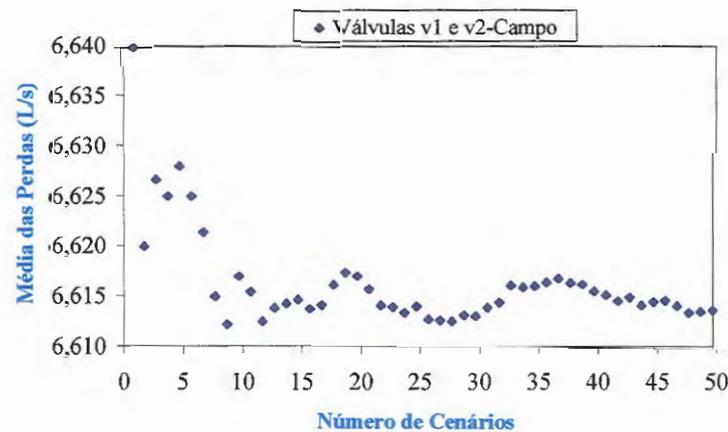


Figura 4.24: Verificação da estabilidade das perdas em relação ao número de cenários (com $v1$ e $v2$ /campo).

No caso de duas válvulas, para os parâmetros de literatura os resultados foram os mesmos que os anteriores, ou seja, após o cenário de número 20 a tendência de estabilização das médias das perdas é observada. Já para os parâmetros de campo ainda podemos observar uma pequena oscilação depois do cenário de número 20, mas uma oscilação menor daquela obtida nos 15 primeiros cenários, não prejudicando os resultados.

Podemos observar, nas Figuras 4.25 a 4.28, a abertura das válvulas em relação à vazão no trecho correspondente a cada válvula, isto para diferentes fatores de demanda.

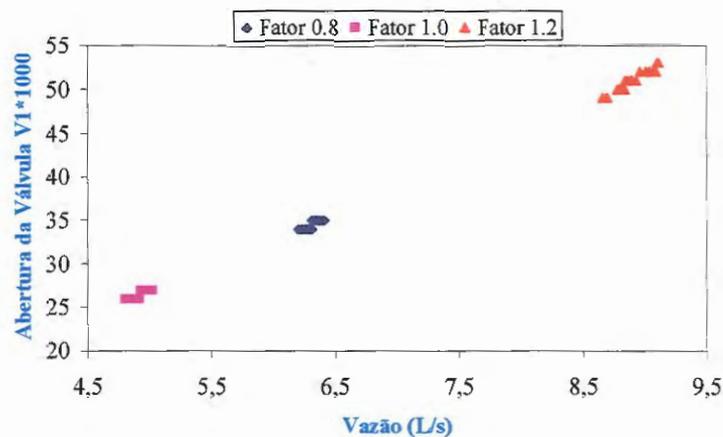


Figura 4.25: Abertura da válvula $v1$ em relação à vazão com parâmetros da literatura.

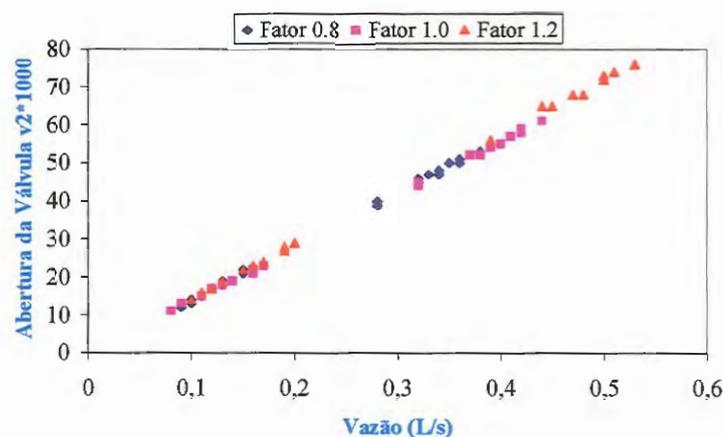


Figura 4.26: Abertura da válvula $v2$ em relação à vazão com parâmetros da literatura.

Utilizando os parâmetros da literatura, foi possível observar que a válvula $v1$ é menos sensível à variação de vazão para diferentes fatores de demanda com relação

à $v2$, na qual podemos verificar os padrões de abertura da válvula distribuíram linearmente para diferentes fatores de demanda, conforme Figura 4.26.

Também podemos confirmar que quanto maior o fator de demanda maior será a abertura da válvula, pois com o consumo aumentando a válvula deverá acompanhar abrindo-se de acordo com a necessidade.

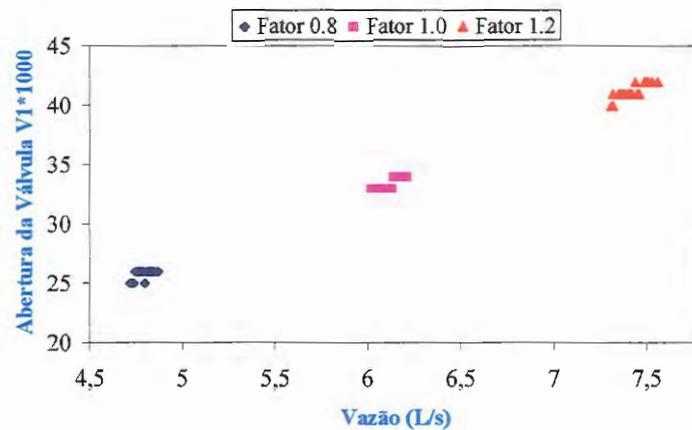


Figura 4.27: Abertura da válvula $v1$ em relação à vazão com parâmetros de campo.

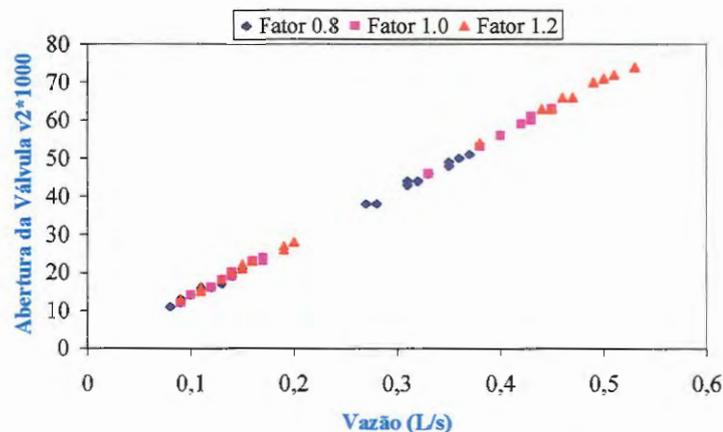


Figura 4.28: Abertura da válvula $v2$ em relação à vazão com parâmetros de campo.

Com os parâmetros de campo, podemos observar os mesmos resultados do caso anterior, ou seja, $v1$ é menos sensível à variação de vazão do que $v2$ para diferentes fatores de demanda.

Observando as Figuras 4.29 a 4.31, podemos verificar a abertura de cada válvula e a perda correspondente para os parâmetros de literatura e campo.

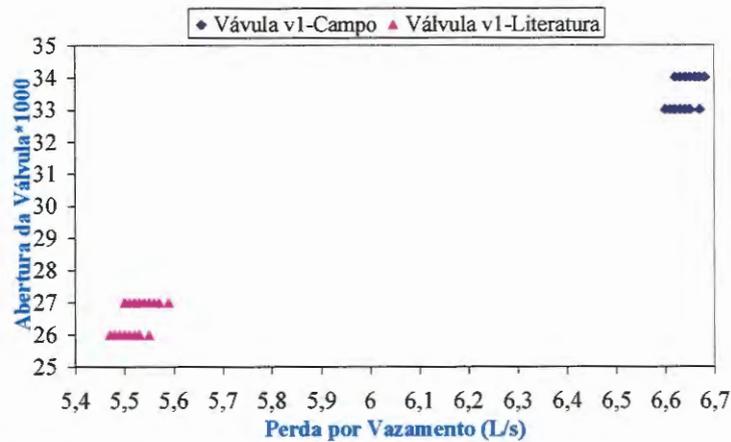


Figura 4.29: Relação da abertura da válvula $v1$ em relação à perda por vazamento.

Utilizando apenas $v1$ e parâmetros da literatura e de campo, verificamos que a abertura da válvula sofre pouca variação, nos dois casos, com relação à variação das perdas por vazamento. Ainda observamos que com os parâmetros de campo a abertura é maior do que aquela observada usando parâmetros da literatura, comprovando a necessidade de levantamento dos parâmetros para cada rede estudada.

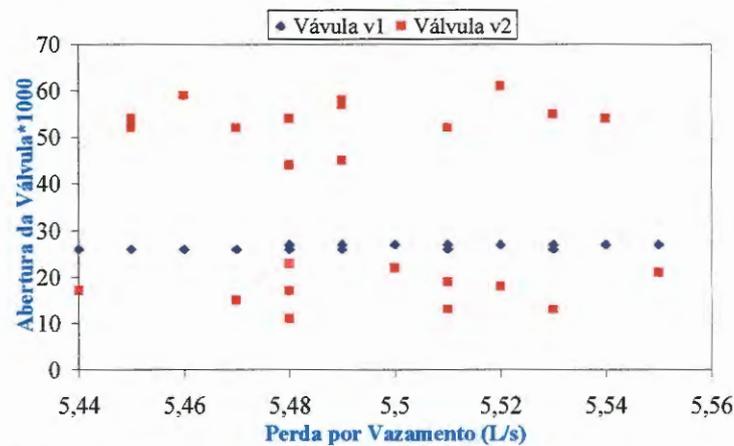


Figura 4.30: Relação entre a abertura das válvulas $v1$ e $v2$ e a perda por vazamento utilizando parâmetros da literatura.

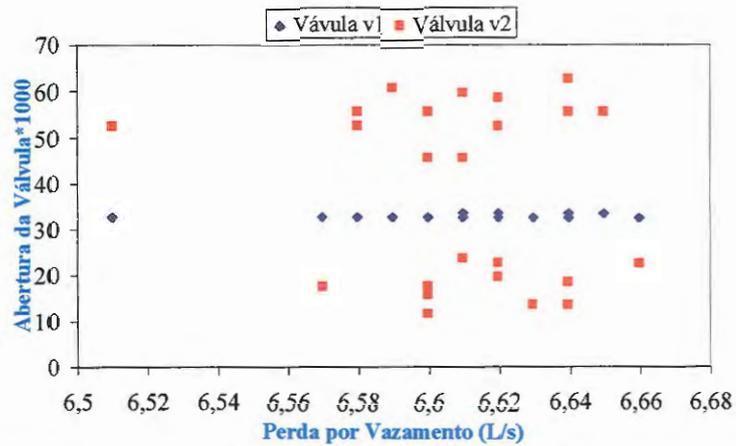


Figura 4.31: Relação entre a abertura das válvulas $v1$ e $v2$ e a perda por vazamento utilizando parâmetros de campo.

