

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIEL SANTOS CASAGRANDE

**DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE REDES PREDIAIS DE ÁGUA
UTILIZANDO OS PROGRAMAS EPANET-LENHSNET E EXCEL**

VITÓRIA

2011

GABRIEL SANTOS CASAGRANDE

**DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE REDES PREDIAIS DE ÁGUA UTILIZANDO
OS PROGRAMAS EPANET-LENHSNET E EXCEL**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Jair Casagrande, M.Sc.

VITÓRIA
2011

GABRIEL SANTOS CASAGRANDE

**DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE REDES PREDIAIS DE ÁGUA UTILIZANDO
OS PROGRAMAS EPANET-LENHSNET E EXCEL**

Projeto de Graduação apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em _____ de julho de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Jair Casagrande
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Marcel Olivier Ferreira de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo

M.Sc. Luiz Carlos Salles Rodrigues
Engenheiro Civil

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir chegar até aqui e por estar sempre presente na minha vida. Por me permitir este recomeço, este passo tão importante.

À minha família, por estar presente nos meus momentos de felicidade e tristeza, saúde e doença. Mãe, Pai, Maíra, vocês são fundamentais para mim. Sem vocês eu não teria vencido esta batalha. Ainda darei muito trabalho a vocês.

À Joyce, por ter simplesmente virado a minha vida ao avesso e me ajudar imensamente nesta caminhada. Serei eternamente grato a tudo o que você fez por mim.

Ao meu tio, professor, e orientador Jair, pelo empenho e disponibilidade em auxiliar a execução deste trabalho.

Ao meu cunhado e amigo, Ramon pelas dicas, pelas risadas e piadas que sempre me matam de rir. Espero que esta parceria dure para sempre.

A todos os meus amigos, que me deram tanta força. Tiago, Vinícius, Jana, Marina, pessoal da ambiental... Aprendi com vocês o que significa união. Sentirei muita falta do dia-a-dia com vocês!

Obrigado a todos aqueles que torceram por mim!

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo viabilizar a utilização do modelo EPANET para o dimensionamento de redes prediais de água fria segundo o método estabelecido pela NBR 5626. Este modelo, originalmente criado para sistemas urbanos de abastecimento de água pode ser também, em tese, utilizado para suporte à decisão em projetos de redes prediais. Entretanto, os parâmetros hidráulicos são calculados de acordo com alguns dados fornecidos pelo usuário, como a demanda informada para cada nó da rede, o diâmetro e o comprimento dos tubos. Sabe-se que, ao contrário de um sistema urbano de abastecimento de água, o uso é intermitente e a chance de que todos os aparelhos sanitários estejam sendo utilizados ao mesmo tempo é mínima, exceto em situações especiais, onde o uso simultâneo de diversos aparelhos é possível. Analisado por esse aspecto, o método original utilizado pelo software EPANET, que soma todas as demandas e tende a induzir a um superdimensionamento, pode não ser o mais adequado para redes prediais. É um software validado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), sendo largamente utilizado em projetos de engenharia. Possui ainda uma de interface amigável e código-fonte é aberto, o que permite modificações para adaptar o seu uso às necessidades do usuário. Esta é a grande motivação para o seu uso neste estudo. Neste trabalho, desenvolveu-se uma metodologia que cria demandas fictícias para os nós para que, quando somadas coincidam com os valores previstos pela norma. Foram feitas simulações utilizando o módulo de dimensionamento econômico LENHSNET, e verificou-se que o software não consegue alcançar as condições de contorno de velocidades e pressões mínimas e máximas exigidas pela NBR 5626/96. Para verificar-se a viabilidade do método, uma rede predial foi dimensionada utilizando a forma original do EPANET, pelo método de tentativa e erro.

ABSTRACT

The main objective of this work is to allow designers to use EPANET on building pipe sizing following the Brazilian standards method. EPANET was originally built for urban drink water networks and might be used for building cold water networks as well. This software uses some data informed by the user such as demands at the nodes, pipes diameter and length. Nevertheless, urban networks have some differences in matter of water uses. The water consumption in buildings is intermittent, that is, the pipes shouldn't be sized considering only the characteristic demands of the devices, since it might cause pipes over sizing. The Brazilian standards methodology consider the devices demands as weights that are, in fact, probabilities of simultaneous water uses which are converted in water flows by an empirical formula. In despite of using different concepts for flows calculations, EPANET is a worldwide used software, and it has an open source code, which allows users to modify its code if needed. This is the motivation of using it on this study. In this work it was developed a methodology that creates fictitious demands for the nodes which, when summed, coincide with the real flow calculated by the method stablished by the brazilian standards. It was used an optimal sizing model developed in the Universidade Federal da Paraíba (UFPB) called LENHSNET and the traditional method for the net sizing (trial an error).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ábaco de Moody (adaptado de http://dbpedia.org)	23
Figura 2 - Rotina do LENHSNET (adaptada)	42
Figura 3 - Representatividade das fases do projeto nas patologias de edificações. Franco e Novaes (1997)	43
Figura 4 - Traçado da rede no EPANET	48
Figura 5 – Etapas do projeto	49
Figura 6 - Exemplo de arquivo de rede	50
Figura 7 - Sistema de nomenclatura do EPANET	51
Figura 8 - Método de inserção dos nós	51
Figura 9 - Método das demandas fictícias.....	53
Figura 10 - Painel de edição das propriedades dos nós	54
Figura 11 - Painel de edição das propriedades do trecho	55
Figura 12 - Janela de edição do LENHSNET	57
Figura 13 - Diâmetros e pressões na suíte (ponto crítico da rede).....	62
Figura 14 - Dimensões e pressões no banheiro social e no banheiro de serviço	63
Figura 15 - Dimensões e pressões na cozinha	64
Figura 16 - Dimensões e pressões nos pavimentos inferiores	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Viscosidade cinemática da água (adaptado de Gomes, 2009)	21
Tabela 2 - Rugosidade absoluta (ϵ) adaptado de Gomes, 2009	22
Tabela 3 - Valores do coeficiente de perda de carga singular para diferentes tipos de singularidades.....	24
Tabela 4 - Diâmetros comerciais para PVC rígido	26
Tabela 5 - Pesos relativos dos aparelhos	27
Tabela 6 - Diâmetros padrão por peças de utilização	27
Tabela 7 - Parâmetros de Entrada/Saída dos nós	31
Tabela 8 - Parâmetros de Entrada/Saída das tubulação.....	31
Tabela 9 - Métodos de cálculo do fator de resistência (f)	32
Tabela 10 - Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos pressurizados (Sistema SI)	33
Tabela 11- Coeficientes de perda de carga para tubulações novas.....	33
Tabela 12 - Quantidade de aparelhos da rede	47
Tabela 13 - Dados de entrada para a simulação prévia.....	55
Tabela 14 - Soma das perdas de carga localizadas por trecho.....	56
Tabela 15 - Soma dos pesos por trecho	59
Tabela 16 - Demandas fictícias utilizadas nos nós.....	60
Tabela 17 - Pressões obtidas nas junções da rede.....	60
Tabela 18 - Vazão velocidade e perda de carga nos trechos	61
Tabela 19 - Resultado do dimensionamento	65
Tabela 20 - Custo unitário de tubulação de PVC soldável para água fria	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DAS REDES PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	14
3.2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS	15
3.2.1	<i>Modelos Empíricos</i>	<i>15</i>
3.2.2	<i>Modelos Probabilísticos Fechados</i>	<i>15</i>
3.2.3	<i>Modelos Abertos.....</i>	<i>16</i>
3.2.4	<i>Modelos de Simulação</i>	<i>16</i>
3.3	CONDIÇÕES HIDRÁULICAS PARA O PROJETO DE REDES	16
3.3.1	<i>Pressões Máximas e Mínimas</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Limites de Velocidade.....</i>	<i>17</i>
3.3.3	<i>Diâmetro Mínimo</i>	<i>18</i>
3.3.4	<i>Perdas de Carga ou de Energia</i>	<i>18</i>
3.4	A LEGISLAÇÃO NACIONAL	24
3.4.1	<i>Nota Introdutória.....</i>	<i>24</i>
3.4.2	<i>A Concepção dos Sistemas.....</i>	<i>25</i>
3.4.3	<i>Dimensionamento de Redes de Água Fria</i>	<i>29</i>
3.5	EPANET	30
3.5.1	<i>Modelagem hidráulica.....</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Modelagem de qualidade de água.....</i>	<i>33</i>
3.5.3	<i>Características do EPANET</i>	<i>33</i>