Quando utilizamos as duas válvulas simultaneamente ($v1$ e $v2$), novamente fica claro a diferença de sensibilidade entre as duas, onde $v2$ apresenta uma variação de abertura bem acentuada com relação à perda por vazamento, enquanto $v1$ permanece praticamente constante. Isto é verificado usando parâmetros da literatura e os parâmetros de campo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O trabalho está dividido em duas etapas distintas, ou seja, uma parte de levantamento de campo e outra de simulação numérica, sendo que algumas dificuldades encontradas no andamento da pesquisa foram:

- Falta de um cadastro confiável para determinação das características da rede em estudo (exemplo: a determinação das rugosidades (ϵ) para alimentação do arquivo de dados, os mapas eram desatualizados e imprecisos) e apoio, em alguns momentos, como a demora na execução de serviços encaminhados junto ao SAAE;
- Equipamentos, do SAAE, instalados sem preocupação quanto à calibração e aferição dos mesmos;
- Pouco treinamento e esclarecimentos quanto ao manuseio de equipamentos por parte dos vendedores e também a demora para dar manutenção aos mesmos;
- Adaptação do programa existente ao caso em estudo (exemplos: necessidade de matrizes maiores que as originais e introdução de novas equações) e a exigência de computador compatível (memória e rapidez, por exemplo).

5.1 Conclusões.

Um aspecto importante ao combate de vazamentos é a falta de incentivo às denúncias de vazamentos, tendo em vista o fato de que no Jardim Monte Carlo boa parte da população apresenta baixo poder aquisitivo e, portanto, não se mostra disposta a ter suas contas aumentadas em função dos reparos realizados nos ramais prediais. Isto ocorre porque as despesas dos reparos recaem sobre o usuário que fez a denúncia e os vazamentos acontecem antes do hidrômetro, ou seja, a conta do usuário não é alterada com as perdas.

Pode-se observar que os valores das perdas por vazamentos, e não as reduções das perdas, obtidos utilizando o modelo matemático são sempre maiores quando usamos os parâmetros de campo (CL e n) em relação aos parâmetros da literatura (isto para uma ou duas válvulas), ou seja, para o mesmo caso obteve-se resultados diferentes. Observa-se a necessidade de levantamento de campo dos parâmetros CL e n para cada rede em estudo, pois estes parâmetros sofrem mudanças de acordo com as características da rede e não é prudente utilizar dados importados de outras redes ou países sem nenhum critério técnico de avaliação.

O número mínimo de cenários para se obter uma estabilidade das perdas, com parâmetros da literatura e de campo, é aproximadamente 20. Por isso o número de cenários utilizados nas simulações (24 cenários) atende ao mínimo exigido.

Verificou-se uma pequena diferença entre a perda obtida pelo programa *RedemUN.for* com relação à média das perdas obtidas pelo programa *China1-UN-CORR.for* quando existem duas válvulas, $v1$ e $v2$. Para o caso de uma única válvula, $v1$, a diferença é desprezível.

Apesar da válvula $v2$ ser bem mais sensível a pequena variação de vazão no trecho para diferentes fatores de demanda em relação à $v1$ (válvula existente), a redução das perdas devido à inclusão de $v2$ é pequena, portanto, isto prova a inviabilidade de colocação de mais de uma válvula na rede do subsetor do Jardim Monte Carlo (o custo ficaria elevado enquanto o benefício seria pequeno). É importante ressaltar que foi feita uma varredura de trecho a trecho em toda a extensão da rede em busca de pontos possíveis de instalação de outra válvula e o

trecho simulado (trecho onde se encontra $v2$) foi aquele que apresentou uma maior atuação depois da entrada (onde já existe a $v1$).

Portanto, apesar da presença da válvula $v1$ ocasionar uma perda de carga localizada e isto piorar a situação de pontos de baixa pressão no interior da rede, a entrada é o melhor local verificado para locação de uma VRP. Deve-se, porém, fazer um estudo mais detalhado para entender o funcionamento de $v1$ e planejar sua operação ao longo do dia com manobras de abertura e fechamento da mesma, monitorando pontos na rede. Observa-se que os próprios usuários terão participação ativa, fazendo reclamações sobre os pontos de falta de água ou pressão.

5.2 Recomendações.

Devido às dificuldades apresentadas anteriormente e outras não citadas, o modelo empregado não pode ser calibrado, portanto, os resultados obtidos podem e devem ser melhorados em estudos futuros. Com um estudo mais detalhado das características da rede e monitoramento diário de pontos de pressão e vazão, pode-se alcançar valores mais próximos da realidade da rede do Jardim Monte Carlo.

Testar a metodologia empregada neste trabalho em uma outra rede de maior porte, incrementar uma rotina de busca para os fatores de demanda e comparar os valores obtidos nas simulações com pontos de medida de pressão escolhidos dentro da rede.

Fazer um estudo da demanda ao longo do dia (nos 7 dias da semana), pois deste modo pode-se operar a válvula existente ($v1$) de forma a reduzir as perdas principalmente nos horários de baixo consumo, pois a pressão é maior. A avaliação correta dos consumos é essencial para elaborar os dados do modelo de simulação. Apenas desta forma os resultados das simulações poderão merecer confiança suficiente para tomada de decisões ao nível da exploração, do projeto e do planejamento do uso de uma VRP.

Atentar para aferição e calibração de equipamentos utilizados para monitoramento de pressão e vazão por parte das empresas responsáveis, pois foi

detectado erro de medidas levantado pelo SAAE devido a equipamentos descalibrados.

É importante treinar equipes de detecção de vazamentos para realizar trabalhos de caráter preventivo e corretivo, bem como a realização de campanhas de conscientização aos usuários quanto à necessidade de controle das perdas e desperdícios de água, visando detectar rapidamente vazamentos e estimular as denúncias de vazamentos e ligações clandestinas pelos próprios usuários do sistema.

ANEXO A – Ficha Questionário

QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MORADORES NOS BAIROS MONTE CARLO E VILA PRADO.

Entrevistador: Adilson () Fernando () Urandi ()
 Data da pesquisa:
 Endereço:

- 1) Identificação do Entrevistado
 Nome:
 Grau de parentesco:
 Sexo:
 Idade:
- 2) Perfil do Chefe da Família
 Grau de parentesco:
 Sexo:
 Escolaridade:
 Profissão:
 Período em que trabalha:
- 3) Características dos Moradores
Período de ausência:
 Nº de adultos (maiores de 18 anos):
 () M () T () N
 Nº de adolescentes (entre 12 e 18 anos):
 () M () T () N
 Nº de crianças (entre 5 e 11 anos):
 () M () T () N
 Nº de bebês (entre 0 e 4 anos):
 () M () T () N
- 4) Há quanto tempo moram no local?
- 5) Quais as estações de rádio e TV mais ouvidas pela sua família? Qual o horário?
- 6) Você costuma passar os finais de semana em casa?
 Sim () Não ()
 Se Sim, o que você costuma fazer:
- 7) Qual o dia da semana em que se lava roupa?
- 8) Tem caixa d'água na residência? Qual a capacidade?
- 9) Tem carro? Lava em casa? Em que dia e período?
- 10) Tem hidrômetro?
- 11) Ocorre falta de água? Como é a pressão (tomeiras, mangueiras)?
- 12) Você observa ocorrência de água de má qualidade na torneira?
- 13) Costuma pagar o mesmo valor da conta de água todos os meses?
- 14) Costuma pagar o mesmo valor da conta de luz todos os meses? Você tem a última conta para nos dar uma idéia de consumo?
- 15) O que você gostaria que fosse melhorado no serviço de água local?
- 16) O abastecimento de água em sua residência é feita através de:
 () rede pública
 () poço
 () nascente (rio, lago, outros)
- 17) Quanto ao tratamento da água utilizada, ela é:
 () filtrada
 () fervida
 () não faz nada
 () comprada
- 18) Seu domicílio possui instalações sanitárias?
 () sim
 () não
 Caso existam, elas estão localizadas

	Banheiro Completo	Somente o vaso sanitário
Dentro do domicílio:	()	()
Fora do domicílio:	()	()
- 19) O esgoto sanitário é coletado através de:
 () fossa (séptica ou rudimentar)
 () vala negra
 () direto no curso d'água
 () rede pública
- 20) Qual é o destino do lixo de seu domicílio?
 () coleta por caminhão
 () queimado
 () enterrado
 () simplesmente jogado em áreas vagas
 () outros, qual?
- 21) Quantos dias por semana lava a área externa da casa? Quais os dias da semana?
- 22) Observações:

ANEXO B – Programa RedemUN.for

Listagem do RedemUN.for

```

C      PROGRAMA PRINCIPAL
C      NCLIN=NUMERO DE RESTRICOES(N.NOS - N. RES.)
C      NN=NUMERO DE VARIAVEIS(N.NOS - N. RES. + N. VALV.)
INTEGER*4 NMAX,NZMAX,LICN,LIRN
PARAMETER(NMAX=90,NZMAX=360,LICN=3*NZMAX,LIRN=3*NZMAX/2,
          *NCLIN=57,NROWA=NCLIN,NN=58,NCTOTL=NCLIN+NN,
          *LIWORK=2*NN,LWORK=2*NN*NN+6*NN+NN+4*NCLIN+NROWA)
REAL*8 A(LICN),RHS(NMAX),W(NMAX)
REAL*8 AA(100,100), BL(200), BU(200),
          *CLAMDA(NCTOTL), CVEC(100), WORK(LWORK), XX(100)
REAL*8 AAA(NROWA,NN), BBL(NCTOTL), BBU(NCTOTL),
          *CCVEC(NN), XXX(NN)
INTEGER*4 ICN(LICN),IDISP(10),IKEEP(NMAX,5),IRN(LIRN),
          *IW(NMAX,8)
INTEGER*4 ISTATE(NCTOTL),IWORK(LIWORK)
LOGICAL ABORT(4)
INTEGER IND(100,100),ICOL(100,100)
INTEGER* 4 NOS,TRECH
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
          *QFIC(100,100,2), V(100,100,2),D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
REAL C(100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
NCONT=30
ITER=0
CALL LEITOR(CTE2,TRECH,G,NOS,NV,CTE4,CTE5,UB,PRESS,PRESS,IND,D,L
          *,CE)
10      ITER=ITER+1
CALL INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
CALL AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
          *NEQ,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
CALL AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,6,PRESS,CTE4,CTE5,D,L,CE)
IF(ICONV.NE.0)GO TO 10
          WRITE(3,*)'RESULTADOS:'
          WRITE(3,*)' '
          WRITE(3,1)ITER
1      FORMAT(1X,'FORAM EFETUADAS',I3,' ITERACOES PARA OBTEN UMA
ESTIMATIVA',/, ' DE VAZoes E PERDAS HIDRAULICAMENTE CONSISTENTE')
          WRITE(3,*)' '
CALL INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
CALL AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
          *NEQ,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
CALL AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,3,PRESS,CTE4,CTE5,D,L,CE)
IF(NV.EQ.0)GOTO 37
          ICONT=0
CALL AUX5(NOS,V,QFIC,Q)
20      ICONT=ICONT+1
IF(ICONT.GT.NCONT)THEN
          WRITE(3,*)'****NAO CONVERGIU****'
          GO TO 37
END IF
CALL AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,BL,BU,CVEC,
          *XX,CTE,NRES,QFIC,ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,6,D,CE)
CALL AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,NN,NROWA,