3.5.4	<i>Metodologia para a simulação hidráulica.....</i>	35
3.6	LENHSNET	41
3.7	A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE EDIFICAÇÕES	42
4	MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1	DESENHO DA REDE.....	47
4.2	CRIAÇÃO DE PROGRAMA PARA O DIMENSIONAMENTO;	49
4.2.1	<i>Leitura do arquivo de dados da rede</i>	49
4.2.2	<i>Organização da rede</i>	50
4.3	CÁLCULO DA SOMA DOS PESOS.....	51
4.4	O MÉTODO DAS VAZÕES FICTÍCIAS.....	52
4.5	PREPARAÇÃO PARA A SIMULAÇÃO NO SOFTWARE EPANET-LENHSNET.....	53
4.6	DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO O EXCEL	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	SOMA DOS PESOS E VAZÕES POR TRECHO	59
5.2	DEMANDAS FICTÍCIAS NOS NÓS	59
5.3	RESULTADOS OBTIDOS UTILIZANDO-SE AS DEMANDAS FICTÍCIAS	60
5.3.1	<i>Dimensionamento manual utilizando-se uma planilha em Excel ..</i>	60
5.3.2	<i>Simulações utilizando o módulo LENHSNET</i>	65
6	COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	66
6.1	CONCLUSÕES	66
6.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	66
6.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
7	REFERÊNCIAS	69
8	APÊNDICE.....	71

1 INTRODUÇÃO

O EPANET é um programa de computador criado para sistemas urbanos de abastecimento de água, que tem a capacidade de realizar simulações hidráulicas e de qualidade de água. Criado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), é largamente utilizado em projetos de engenharia em todo o mundo. Seu código fonte é aberto, ou seja, é possível fazer modificações nas suas rotinas, e é possível fazer o download gratuitamente através do site daquela Agência.

O programa possui uma série de funcionalidades, como a possibilidade de utilização de diferentes fórmulas para o cálculo da perda de carga, pode considerar perdas de carga localizadas, realiza simulações com demandas variáveis ao longo do tempo tanques de nível variável, estimativa de gasto energia e custo de bombeamento, dentre outras.

Apesar de ter sido inicialmente criado como ferramenta de pesquisa para o dimensionamento de redes urbanas de distribuição de água, neste trabalho desenvolveu-se uma metodologia para também ser utilizado para suporte à decisão em projetos de redes prediais, desde que sejam feitas algumas modificações quanto à forma com que os dados são informados e/ou tratados.

Isto porque, ao contrário de um sistema urbano de abastecimento de água, o uso de água nos pontos de consumo é intermitente e a probabilidade de que todos os aparelhos sanitários estejam sendo utilizados ao mesmo tempo não é considerada nos casos comuns. Desta forma percebe-se que o método original utilizado pelo software EPANET, que soma todas as demandas diretamente, não é o mais adequado para redes prediais, visto que o seu método de cálculo considera o uso simultâneo de todos os aparelhos da edificação, como se estivessem sendo utilizados. Logicamente, esta metodologia de soma das vazões nominais induz a um superdimensionamento da rede.

É possível estimar a demanda simultânea por teorias probabilísticas e por observações e experiência (empíricas). O método de dimensionamento de

redes prediais de água fria recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelecido pela NBR 5626/98, adota um modelo empírico, atribuindo, ao invés de vazões, pesos para os aparelhos, que somados são convertidos em vazões.

A ABNT estabelece ainda uma série de recomendações em relação aos materiais utilizados em projetos de redes prediais, bem como as condicionantes para o adequado funcionamento do sistema, além dos diâmetros comerciais para as tubulações por meio das NBRs 5626/98, NBR 5648/99 e NBR 5680/77.

Considerando as vazões prováveis fornecidas pelo método, é possível ainda estabelecer o seu diâmetro ótimo. Um modelo desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Hidráulica e Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba chamado LENSNET utiliza o EPANET para as simulações hidráulicas e fornece os diâmetros econômicos baseando-se na redução de custo em relação à perda de carga do sistema. O mesmo laboratório forneceu uma versão do EPANET traduzida para o português com o módulo LENHNET acoplado, chamado EPANET 2.0 Brasil, também disponibilizado download no site do laboratório.

Neste cenário, este trabalho visa viabilizar a utilização do modelo EPANET-LENHNET para o dimensionamento econômico de redes prediais de água fria segundo o método estabelecido pela NBR 5626, criando uma planilha no programa EXCEL para gerar os dados de entrada do modelo, para realizar os cálculos e comparações de resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Viabilizar a utilização do modelo EPANET-LENHSNET para o dimensionamento econômico de redes prediais de água fria segundo o método estabelecido pela NBR 5626/98 utilizando uma planilha em Excel.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o dimensionamento por meio do método convencional, estabelecido pela NBR 5626
- Realizar o dimensionamento econômico utilizando o software EPANET-LENHSNET a partir das vazões fictícias criadas

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Contextualização histórica das redes prediais de abastecimento de água

As instalações sanitárias segundo os padrões em que se encontram hoje são relativamente recentes. Entretanto, o cuidado com o corpo e os conceitos de saneamento já estavam vinculados à higiene e à saúde, juntamente com o conforto em sociedades antigas, segundo Landi (1993). O mesmo autor cita ainda que, através de escavações, foi possível perceber que em algumas cidades da Índia, há cerca de seis mil anos, já existiam sistemas de abastecimento de água. Na babilônia, havia rede de dutos para o escoamento de esgotos e existe a possibilidade da existência de sistemas de recalque e irrigação. Já no Egito, foram encontrados tubos de cobre para a coleta dos esgotos dos banheiros do palácio do Faraó. Cada apartamento tinha o seu banheiro. Apesar de os projetos serem de elevado padrão, eram reservados aos reis, sacerdotes e à corte. Por um longo tempo, a presença de aparelhos sanitários e rede de esgoto foram objetos de status, acessíveis somente para as classes mais abastadas.

Os principais materiais utilizados para condutos forçados eram o cobre e o chumbo.

Com o início da Idade Média, assim como em quase todos os campos da ciência, a cultura dos banhos e da higiene foi mudada drasticamente, causando um grande atraso na evolução dos sistemas hidráulicos. O consumo de água, que na Roma antiga, que era de mais de mil litros por pessoa por dia, passou a ser de 1 L/dia. A média de banhos de uma pessoa era de 1 a 3 por ano. Houve ainda um retrocesso sob o aspecto sanitário. As doenças passaram a ser atribuídas a entidades místicas e os sistemas de esgotamento sanitário simplesmente não existiam. Os dejetos eram simplesmente jogados nas ruas, o que viabilizou uma grande proliferação de pragas e doenças (Landi, 1993).