```

```

      *NCTOTL,XXX)
CALL BMF(AAA,NROWA,NN,BBL,NCTOTL,BBU,CCVEC,XXX,LWORK,
      *LIWORK,ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,6)
CALL AUX4(IND,NOS,NN,XXX,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,H,G,RS,
      * 6,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
IF(ICONV.EQ.1)GO TO 20
      WRITE(3,*)' '
      WRITE(3,30)ICONT
30      FORMAT(1X,'FORAM NECESSARIAS',I3,' ITERACOES PARA OBTENCAO',/, ' DO
CONJUNTO DE VALVULAS OTIMO')
CALL AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,BL,BU,CVEC,
      *XX,CTE,NRES,QFIC,ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,3,D,CE)
CALL AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,NN,NROWA,
      *NCTOTL,XXX)
CALL BMF(AAA,NROWA,NN,BBL,NCTOTL,BBU,CCVEC,XXX,LWORK,
      *LIWORK,ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,3)
CALL AUX4(IND,NOS,NN,XXX,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,H,G,RS,
      * 3,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
31      FORMAT(1X,' ITERACAO',I3)
37      STOP
END
C      *****
SUBROUTINE LEITOR (CTE2,TRECH,G,NOS,NV,CTE4,CTE5,UB,PREC,PRESS,
* IND,D,L,CE)
C      *****
INTEGER* 4 NOS,TRECH
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
      *D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
REAL C(100)
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
INTEGER IND(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
READ(1,*) NOS,TRECH,CTE2,CTE4,CTE5,FATOR,NV,UB,PREC,PRESS
DO 10 I=1,NOS
      H(I)=0.
DO 10 J=1,NOS
      R(I,J)=0.
10      RS(I,J)=0.
C      LEITURA DOS DADOS DA REDE, NUMERO DE NOS INTERLIGADOS(TRECH),
C      CONSTANTE DA EQUACAO DE RESISTENCIA,DIAMETROS, COEFICIENTES DE
RUGOSIDADES, ESTIMATIVAS DE VAZOES E PERDAS P/ OS TRECH E CONSTANTE DA
RELACAO PERDA-PRESSAO
WRITE(3,*)'NOS TRECH CTE2 CTE4 CTE5 FATOR VALV. UB PREC *PRESSAO'
WRITE(3,1)NOS,TRECH,CTE2,CTE4,CTE5,FATOR,NV,UB,PREC,PRESS
1      FORMAT(1X,2I4,3X,F9.6,2F5.2,F5.2,2X,I3,F7.2,F6.3,F5.1/)
DO 20 TRECHO=1,TRECH
      READ(1,*)I,J,L(I,J),D(I,J),CE(I,J)
      R(I,J)=(1000000*9.81*3.1416*3.1416*D(I,J)**5/L(I,J)/8)**0.5
      RS(I,J)=CTE2*L(I,J)
      R(J,I)=R(I,J)
      D(J,I)=D(I,J)
      CE(J,I)=CE(I,J)
      L(J,I)=L(I,J)
      RS(J,I)=RS(I,J)
      Q(I,J,1)=3.1416*D(I,J)**2*1000/4.
      QS(I,J,1)=0.0
      QS(I,J,1)=.15*Q(I,J,1)

```

```

        Q(J,I,1)=-Q(I,J,1)
20     QS(J,I,1)=QS(I,J,1)
DO 30 I=1,NOS
30     READ(1,*) G(I),H(I),C(I)
DO 50 I=1,NOS
DO 50 J=1,NOS
        IND(I,J)=0
50     IND(J,I)=IND(I,J)
        WRITE(3,*)'VALVULA NOS TRECHOS'
DO 40 K=1,NV
        READ(1,*)I,J
        IND(I,J)=1
        IND(J,I)=IND(I,J)
40     WRITE(3,4)I,J
        WRITE(3,*) ' '
RETURN
2     FORMAT(1X,2I3,F8.1,F6.2,3X,F4.2,3X,2F8.2)
3     FORMAT(1X,I2,3X,3F10.2)
4     FORMAT(1X,I2,'-',I2,/)
END
C     *****
SUBROUTINE INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
C     *****
INTEGER* 4 NOS
REAL*8 AA(100,100),RHS(100)
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100)
REAL C(100),CE(100,100),D(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
NEQ=0
DO 20 I=1,NOS
        IF(H(I).NE.0.0) GO TO 20
        NEQ=NEQ+1
        RHS(NEQ)=0.0
DO 5 II=1,NOS
5     AA(NEQ,II)=0.0
DO 10 J=1,NOS
        IF(R(I,J).EQ.0.0) GO TO 10
        E1=1./CTE4
        E2=1./CTE4-1.
        E3=1./CTE5
        E4=1.-1./CTE5
        REY=4*ABS(Q(I,J,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
        F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9)-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
        X=((R(I,J)/F**0.5)**E1)/(ABS(Q(I,J,1))**E2)
        IF(ABS(QS(I,J,1)).LT.0.00000001)THEN
            Y=0.
        ELSE
            Y=0.25*(RS(I,J)**E3)*(QS(I,J,1)**E4)
        ENDIF
        AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X+Y
        AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X+Y
        RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))
        XX=X+Y
        YY=Y-X
        IF(H(J).EQ.0.0) GO TO 10

```

```

        RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(AA(NEQ,J)*H(J))
        AA(NEQ,J)=0.0
10     CONTINUE
        RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(FATOR*C(I))
20     CONTINUE
        NRES=NOS-NEQ
        JJ=0
DO 60 J=1,NEQ
        11     JJ=JJ+1
        IF(H(JJ).NE.0.0) GO TO 11
DO 80 I=1,NEQ
80     AA(I,J)=AA(I,J)
60     CONTINUE
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
*N,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
C *****
INTEGER*4 NMAX,NZMAX,LICN,LIRN
REAL*8 RESID, U
INTEGER*4 I,IFAIL,MTYPE,N,NZ,J
LOGICAL GROW,LBLOCK
REAL*8 A(LICN),RHS(NMAX),W(NMAX)
REAL*8 AA(100,100)
INTEGER*4 ICN(LICN),IDISP(10),IKEEP(NMAX,5),IRN(LIRN),
        *IW(NMAX,8)
LOGICAL ABORT(4)
EXTERNAL F01BRF,F04AXF
NZ=0
DO 90 I=1,N
DO 90 J=1,N
IF(AA(I,J).EQ.0.)GO TO 90
        NZ=NZ+1
        A(NZ)=AA(I,J)
        IRN(NZ)=I
        ICN(NZ)=J
90     CONTINUE
IF(N.GT.0 .AND. N.LE.NMAX .AND. NZ.GT.0 .AND. NZ.LE.NZMAX) THEN
        U=0.1E0
        LBLOCK=.TRUE.
        GROW=.TRUE.
        ABORT(1)=.TRUE.
        ABORT(2)=.TRUE.
        ABORT(3)=.FALSE.
        ABORT(4)=.TRUE.
        IFAIL=110
CALL F01BRF(N,NZ,A,LICN,IRN,LIRN,ICN,U,IKEEP,IW,W,LBLOCK,GROW,
*ABORT,IDISP,IFAIL)
IF(GROW)THEN
END IF
MTYPE=1
CALL F04AXF(N,A,LICN,ICN,IKEEP,RHS,W,MTYPE,IDISP,RESID)
ELSE
END IF
RETURN
9     FORMAT(1X,A,I5,A,I5)
8     FORMAT(1X,A,E9.2)

```

```

7      FORMAT(1X,'X',I2,'=',F9.2)
END
C      *****
SUBROUTINE AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,NOUT,PREC, *CTE4,CTE5,D,L,CE)
C      *****
INTEGER*4 NOS,NMAX
REAL*8 RHS(NMAX),CARGA(100),H(100),G(100)
REAL*8 Y
REAL R(100,100),RS(100,100),Q(100,100,2),QS(100,100,2),C(100),
      *D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
COMMON /A3/H,CARGA
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
JJ=0
DO 9 I=1,NOS
      CARGA(I)=H(I)
IF(H(I).EQ.0)THEN
      CARGA(I)=RHS(JJ+1)
      JJ=JJ+1
END IF
9      CONTINUE
ICONV=0
PERDAS=0.
WRITE(NOUT,*)'TRECHO VAZAO VEL VNORM PERDA PRES(I) PRES(J)'
DO 10 I=1,NOS
DO 10 J=1,NOS
IF(R(I,J).EQ.0.)GO TO 10
      X=CARGA(I)-CARGA(J)
      Y=(CARGA(I)+CARGA(J)-G(I)-G(J))/2
      E1=1./CTE4
      E3=1./CTE5
IF(X.EQ.0.)THEN
      Q(I,J,2)=0.
ELSE
      REY=4*ABS(Q(I,J,1))/1000/3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
      F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(L,J)/3.7/D(L,J)/1000)+
      *(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
      Q(I,J,2)=(R(L,J)/F**0.5)**E1*ABS(X)**CTE4*(X/ABS(X))
ENDIF
QS(I,J,2)=0.
IF((CTE2.NE.0.).AND.(Y.GT.0.))QS(I,J,2)=(RS(L,J)**E3*Y)**CTE5
      QS(I,J,2)=(QS(I,J,1)+QS(L,J,2))/2
      Q(I,J,2)=(Q(I,J,1)+Q(L,J,2))/2
      Z=Q(I,J,2)-Q(I,J,1)
IF(ABS(Z).GT.PREC)ICONV=ICONV+1
      Q(I,J,1)=Q(I,J,2)
      QS(I,J,1)=QS(L,J,2)
      BB=CARGA(I)-G(I)
      CC=CARGA(J)-G(J)
      VEL=Q(I,J,1)/3.1416/D(L,J)/D(L,J)*4*0.001
      VNORM=0.6+1.5*D(L,J)
      AD1=QS(L,J,1)/L(L,J)/(VNORM-ABS(VEL))*1000.
      AD2=QS(L,J,1)*1000/L(L,J)/(D(L,J)*ABS(VEL))
WRITE(NOUT,20)I,J,Q(I,J,1),VEL,VNORM,QS(L,J,1),BB,CC,AD1,AD2
PERDAS=PERDAS+QS(L,J,1)
10     CONTINUE
PERDAS=PERDAS/2
WRITE(NOUT,39)PERDAS
37     FORMAT(1X,2I2,2F8.3)

```

```

40    FORMAT(1X,2I3,5F8.2,E10.2)
39    FORMAT(1X,'TOTAL DE PERDAS=',F8.2,/)
20    FORMAT(1X,2I3,F8.2,2F6.2,4F8.2,F7.2)
30    FORMAT(1X,'NO',I2,' H=',F8.2,' P=',F8.2)
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX5(NOS,V,QFIC,Q)
C *****
REAL V(100,100,2),QFIC(100,100,2),Q(100,100,2)
DO 20 I=1,NOS
DO 20 J=1,NOS
      V(I,J,1)=1.
20    QFIC(I,J,1)=Q(I,J,1)
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,
*BL,BU,CVEC,XX,CTE,NRES,QFIC,ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,NOUT,D,CE)
C *****
INTEGER*4 NOS,IVAR
REAL*8 AA(100,100),RHS(100),XX(100),G(100)
REAL*8 BL(200),BU(200),CARGA(100),CVEC(100),H(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
      *QFIC(100,100,2),V(100,100,2)
REAL C(100),D(100,100),CE(100,100)
INTEGER IND(100,100),ICOL(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
IVAR=0
DO 30 I=1,NOS
DO 30 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))THEN
      IVAR=IVAR+1
WRITE(NOUT,77) IVAR,I,J
77    FORMAT (1X,'A VALVULA ',I2,' ESTA NO TRECHO ',I2,' ',I2)
      ICOL(I,J)=IVAR+NOS
      ICOL(J,I)=ICOL(I,J)
END IF
30    CONTINUE
CTE=0.
DO 12 I=1,NOS
12    CVEC(I)=0.
DO 11 I=NOS+1,NOS+NV
CVEC(I)=0.
11    H(I)=0.
NEQ=0
DO 20 I=1,NOS
IF(H(I).NE.0.0)GO TO 20
      NEQ=NEQ+1
      RHS(NEQ)=0.0
DO 5 II=1,NOS+NV
5    AA(NEQ,II)=0.0
DO 10 J=1,NOS
IF((R(I,J).EQ.0.0).OR.(QFIC(I,J,1).EQ.0.0))GO TO 10
      E1=1./CTE4
      E2=1./CTE4-1.
      E3=1./CTE5

```

```

E4=1./CTE5-1.
REY=4*ABS(QFIC(I,J,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
X=((R(I,J)/F**0.5)**E1)/(ABS(QFIC(I,J,1))**E2)
IF(ABS(QS(I,J,1)).LT.0.00000001)THEN
Y=0.
ELSE
Y=0.25*(RS(I,J)**E3)/(QS(I,J,1)**E4)
ENDIF
CVEC(I)=CVEC(I)+Y
CVEC(J)=CVEC(J)+Y
CTE=CTE-(G(I)+G(J))*Y
IF(IND(I,J).EQ.1)THEN
AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X*V(I,J,1)+Y
AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X*V(I,J,1)+Y
KAKA=ICOL(I,J)
AA(NEQ,KAKA)=QFIC(I,J,1)
RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))+QFIC(I,J,1)*V(I,J,1)
ELSE
AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X+Y
AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X+Y
RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))
END IF
IF(H(J).EQ.0.0) GO TO 10
RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(AA(NEQ,J)*H(J))
AA(NEQ,J)=0.0
CVEC(J)=0.
CVEC(I)=CVEC(I)+Y
CTE=CTE+H(J)*Y*2-Y*(G(I)+G(J))
10 CONTINUE
RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(FATOR*C(I))
BL(NOS-NRES+NV+NEQ)=RHS(NEQ)
BU(NOS-NRES+NV+NEQ)=RHS(NEQ)
20 CONTINUE
DO 600 I=1,NOS
600 CVEC(I)=CVEC(I)
JJ=0
DO 100 J=1,NEQ
1000 JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0)GO TO 1000
BL(J)=PRESS+G(JJ)
100 BU(J)=UB
DO 200 J=NEQ+1,NEQ+NV
BL(J)=0.0000
200 BU(J)=1.
JJ=0
DO 60 J=1,NEQ+NV
111 JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0.0) GO TO 111
DO 80 I=1,NEQ
80 AA(I,J)=AA(I,JJ)
CVEC(J)=CVEC(JJ)
60 CONTINUE
JJ=0
DO 9 I=1,NEQ
121 JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0)GO TO 121

```

```

9      XX(I)=CARGA(JJ)
      K=0
DO 22 I=1,NOS
DO 22 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))THEN
      K=K+1
      XX(NEQ+K)=V(I,J,1)
END IF
22      CONTINUE
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,
*NN,NROWA,NCTOTL,XXX)
C *****
REAL*8 AA(100,100), BL(200), BU(200),
      *CVEC(100), XX(100)
REAL*8 AAA(NROWA,NN), BBL(NCTOTL), BBU(NCTOTL),
      *CCVEC(NN), XXX(NN)
DO 10 J=1,NN
XXX(J)=XX(J)
CCVEC(J)=CVEC(J)
DO 10 I=1,NROWA
10      AAA(I,J)=AA(I,J)
DO 20 J=1,NCTOTL
BBL(J)=BL(J)
20      BBU(J)=BU(J)
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE BMF(A,NROWA,N,BL,NCTOTL,BU,CVEC,X,
*LWORK,LIWORK,ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,
*NOUT)
C *****
INTEGER*4 NCLIN, NROWA, N, NCTOTL, LIWORK, LWORK
REAL*8 OBJLP
INTEGER*4 IFAIL, ITMAX, MSGVLV
LOGICAL LINOBJ
REAL*8 A(NROWA,N), BL(NCTOTL), BU(NCTOTL),
      *CLAMDA(NCTOTL), CVEC(N), WORK(LWORK), X(N)
INTEGER*4 ISTATE(NCTOTL),IWORK(LIWORK)
IF(NOUT.EQ.3)THEN
      WRITE(3,11)(X(K),K=NEQ+1,NEQ+NV)
ENDIF
WRITE(NOUT,*)' '
WRITE(NOUT,*)'RESULTADOS DO PROGRAMA E04MBF'
CALL X04ABF(1,NOUT)
ITMAX=20
MSGVLV=1
LINOBJ=.TRUE.
IFAIL=1
CALL E04MBF(ITMAX,MSGVLV,N,NCLIN,NCTOTL,NROWA,A,BL,BU,
CVEC,*LINOBJ,X,ISTATE,OBJLP,CLAMDA,IWORK,LIWORK,WORK,LWORK,IFAIL)
PERDA=CTE+OBJLP
IF(NOUT.EQ.3)THEN
      WRITE(3,*)'*****'
      WRITE(3,1001)OBJLP,PERDA
      WRITE(3,*)'*****'

```

```

ENDIF
1001  FORMAT(1X,'F.OBJ.=',F10.2,'PERDAS NA REDE=',F10.2)
11    FORMAT(1X,(F9.3))
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX4(IND,NOS,NN,X,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,
*H,G,RS,NOUT,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
C *****
REAL*8 X(NN),CARGA(100),H(100),G(100)
REAL V(100,100.2),QFIC(100,100.2),Q(100,100.2),QS(100,100.2),
      *R(100,100),RS(100,100),D(100,100),CE(100,100)
INTEGER IND(100,100)
INTEGER*4 NOS
REAL*8 Y,E
JJ=0
DO 10 J=1,NOS
      CARGA(J)=H(J)
IF(H(J).EQ.0.)THEN
      JJ=JJ+1
      CARGA(J)=X(JJ)
END IF
10    K=JJ
DO 20 I=1,NOS
DO 20 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))THEN
      K=K+1
      V(I,J,2)=X(K)
END IF
20    V(J,I,2)=V(I,J,2)
ICONV=0
WRITE(NOUT,*)'TRECHO VAZAO VEL VNORM PERDA PRES(I) PRES(J)'
PERDAS=0.
E1=1./CTE4
E3=1./CTE5
DO 30 I=1,NOS
DO 30 J=1,NOS
IF(R(I,J).EQ.0.0)GO TO 30
      E=CARGA(I)-CARGA(J)
      Y=(CARGA(I)+CARGA(J)-G(I)-G(J))/2
IF(E.EQ.0)THEN
      QFIC(I,J,2)=0.
ELSE
      REY=4*ABS(QFIC(I,J,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
      F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
      QFIC(I,J,2)=((R(I,J)/F**0.5)**E1*ABS(E))**CTE4*(E/ABS(E))
ENDIF
QS(I,J,2)=0.
IF((CTE2.NE.0.).AND.(Y.GT.0.))QS(I,J,2)=(RS(I,J)**E3*Y)**CTE5
      Q(I,J,2)=V(I,J,1)*QFIC(I,J,2)+QFIC(I,J,1)*V(I,J,2)
      *-V(I,J,1)*QFIC(I,J,1)
IF(IND(I,J).EQ.0)Q(I,J,2)=QFIC(I,J,2)
      QFIC(I,J,2)=(QFIC(I,J,1)+QFIC(I,J,2))/2
      QS(I,J,2)=(QS(I,J,1)+QS(I,J,2))/2
IF(ABS(Q(I,J,1)-Q(I,J,2)).GT.PREC)ICONV=1
      Q(I,J,1)=Q(I,J,2)
      QS(I,J,1)=QS(I,J,2)