Com a chegada do século XIX, ocorreu uma grande evolução dos vasos sanitários, presença de lavatórios nas edificações, bem como o surgimento dos chuveiros

No século XX, as pesquisas sobre sistemas hidráulicos tiveram notável desenvolvimento nos períodos pós-guerra devido às altas taxas de reurbanização e após a criação do Conselho Internacional de Construções (CIB). Já a partir da década de 70, começam a ganhar espaço os modelos matemáticos, a partir do advento dos computadores, sempre com crescente capacidade de processamento. Depois, nos anos 80, surgem as ferramentas de CAD e o seu emprego em instalações prediais e em economia de água, e o crescimento dos métodos probabilísticos de cálculos de vazões, em contraposição ao método de Hunter, contestado devido ao superdimensionamento que causava (Landi, 1993).

3.2 Evolução histórica do dimensionamento de sistemas hidráulicos

Segundo Petrucci e Gonçalves (2002), os projetos de sistemas hidráulicos, em sua evolução histórica, podem ser agrupados sob quatro fases:

- 1- Aplicação de evidências empíricas
- 2- Modelos probabilísticos fechados
- 3- Modelos probabilísticos abertos
- 4- Modelos de simulação

3.2.1 Modelos Empíricos

São aqueles baseados na observação dos fenômenos aplicáveis à engenharia, verificando-se o que funciona ou não para casos específicos. A partir destas observações, são desenvolvidos meios para extrapolar ou replicar os resultados dos experimentos para outras situações com a máxima precisão possível. Nos momentos em que o cenário é muito diferente daquele realizado nos experimentos são evidenciadas as falhas destes modelos (Petrucci e Gonçalves , 2002).

3.2.2 Modelos Probabilísticos Fechados

Segundo Petrucci e Gonçalves (2002), os primeiros modelos probabilísticos fechados surgiram com Timmis (1922) e se estenderam até meados da década de 40, com Gallizio (1944).

Neste grupo de modelos, segundo o mesmo autor, “se incluem aqueles que, mesmo tendo alguns parâmetros variáveis, utilizam ao menos um destes de forma fixa, implícita, e muitas vezes de tal forma encadeado no modelo que não há como alterá-lo, a não ser pela reconstrução do método”.

Cita ainda que neste grupo se inclui o método da NBR 5626/98 (ABNT, 1998), que “trata de forma idêntica cada aparelho”, ou seja, aspectos como a disponibilidade de pressão, característica do uso e material do aparelho, não são considerados, independentemente de seus valores.

3.2.3 Modelos Abertos

Os modelos abertos são aqueles que têm como característica principal a possibilidade de caracterização do comportamento do sistema. Desta forma, é um modelo de caráter geral no que diz respeito às variáveis intervenientes, porém permitindo representar as particularidades do projeto, como por exemplo o tipo de aparelho, o tipo da edificação, hábitos dos usuários, dentre outras características.(Gonçalves, 1986 apud Petrucci e Gonçalves, 2002).

3.2.4 Modelos de Simulação

Mais elaborados, os modelos de simulação permitem simular as características do escoamento, possibilitando o dimensionamento dos trechos da tubulação por meio dos conhecimentos de hidráulica disponíveis.

O EPANET, bem como algoritmo LENHSNET podem ser incluídos neste grupo.

3.3 Condições Hidráulicas Para o Projeto de Redes

3.3.1 Pressões Máximas e Mínimas

As pressões hidráulicas no sistema têm uma grande importância na qualidade deste, bem como o seu custo de implantação e instalação.

Segundo Gomes (2009), para que a água chegue aos pontos de consumo preservando a vazão adequada é fundamental estipular um limite inferior. Mas o autor defende que também é necessário estabelecer um limite máximo, tendo em vista que a pressão excessiva pode provocar:

- a) Aumento do custo energético.
- b) Aumento do custo da tubulação, por terem que suportar maiores pressões nominais
- c) Maior chance de rupturas nas tubulações
- d) Crescimento das perdas reais de água, pois o aumento das pressões implica em acréscimo na vazão das possíveis fissuras
- e) Consumo excessivo de água nos pontos de uso devido ao aumento da vazão

3.3.2 Limites de Velocidade

Segundo Gomes (2009), os limites de velocidade máxima admissíveis nos condutos sob pressão são estabelecidos com o intuito de compatibilizar o custo da tubulação com a segurança das redes hidráulicas.