```

```

      QFIC(I,J,1)=QFIC(I,J,2)
      V(I,J,1)=V(I,J,2)
      BB=CARGA(I)-G(I)
      CC=CARGA(J)-G(J)
      VEL=Q(I,J,1)/3.1416/D(I,J)/D(I,J)*4*0.001
      VNORM=0.6+1.5*D(I,J)
WRITE(NOUT,21)I,J,Q(I,J,1),VEL,VNORM,QS(I,J,1),BB,CC
      PERDAS=PERDAS+QS(I,J,1)
IF(NOUT.EQ.3) THEN
IF ((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))CALL IMPRI(I,J,VEL,Q,E,CTE4,R,
      *NOUT,D,CE)
END IF
30    CONTINUE
PERDAS=PERDAS/2
WRITE(NOUT,39)PERDAS
RETURN
100   FORMAT(1X,'CARGA(',I3,')=',F8.2)
300   FORMAT(1X,3I2,9F8.2)
500   FORMAT(1X,2I3,F8.2)
21    FORMAT(1X,2I3,F8.2,2F6.2,3F8.2)
39    FORMAT(1X,'TOTAL DE PERDAS=',F8.2,/)
END
SUBROUTINE IMPRI(I,J,VEL,Q,E,CTE4,R,NOUT,D,CE)
REAL Q(100,100,2),R(100,100),D(100,100),CE(100,100)
REAL*8 E
IF (Q(I,J,2).NE.0.0) THEN
      REY=4*ABS(Q(I,J,2))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
      F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
      *(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
      DHD=(ABS(Q(I,J,2))/(R(I,J)/F**0.5))**(1./CTE4)
ELSE
      DHD=0.0
END IF
DHL=ABS(E)-DHD
IF(VEL.EQ.0.)THEN
      CONST=1000000.
ELSE
      CONST=DHL/(VEL*VEL/2./9.81)
END IF
WRITE(NOUT,*)' '
WRITE (NOUT,*)' I J  CONST  E  DHD  DHL'
WRITE (NOUT,1)I,J,CONST,E,DHD,DHL
1    FORMAT (2I3,2X,4F8.2)
RETURN
END

```

Arquivo de Dados – mc2.dat

58	83	0.00001	0.5	1.18	1.4 1	885.0	0.005	10.
1	2	30.	0.050	0.06				
2	3	65.	0.050	0.06				
2	7	106.	0.050	0.06				
2	8	106.	0.050	0.06				
3	9	92.	0.050	0.06				
3	24	292.	0.050	0.06				

3	57	30.	0.050	0.06
4	11	96.	0.050	0.06
4	12	150.	0.050	0.06
4	57	44.	0.050	0.06
5	6	30.	0.050	0.06
6	7	22.	0.050	0.06
6	13	68.	0.050	0.06
7	23	198.	0.050	0.06
8	9	56.	0.050	0.06
8	23	198.	0.050	0.06
9	24	200.	0.050	0.06
10	11	34.	0.050	0.06
11	12	122.	0.050	0.06
11	14	74.	0.050	0.06
13	16	64.	0.050	0.06
13	19	166.	0.050	0.06
14	15	156.	0.050	0.06
14	17	68.	0.050	0.06
16	21	70.	0.050	0.06
16	22	20.	0.050	0.06
17	18	214.	0.050	0.06
17	25	60.	0.050	0.06
18	27	244.	0.050	0.06
19	20	90.	0.050	0.06
19	21	90.	0.100	0.06
19	28	122.	0.100	0.06
19	54	110.	0.050	0.06
21	22	54.	0.050	0.06
21	23	60.	0.050	0.06
21	55	84.	0.050	0.50
23	24	66.	0.050	0.06
24	25	70.	0.050	0.06
25	26	222.	0.050	0.06
25	31	82.	0.050	0.06
26	27	225.	0.050	0.06
27	35	90.	0.050	0.06
28	29	28.	0.150	0.06
28	56	22.	0.150	0.06
29	32	325.	0.075	0.50
29	36	172.	0.050	0.06
30	36	68.	0.050	0.06
31	33	228.	0.050	0.06
31	38	78.	0.050	0.06
31	55	195.	0.050	0.50
32	38	88.	0.075	0.06
33	34	144.	0.050	0.06
33	39	70.	0.050	0.06
34	35	142.	0.050	0.06
34	41	56.	0.050	0.06
35	41	170.	0.050	0.06
36	37	102.	0.050	0.06
36	42	126.	0.050	0.06
37	38	85.	0.050	0.06
37	43	125.	0.050	0.06
38	39	234.	0.050	0.50
38	43	80.	0.050	0.50
39	40	92.	0.050	0.06
39	44	90.	0.050	0.06

40	41	82.	0.050	0.06
40	51	260.	0.050	0.06
42	45	192.	0.050	0.06
42	46	116.	0.050	0.06
43	44	204.	0.050	0.06
43	47	70.	0.050	0.06
43	49	170.	0.050	0.06
44	50	80.	0.050	0.06
45	46	34.	0.050	0.06
45	52	190.	0.050	0.06
46	47	20.	0.050	0.06
47	48	108.	0.050	0.06
49	53	140.	0.050	0.06
49	58	85.	0.050	0.06
50	51	62.	0.050	0.06
50	58	50.	0.050	0.06
51	53	285.	0.050	0.06
54	55	138.	0.050	0.50
54	56	28.	0.075	0.06
843.0	0.	0.027		
841.2	0.	0.079		
836.5	0.	0.092		
831.9	0.	0.074		
855.6	0.	0.027		
854.5	0.	0.048		
853.1	0.	0.048	*** LEITURA NÓ 7	
853.7	0.	0.122		
850.1	0.	0.122		
847.0	0.	0.095		
845.4	0.	0.177		
828.0	0.	0.082		
855.8	0.	0.021		
845.3	0.	0.153		
826.1	0.	0.098		
854.5	0.	0.039		
845.9	0.	0.164		
829.5	0.	0.179		
856.4	0.	0.083	*** LEITURA NÓ 19	
853.8	0.	0.066		
853.8	0.	0.042		
854.0	0.	0.025		
851.3	0.	0.116		
848.2	0.	0.146		
846.2	0.	0.141		
836.0	0.	0.247	*** LEITURA NÓ 26	
829.7	0.	0.095		
856.0	0.	0.000		
854.7	0.	0.016		
849.6	0.	0.059		
842.2	0.	0.062		
842.2	0.	0.077		
835.6	0.	0.206		
830.1	0.	0.104		
825.7	0.	0.037		
840.1	0.	0.088		
836.2	0.	0.095		
837.3	0.	0.131	*** LEITURA NÓ 38	
831.0	0.	0.202		

824.5 0.	0.123	
823.0 0.	0.065	
823.3 0.	0.029	
830.6 0.	0.084	
828.0 0.	0.114	
820.0 0.	0.179	
821.2 0.	0.208	
824.2 0.	0.208	
821.6 0.	0.216	
825.4 0.	0.297	
824.1 0.	0.138	
816.2 0.	0.138	*** LEITURA NÓ 51
815.0 0.	0.050	
818.7 0.	0.118	
855.9 0.	0.066	
849.6 0.	0.104	
855.5 885.	6.386	*** PV DA ENTRADA DO SETOR NÓ 56
833.3 0.	0.040	*** LEITURA NÓ 57
828.3 0.	0.522	

28 56

ANEXO C – Programa China1-UN-CORR.for

Listagem do China1-UN-CORR.For

```

C      PROGRAMA PRINCIPAL
C      NCLIN=NUMERO DE RESTRICOES(N.NOS - N. RES.)
C      NN=NUMERO DE VARIAVEIS(N.NOS - N. RES. + N. VALV.)
INTEGER*4 NMAX,NZMAX,LICN,LIRN
PARAMETER(NMAX=100,NZMAX=400,LICN=3*NZMAX,LIRN=3*NZMAX/2,
          *NCLIN=57,NROWA=NCLIN,NN=58,NCTOTL=NCLIN+NN,
          *LIWORK=2*NN,LWORK=2*NN*NN+6*NN+NN+4*NCLIN+NROWA)
REAL*8 A(LICN),RHS(NMAX),W(NMAX)
REAL*8 AA(100,100),BL(200),BU(200),
          *CLAMDA(NCTOTL),CVEC(100),WORK(LWORK),XX(100)
REAL*8 AAA(NROWA,NN),BBL(NCTOTL),BBU(NCTOTL),
          *CCVEC(NN),XXX(NN)
INTEGER*4 ICN(LICN),IDISP(10),IKEEP(NMAX,5),IRN(LIRN),
          *IW(NMAX,8)
INTEGER*4 ISTATE(NCTOTL),IWORK(LIWORK)
LOGICAL ABORT(4)
INTEGER IND(100,100),ICOL(100,100)
INTEGER* 4 NOS,TRECH
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
          *QFIC(100,100,2),V(100,100,2),D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
REAL C(100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
NCONT=30
      NCEN=24
      DO 100 ICEN=1,NCEN
      WRITE(3,*)'*****'
      WRITE(3,12)ICEN
      WRITE(*,12)ICEN
      WRITE(3,*)'*****'
      ITER=0
CALL LEITOR(CTE2,TRECH,G,NOS,NV,CTE4,CTE5,UB,PREC,PRESS,IND,D,
          *L,RAND,CE)
10    ITER=ITER+1
CALL INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
CALL AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
          *NEQ,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
CALL AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,6,PREC,CTE4,CTE5,D,L,CE)
IF(ICONV.NE.0)GO TO 10
      WRITE(3,*)'RESULTADOS:'
      WRITE(3,*)' '
      WRITE(6,1)ITER
      WRITE(3,1)ITER
1    FORMAT(1X,'FORAM EFETUADAS',I3,' ITERACOES PARA OBTER UMA ESTIMA
          *TIVA',/, ' DE VAZÕES E PERDAS HIDRAULICAMENTE CONSISTENTE')
      WRITE(3,*)' '
CALL INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
CALL AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
          *NEQ,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
CALL AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,3,PREC,CTE4,CTE5,D,L,CE)
IF(NV.EQ.0) GOTO 37
      ICONT=0
      CALL AUX5(NOS,V,QFIC,Q)
20    ICONT=ICONT+1

```

```

IF(ICONT.GT.NCONT)THEN
  WRITE(3,*)'****NAO CONVERGIU****'
  GOTO 37
ELSE
  CALL AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,BL,BU,CVEC,
    *XX,CTE,NRES,QFIC,ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,6,D,CE)
  CALL AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,NN,NROWA,NCTOTL,XXX)
  CALL BMF(AAA,NROWA,NN,BBL,NCTOTL,BBU,CCVEC,XXX,LWORK,LIWORK,
    *ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,6)
  CALL AUX4(IND,NOS,NN,XXX,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,H,G,RS,
    *6,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
  WRITE(6,31)ICONT
  IF(ICONV.EQ.1)GO TO 20
  WRITE(3,*)' '
  WRITE(6,30)ICONT
  WRITE(3,30)ICONT
30  FORMAT(1X,'FORAM NECESSARIAS',I3,' ITERACOES PARA OBTENCAO',/,
  *' DO CONJUNTO DE VALVULAS OTIMO')
  CALL AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,BL,BU,CVEC,XX,CTE,NRES,QFIC
    *_ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,3,D,CE)
  CALL AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,NN,NROWA,NCTOTL,XXX)
  CALL BMF(AAA,NROWA,NN,BBL,NCTOTL,BBU,CCVEC,XXX,LWORK,LIWORK,
    *ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,3)
  CALL AUX4(IND,NOS,NN,XXX,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,H,G,RS,
    * 3,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
END IF
100  REWIND 1
31  FORMAT(1X,' ITERACAO',I3)
12  FORMAT(1X,'**CENARIO',I3,'**')
37  STOP
END
C *****
  SUBROUTINE LEITOR (CTE2,TRECH,G,NOS,NV,CTE4,CTE5,UB,PREC,PRESS,
  *  IND,D,L,RAND,CE)
C *****
INTEGER* 4 NOS,TRECH
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
  *D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
REAL C(100)
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
INTEGER IND(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
READ(1,*) NOS,TRECH,CTE2,CTE4,CTE5,FATOR,NV,UB,PREC,PRESS
DO 10 I=1,NOS
  H(I)=0.
DO 10 J=1,NOS
  R(I,J)=0.
10  RS(I,J)=0.
C  LEITURA DOS DADOS DA REDE, NUMERO DE NOS INTERLIGADOS(TRECH),
C  CONTANTE DA EQUCAO DE RESISTENCIA,DIAMETROS,COEFICIENTES DE RU
C  GOSIDADES, ESTIMATIVAS DE VAZoes E PERDAS P/ OS TRECH E CONS
C  TANTE DA RELACAO PERDA-PRESSAO
C  CALCULO DE R E RS PARA OS TRECH
WRITE(3,*)' '
WRITE(3,*)'DADOS DO PROBLEMA:'
WRITE(3,*)' '
WRITE(3,*)'NOS TRECH CTE2 CTE4 CTE5 FATOR VALV.

```

```

      *UB PREC PRESSAO'
WRITE(3,1)NOS,TRECH,CTE2,CTE4,CTE5,FATOR,NV,UB,PREC,PRESS
1   FORMAT(1X,2I4,3X,F8.7,2X,F9.6,2F5.2,2X,I3,F7.2,F6.3,F5.1/)
DO 20 TRECHO=1,TRECH
      READ(1,*)I,J,L(I,J),D(I,J),CE(I,J)
      R(I,J)=(1000000*9.81*3.1416*3.1416*D(I,J)**5/L(I,J)/8)**0.5
      RS(I,J)=CTE2*L(I,J)
      R(J,I)=R(I,J)
      D(J,I)=D(I,J)
      CE(J,I)=CE(I,J)
      L(J,I)=L(I,J)
      RS(J,I)=RS(I,J)
      Q(I,J,1)=3.1416*D(I,J)**2*1000/4.
      QS(I,J,1)=0.0
      QS(I,J,1)=.15*Q(I,J,1)
      Q(J,I,1)=-Q(I,J,1)
20  QS(J,I,1)=QS(I,J,1)
C   LEITURA DOS DADOS : TOPOGRAFIA,CARGAS E DEMANDAS NOS NOS
      SOMA1=0.0
      SOMA2=0.0
DO 30 I=1,NOS
      READ(1,*) G(I),H(I),C(I)
30  IF(H(I).EQ.0.)SOMA1=SOMA1+C(I)
DO 31 I=1,NOS
IF(C(I).LE.0.0)GO TO 31
      CALL RANDOM(RAND)
      U=RAND
      ALFA=2
      QMIN=0.0
      QMAX=C(I)*ALFA
      QMED=C(I)
      AGA=2./(QMAX-QMIN)
      F0=(QMED-QMIN)*AGA/2
IF(U.LE.F0)THEN
      CC=QMIN**2-U*((QMED-QMIN)**2/F0)
      C(I)=QMIN+(QMIN**2-CC)**0.5
ELSE
      CC=QMAX**2-((1-U)/F0)*(QMAX-QMED)*(QMED-QMIN)
      C(I)=QMAX+(QMAX**2-CC)**0.5
END IF
      SOMA2=SOMA2+C(I)
31  CONTINUE
DO 50 I=1,NOS
IF(H(I).EQ.0.)C(I)=C(I)*SOMA1/SOMA2
DO 50 J=1,NOS
IND(I,J)=0
50  IND(J,I)=IND(I,J)
7   FORMAT(1X,'*****DEMANDA TOTAL=',F10.3,'*****')
WRITE(3,*)'VALVULA NOS TRECHOS'
DO 40 K=1,NV
READ(1,*)I,J
IND(I,J)=1
IND(J,I)=IND(I,J)
40  WRITE(3,4)I,J
WRITE(3,*) ' '
RETURN
2   FORMAT(1X,2I3,F8.1,F6.2,3X,F6.0,2F8.2)
3   FORMAT(1X,I2,3X,3F10.2)

```

```

4      FORMAT(1X,I2,'-',I2,/)
34     FORMAT(8F9.3)
END
C      *****
SUBROUTINE INICIO(G,NOS,NEQ,RHS,AA,NRES,CTE4,CTE5,D,CE)
C      *****
C      MONTAGEM DO SISTEMA ESTATICO DE EQUACOES SIMULTANEAS
INTEGER* 4 NOS
REAL*8 AA(100,100),RHS(100)
REAL*8 CARGA(100),H(100),G(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100)
REAL C(100),CE(100,100),D(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
NEQ=0
DO 20 I=1,NOS
IF(H(I).NE.0.0) GO TO 20
      NEQ=NEQ+1
      RHS(NEQ)=0.0
DO 5 II=1,NOS
5      AA(NEQ,II)=0.0
DO 10 J=1,NOS
IF(R(I,J).EQ.0.0) GO TO 10
      E1=1./CTE4
      E2=1./CTE4-1.
      E3=1./CTE5
      E4=1.-1./CTE5
      REY=4*ABS(Q(I,J,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
      F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
      X=((R(I,J)/F**0.5)**E1)/(ABS(Q(I,J,1))**E2)
      Y=0.25*(RS(I,J)**E3)*(QS(I,J,1)**E4)
      AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X+Y
      AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X+Y
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))
      XX=X+Y
      YY=Y-X
IF(H(J).EQ.0.0) GO TO 10
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(AA(NEQ,J)*H(J))
      AA(NEQ,J)=0.0
10     CONTINUE
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(FATOR*C(I))
20     CONTINUE
      NRES=NOS-NEQ
      JJ=0
DO 60 J=1,NEQ
11     JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0.0) GO TO 11
DO 80 I=1,NEQ
80     AA(I,J)=AA(I,JJ)
60     CONTINUE
RETURN
END
C      *****
SUBROUTINE AXF1(NMAX,NZMAX,LICN,LIRN,
*N,NZ,A,RHS,W,ICN,IDISP,IKEEP,IRN,IW,ABORT,AA)
C      *****
INTEGER*4 NMAX,NZMAX,LICN,LIRN

```

```

REAL*8 RESID, U
INTEGER*4 I,IFAIL,MTYPE,N,NZ,J
LOGICAL GROW,LBLOCK
REAL*8 A(LICN),RHS(NMAX),W(NMAX)
REAL*8 AA(100,100)
INTEGER*4 ICN(LICN),IDISP(10),IKEEP(NMAX,5),IRN(LIRN),
      *IW(NMAX,8)
LOGICAL ABORT(4)
EXTERNAL F01BRF,F04AXF
NZ=0
DO 90 I=1,N
DO 90 J=1,N
IF(AA(I,J).EQ.0.)GO TO 90
      NZ=NZ+1
      A(NZ)=AA(I,J)
      IRN(NZ)=I
      ICN(NZ)=J
90 CONTINUE
IF(N.GT.0 .AND. N.LE.NMAX .AND. NZ.GT.0 .AND. NZ.LE.NZMAX) THEN
      U=0.1E0
      LBLOCK=.TRUE.
      GROW=.TRUE.
      ABORT(1)=.TRUE.
      ABORT(2)=.TRUE.
      ABORT(3)=.FALSE.
      ABORT(4)=.TRUE.
      IFAIL=110
CALL F01BRF(N,NZ,A,LICN,IRN,LIRN,ICN,U,IKEEP,IW,W,LBLOCK,GROW,
*ABORT,IDISP,IFAIL)
IF(GROW)THEN
END IF
MTYPE=1
CALL F04AXF(N,A,LICN,ICN,IKEEP,RHS,W,MTYPE,IDISP,RESID)
ELSE
      WRITE(6,9)'N OU NZ ESTA FORA DA FAIXA:N=',N,
*' NZ= ',NZ
END IF
RETURN
9      FORMAT(1X,A,I5,A,I5)
8      FORMAT(1X,A,E9.2)
7      FORMAT(1X,'X',I2,'=',F9.2)
END
C *****
SUBROUTINE AUX1(CTE2,RHS,G,NOS,ICONV,NMAX,NOUT,PREC,CTE4,CTE5,D,L
*,CE)
C *****
INTEGER*4 NOS,NMAX
REAL*8 RHS(NMAX),CARGA(100),H(100),G(100)
REAL*8 Y
REAL R(100,100),RS(100,100),Q(100,100,2),QS(100,100,2),C(100),
      *D(100,100),L(100,100),CE(100,100)
COMMON /A3/H,CARGA
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
JJ=0
DO 9 I=1,NOS
      CARGA(I)=H(I)
IF(H(I).EQ.0)THEN
      CARGA(I)=RHS(JJ+1)

```

```

        JJ=JJ+1
    END IF
    9    CONTINUE
    ICONV=0
    PERDAS=0.
    WRITE(NOUT,*)'TRECHO VAZAO VEL VNORM PERDA PRES(I) PRES(J)'
    DO 10 I=1,NOS
    DO 10 J=1,NOS
    IF(R(I,J).EQ.0.)GO TO 10
        X=CARGA(I)-CARGA(J)
        Y=(CARGA(I)+CARGA(J)-G(I)-G(J))/2
    37    FORMAT(1X,2I2,2F8.3)
    40    FORMAT(1X,2I3,5F8.2,E10.2)
        E1=1./CTE4
        E3=1./CTE5
    IF(X.EQ.0.)THEN
        Q(I,J,2)=0.
    ELSE
        REY=4*ABS(Q(I,J,1))/1000/3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
        F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
        *(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
        Q(I,J,2)=((R(I,J)/F**0.5)**E1*ABS(X))**CTE4*(X/ABS(X))
    ENDIF
    QS(I,J,2)=0.
    IF((CTE2.NE.0.).AND.(Y.GT.0.))QS(I,J,2)=(RS(I,J)**E3*Y)**CTE5
        QS(I,J,2)=(QS(I,J,1)+QS(I,J,2))/2
        Q(I,J,2)=(Q(I,J,1)+Q(I,J,2))/2
        Z=Q(I,J,2)-Q(I,J,1)
    IF(ABS(Z).GT.PREC)ICONV=ICONV+1
        Q(I,J,1)=Q(I,J,2)
        QS(I,J,1)=QS(I,J,2)
        BB=CARGA(I)-G(I)
        CC=CARGA(J)-G(J)
        VEL=Q(I,J,1)/3.1416/D(I,J)/D(I,J)*4*0.001
        VNORM=0.6+1.5*D(I,J)
        AD1=QS(I,J,1)/L(I,J)/(VNORM-ABS(VEL))*1000.
        AD2=QS(I,J,1)*1000/L(I,J)/(D(I,J)*ABS(VEL))
        WRITE(NOUT,20)I,J,Q(I,J,1),VEL,VNORM,QS(I,J,1),BB,CC,AD1,AD2
        PERDAS=PERDAS+QS(I,J,1)
    10    CONTINUE
    PERDAS=PERDAS/2
    WRITE(NOUT,39)PERDAS
    39    FORMAT(1X,'TOTAL DE PERDAS=',F8.2,/)
    20    FORMAT(1X,2I3,F8.2,2F6.2,4F8.2,F7.2)
    30    FORMAT(1X,'NO',I2,' H=',F8.2,' P=',F8.2)
    RETURN
    END
    C *****
    SUBROUTINE AUX5(NOS,V,QFIC,Q)
    C *****
    REAL V(100,100,2),QFIC(100,100,2),Q(100,100,2)
    DO 20 I=1,NOS
    DO 20 J=1,NOS
        V(I,J,1)=1.
    20    QFIC(I,J,1)=Q(I,J,1)
    RETURN
    END
    C *****

```

```

SUBROUTINE AUX2(G,NOS,NEQ,RHS,NV,IND,V,AA,
*BL,BU,CVEC,XX,CTE,NRES,QFIC,ICOL,UB,PRESS,CTE4,CTE5,NOUT,D,CE)
C *****
INTEGER*4 NOS,IVAR
REAL*8 AA(100,100),RHS(100),XX(100),G(100)
REAL*8 BL(100),BU(100),CARGA(100),CVEC(100),H(100)
REAL Q(100,100,2),QS(100,100,2),R(100,100),RS(100,100),
*QFIC(100,100,2),V(100,100,2)
REAL C(100),D(100,100),CE(100,100)
INTEGER IND(100,100),ICOL(100,100)
COMMON /A1/R,RS,Q,QS,C,FATOR
COMMON /A3/H,CARGA
IVAR=0
DO 30 I=1,NOS
DO 30 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))THEN
    IVAR=IVAR+1
    WRITE(NOUT,77) IVAR,I,J
77    FORMAT (1X,'A VALVULA ',I2,' ESTA NO TRECHO ',I2,' ',I2)
    ICOL(I,J)=IVAR+NOS
    ICOL(J,I)=ICOL(I,J)
END IF
30    CONTINUE
CTE=0.
DO 12 I=1,NOS
12    CVEC(I)=0.
DO 11 I=NOS+1,NOS+NV
11    H(I)=0.
NEQ=0
DO 20 I=1,NOS
IF(H(I).NE.0.0)GO TO 20
    NEQ=NEQ+1
    RHS(NEQ)=0.0
DO 5 II=1,NOS+NV
5    AA(NEQ,II)=0.0
DO 10 J=1,NOS
IF((R(I,J).EQ.0.0).OR.(QFIC(I,J,1).EQ.0.0))GO TO 10
    E1=1./CTE4
    E2=1./CTE4-1.
    E3=1./CTE5
    E4=1-1./CTE5
    REY=4*ABS(Q(I,1,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
    F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
    X=((R(I,J)/F**0.5)**E1)/(ABS(QFIC(I,J,1))**E2)
    Y=0.25*(RS(I,J)**E3)*(QS(I,J,1)**E4)
    CVEC(I)=CVEC(I)+Y
    CVEC(J)=CVEC(J)+Y
    CTE=CTE-(G(I)+G(J))*Y
IF(IND(I,J).EQ.1)THEN
    AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X*V(I,J,1)+Y
    AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X*V(I,J,1)+Y
    KAKA=ICOL(I,J)
    AA(NEQ,KAKA)=QFIC(I,J,1)
    RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))+QFIC(I,J,1)*V(I,J,1)
ELSE
    AA(NEQ,I)=AA(NEQ,I)+X+Y

```

```

      AA(NEQ,J)=AA(NEQ,J)-X+Y
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)+Y*(G(I)+G(J))
END IF
IF(H(J).EQ.0.0) GO TO 10
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(AA(NEQ,J)*H(J))
      AA(NEQ,J)=0.0
      CVEC(J)=0.
      CVEC(I)=CVEC(I)+Y
      CTE=CTE+H(J)*Y*2-Y*(G(I)+G(J))
10   CONTINUE
      RHS(NEQ)=RHS(NEQ)-(FATOR*C(I))
      BL(NOS-NRES+NV+NEQ)=RHS(NEQ)
      BU(NOS-NRES+NV+NEQ)=RHS(NEQ)
20   CONTINUE
DO 600 I=1,NOS
600   CVEC(I)=CVEC(I)
JJ=0
DO 100 J=1,NEQ
      1000 JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0)GO TO 1000
      BL(J)=PRESS+G(JJ)
      100 BU(J)=UB
DO 200 J=NEQ+1,NEQ+NV
      BL(J)=0.0001
200   BU(J)=1.00
JJ=0
DO 60 J=1,NEQ+NV
111   JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0.0) GO TO 111
DO 80 I=1,NEQ
80    AA(I,J)=AA(I,JJ)
60    CONTINUE
JJ=0
DO 9 I=1,NEQ
      121 JJ=JJ+1
IF(H(JJ).NE.0)GO TO 121
9     XX(I)=CARGA(JJ)
      K=0
DO 22 I=1,NOS
DO 22 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(LLT.J))THEN
      K=K+1
      XX(NEQ+K)=V(I,J,1)
END IF
22   CONTINUE
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX3(AA,BL,BU,CVEC,XX,AAA,BBL,BBU,CCVEC,
*NN,NROWA,NCTOTL,XXX)
C *****
REAL*8 AA(100,100), BL(100), BU(100),
      *CVEC(100), XX(100)
REAL*8 AAA(NROWA,NN), BBL(NCTOTL), BBU(NCTOTL),
      *CCVEC(NN), XXX(NN)
DO 10 J=1,NN
      XXX(J)=XX(J)
      CCVEC(J)=CVEC(J)

```

```

DO 10 I=1,NROWA
10   AAA(I,J)=AA(I,J)
DO 20 J=1,NCTOTL
    BBL(J)=BL(J)
20   BBU(J)=BU(J)
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE BMF(A,NROWA,N,BL,NCTOTL,BU,CVEC,X,
*LWORK,LIWORK,ISTATE,IWORK,WORK,CLAMDA,CTE,NCLIN,NEQ,NV,NOUT)
C *****
INTEGER*4 NCLIN, NROWA, N, NCTOTL, LIWORK, LWORK
REAL*8 OBJLP
INTEGER*4 IFAIL, ITMAX, MSGLVL
LOGICAL LINOBJ
REAL*8 A(NROWA,N), BL(NCTOTL), BU(NCTOTL),
    *CLAMDA(NCTOTL), CVEC(N), WORK(LWORK), X(N)
INTEGER*4 ISTATE(NCTOTL),IWORK(LIWORK)
IF(NOUT.EQ.3)THEN
    WRITE(3,11)(X(K),K=NEQ+1,NEQ+NV)
ENDIF
11   FORMAT(1X,(F9.3))
WRITE(NOUT,*)' '
WRITE(NOUT,*)'RESULTADOS DO PROGRAMA E04MBF'
CALL X04ABF(1,NOUT)
ITMAX=20
MSGLVL=1
LINOBJ=.TRUE.
IFAIL=1
CALL E04MBF(ITMAX,MSGLVL,N,NCLIN,NCTOTL,NROWA,A,BL,BU,CVEC,
    *LINOBJ,X,ISTATE,OBJLP,CLAMDA,IWORK,LIWORK,WORK,LWORK,IFAIL)
PERDA=CTE+OBJLP
IF(NOUT.EQ.3)THEN
    WRITE(3,*)'*****'
    WRITE(3,1001)OBJLP,PERDA
    WRITE(3,*)'*****'
ENDIF
1001  FORMAT(1X,'F.OBJ.=',F10.2,'PERDAS NA REDE=',F10.2)
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE AUX4(IND,NOS,NN,X,CARGA,V,QFIC,Q,QS,R,ICONV,
*H,G,RS,NOUT,PREC,CTE4,CTE5,D,CTE2,CE)
C *****
REAL*8 X(NN),CARGA(100),H(100),G(100)
REAL V(100,100,2),QFIC(100,100,2),Q(100,100,2),QS(100,100,2),
    *R(100,100),RS(100,100),D(100,100),CE(100,100)
INTEGER IND(100,100)
INTEGER*4 NOS
REAL*8 Y,E
JJ=0
DO 10 J=1,NOS
    CARGA(J)=H(J)
IF(H(J).EQ.0.)THEN
    JJ=JJ+1
    CARGA(J)=X(JJ)
ENDIF
10   K=JJ

```

```

DO 20 I=1,NOS
DO 20 J=1,NOS
IF((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))THEN
    K=K+1
    V(I,J,2)=X(K)
END IF
20    V(J,I,2)=V(I,J,2)
ICONV=0
WRITE(NOUT,*)'TRECHO VAZAO VEL VNORM PERDA PRES(I) PRES(J)'
PERDAS=0.
E1=1./CTE4
E3=1./CTE5
DO 30 I=1,NOS
DO 30 J=1,NOS
IF(R(I,J).EQ.0.0)GO TO 30
    E=CARGA(I)-CARGA(J)
    Y=(CARGA(I)+CARGA(J)-G(I)-G(J))/2
IF(E.EQ.0.)THEN
    QFIC(I,J,2)=0.
ELSE
    REY=4*ABS(QFIC(I,J,1))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
    F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16))**0.125
    QFIC(I,J,2)=((R(I,J)/F**0.5)**E1*ABS(E))**CTE4*(E/ABS(E))
ENDIF
QS(I,J,2)=0.
IF((CTE2.NE.0.).AND.(Y.GT.0.))QS(I,J,2)=(RS(I,J)**E3*Y)**CTE5
    Q(I,J,2)=V(I,J,1)*QFIC(I,J,2)+QFIC(I,J,1)*V(I,J,2)
*-V(I,J,1)*QFIC(I,J,1)
IF(IND(I,J).EQ.0)Q(I,J,2)=QFIC(I,J,2)
    QFIC(I,J,2)=(QFIC(I,J,1)+QFIC(I,J,2))/2
    QS(I,J,2)=(QS(I,J,1)+QS(I,J,2))/2
IF(ABS(Q(I,J,1)-Q(I,J,2)).GT.PREC)ICONV=1
    Q(I,J,1)=Q(I,J,2)
    QS(I,J,1)=QS(I,J,2)
    QFIC(I,J,1)=QFIC(I,J,2)
    V(I,J,1)=V(I,J,2)
    BB=CARGA(I)-G(I)
    CC=CARGA(J)-G(J)
    VEL=Q(I,J,1)/3.1416/D(I,J)/D(I,J)*4*0.001
    VNORM=0.6+1.5*E(I,J)
    WRITE(NOUT,21)I,J,Q(I,J,1),VEL,VNORM,QS(I,J,1),BB,CC
    PERDAS=PERDAS+QS(I,J,1)
IF(NOUT.EQ.3) THEN
IF ((IND(I,J).EQ.1).AND.(I.LT.J))CALL IMPRI(I,J,VEL,Q,E,CTE4,R,
*NOUT,D,CE)
END IF
30    CONTINUE
PERDAS=PERDAS/2
WRITE(NOUT,39)PERDAS
RETURN
100    FORMAT(1X,'CARGA('I3,')=',F8.2)
300    FORMAT(1X,3I2,9F8.2)
500    FORMAT(1X,2I3,F8.2)
21    FORMAT(1X,2I3,F8.2,2F6.2,3F8.2)
39    FORMAT(1X,'TOTAL DE PERDAS=',F8.2,/)
END
SUBROUTINE IMPRI(I,J,VEL,Q,E,CTE4,R,NOUT,D,CE)

```

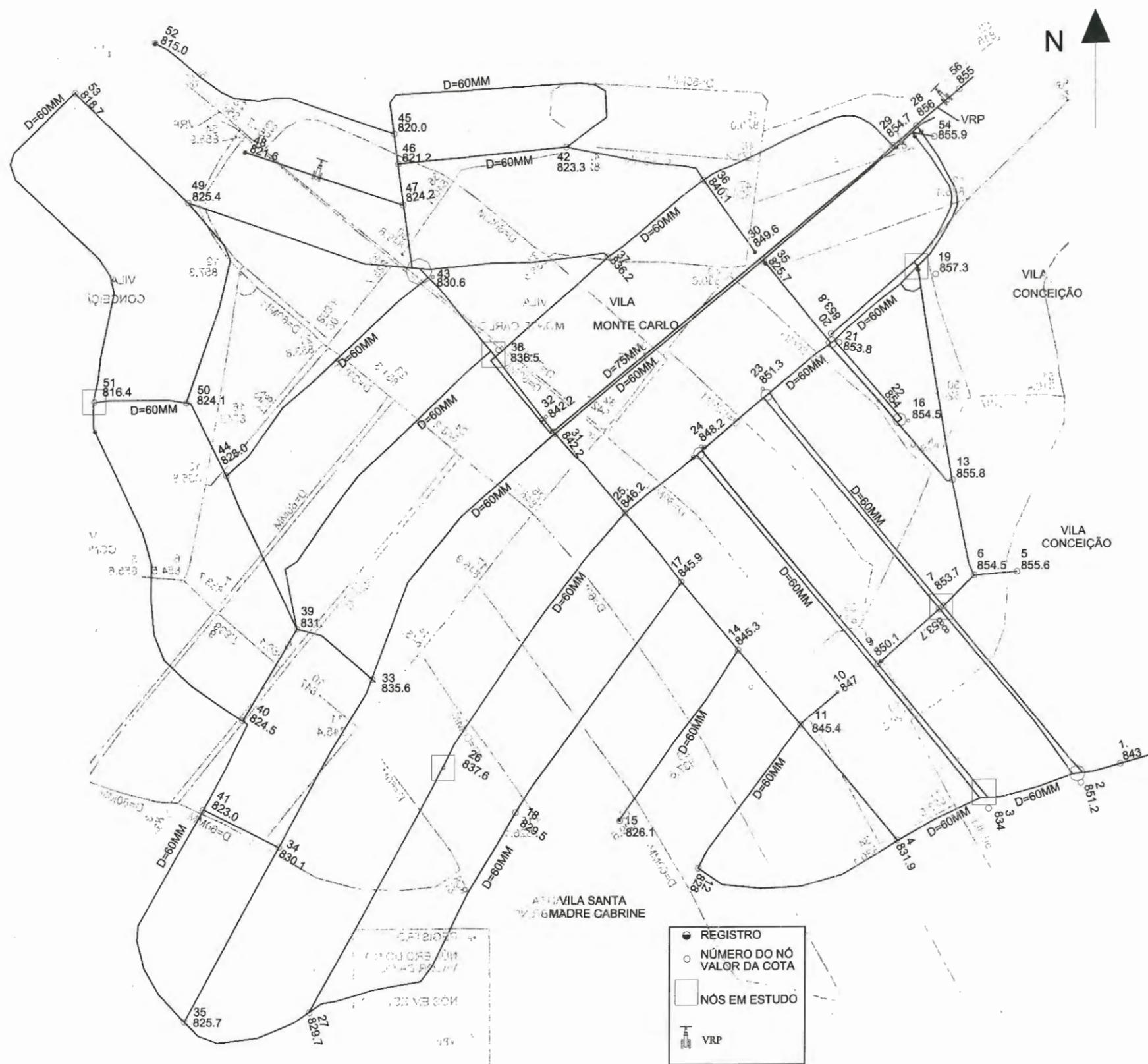
```

REAL Q(100,100,2),R(100,100),D(100,100),CE(100,100)
REAL*8 E
IF (Q(I,J,2).NE.0.0) THEN
    REY=4*ABS(Q(I,J,2))/1000./3.1416/0.000001/D(I,J)/D(I,J)
    F=((64/REY)**8+9.5*(ALOG((CE(I,J)/3.7/D(I,J)/1000)+
*(5.74/REY**0.9))-(2500/REY)**6)**(-16)**0.125
    DHD=(ABS(Q(I,J,2))/(R(I,J)/F**0.5))**(1./CTE4)
ELSE
    DHD=0.0
END IF
DHL=ABS(E)-DHD
IF(VEL.EQ.0.)THEN
    CONST=1000000.
ELSE
    CONST=DHL/(VEL*VEL/2./9.81)
END IF
WRITE(NOUT,*)'
WRITE (NOUT,*)' I J  CONST  E  DHD  DHL'
WRITE (NOUT,1)I,J,CONST,E,DHD,DHL
1      FORMAT (2I3,2X,4F8.2)
RETURN
END

```

Arquivo de Dados – mc2.dat (mesmo que o anterior).

ANEXO D – Mapa do Jardim Monte Carlo



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, M. H. (1986). Modelos de Simulação de Sistemas de Distribuição de Água. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Informação Técnica Hidráulica (ITH)*, Lisboa.
- BORGES, P. R. (1989). Indicadores de desempenho para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. *15o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.2 Tomo I, Setembro, Belém – PA, p673-689.
- BORGES, P. R.; Onofre, R. M. S. (1993). Setores de abastecimento e o controle das perdas de água na região metropolitana de São Paulo. *17o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.2 Tomo II, Setembro, Natal – RN, p75-84.
- CHAVES, E. W. V. (1997). Fortran Power Station – Versão 4.0. *Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, EESC/USP*. Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos – SP.
- CONEJO, J. G. L.; SILVA, R. T. (1998). Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – Definições de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento. *Ministério do Planejamento e Orçamento – Secretaria de Política Urbana*, Documento Técnico A2, Março, Brasília - DF.



- GERMANOPOULOS, G.; JOWITT, P. W. (1989). Leakage reduction by excessive pressure minimization in a water supply network. *Proc. Institution Civ. Engrs.*, Part 2, v.87, p195-214, June.
- GOULTER, I. C. (1992). Systems analysis in water-distribution network design: from theory to practice. *Journal of Water Planning and Management*, v.118, n.3, p238-248.
- JOWITT, P. W.; XU, Ch. (1990). Optimal valve control in water-distribution networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, v.116, n.4, p455-472.
- KHADAM, M. A.; SHAMMAS, N. K.; AL-FERAIHEEDI, Y. (1991). Water losses from municipal utilities and their impacts. *Water International*, v.16, p254-261.
- MYAOKA, S.; FUNABASHI, M. (1984). Optimal control of water distribution system by network flow theory, *IEEE Trans Automatic Control*, AC – v.29, n.40, p303-311.
- PORTO, R. M. (1998). *Hidráulica Básica*. 1.ed. São Carlos. EESC-USP.
- PUDAR, R. S.; LIGGETT, J. A. (1992). Leaks in pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.118, n.7, p1031-1046, July.
- REIS, L. F. R.; PORTO, R. M. (1992). Interpretação Hidráulica do Modelo Jowitt-Xu de Minimização de Perdas por Vazamento I – Análise de Perdas de Carga. *10th Latin American Congress of Hydraulics*, Cartagena – Colombia, p.449-459.
- REIS, L. F. R.; PORTO, R. M. (1992). Interpretação Hidráulica do Modelo Jowitt-Xu de Minimização de Perdas por Vazamento II – Análise de Desempenho das

- Válvulas. *10th American Congress of Hydraulics*, Cartagena - Colombia, p461-470.
- REIS, L. F. R.; PORTO, R. M. (1993). Redução de perdas de água em redes de abastecimento - avaliação da metodologia. *17o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.2 Tomo II, Natal - RN, p3-19, Setembro.
- REIS, L. F. M.; PORTO, R. M. (1995). Computational study of Jowitt-Xu model for leakage control using pressure reducing valves. *IWSA-ASPAC Specialized Conference on Safety of Water Supply in Transmission and Distribution System* – Shanghai, China, p326-336.
- REIS, L. F. R.; PORTO, R. M.; CHAUDHRY, F. H. (1997). Optimal location of control valves in pipe networks by genetic algorithm. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.123, n.6, p.317-326, Nov./December.
- RIGHETTO, A. M.; CARRIJO, I. B. (1989). Dimensionamento ótimo de rede de distribuição de água – análise da variação aleatória da demanda. *8th Brazilian Symposium of Water Resources in Foz do Iguaçu, Brazil, ABRH, Proceedings* v.1, p53-64.
- SANTOS, A. (2000). Estudo das Perdas por Vazamento Aplicado a um Setor da Rede de Abastecimento de Água de São Carlos, SP. *Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP*.
- VAIRAVAMOORTHY, K.; LUMBERS, J. (1998). Leakage reduction in water distribution systems: optimal valve control. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.124, n.11, p1146-1154, November.