Quanto maior for a velocidade para uma mesma vazão, menor deverá ser o diâmetro do tubo. Entretanto, apesar de a redução do seu diâmetro reduzir em tese o seu custo, isto pode aumentar significativamente a perda de carga do sistema, além de aumentar a suscetibilidade à ocorrência de golpes de aríete, vibrações e desgaste de peças especiais e de apoio da rede, prejudicando, assim, a estrutura hidráulica.

Segundo o mesmo autor, as maiores chances de ocorrerem golpes de aríete se concentram nos trechos finais das redes, onde se situam as tubulações de menores diâmetros.

São exemplos de situações que causam este fenômeno a abertura ou fechamento brusco de válvulas (do vaso sanitário, por exemplo) ou registros

3.3.3 Diâmetro Mínimo

O diâmetro mínimo para projetos de redes prediais de água fria é o menor diâmetro comercial disponível no mercado e depende do material utilizado, sendo no caso de PVC soldável: 20 mm (1/2").

3.3.4 Perdas de Carga ou de Energia

Durante o escoamento de um fluido, parte da sua energia se dissipa na forma de calor. Isto se deve ao efeito da viscosidade, juntamente com a turbulência e os choques entre as suas moléculas (Gomes ,2009). Pela condição de não-deslizamento, sua velocidade relativa na parede deve ser igual a zero. Desta forma, ocorre um diferencial de velocidades entre as partículas imediatamente adjacentes à parede e as partículas vizinhas, que por sua vez possuem velocidade inferior à camada mais interna. Assim, este diferencial se propaga por toda a massa fluida em escoamento, dissipando a energia de escoamento por meio das tensões tangenciais por ele geradas. (Fox et al, 2006)

Esta dissipação de energia é denominada perda de carga, ou perda de energia por atrito.

Em um escoamento uniforme e permanente de um fluido em um conduto, a perda de carga existente entre duas seções (h_f) é proporcional à distância entre elas (L) e a partir daí vem o conceito de perda de carga unitária(j), que é a perda de carga total em relação ao comprimento do trecho.

A perda de carga por atrito depende da geometria do conduto. No caso de condutos circulares, os termos relacionados à geometria são o diâmetro(D) e a rugosidade absoluta (ϵ).

As perdas podem ser divididas em:

- a) Contínuas
- b) Localizadas

3.3.4.1 Perdas de Carga Contínuas

Segundo Gomes(2009), as perdas de carga em escoamentos permanentes são determinadas por meio de fórmulas empíricas, e cabe ao projetista escolher a que achar mais conveniente para o seu caso. A escolha da fórmula depende da semelhança do sistema hidráulico em questão e as condições hidráulicas utilizadas para o desenvolvimento da fórmula

Existem várias fórmulas empíricas, dentre as quais se destacam as de Chezy-Manning, Darcy-Weisbach, Hazen-Williams, Flamant, Scimeni e Scobey, além do Ábaco de Moody.

O EPANET se utiliza das três primeiras metodologias, além do Ábaco de Moody para estimar as perdas de carga. Abaixo são explicadas sucintamente abaixo:

Fórmula de Chezy-Manning

A fórmula de Chezy-Manning é utilizada usualmente em escoamentos em superfície livre.

$$v = \left(\frac{R_h^{2/3} \times I^{1/2}}{n} \right) \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde

I = declividade (%)

R_h = Raio hidráulico (m)

v = velocidade

n = coeficiente de rugosidade

Fórmula de Hazen-Williams

$$h_f = 10,68 \frac{L}{D^{4,87}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \quad \text{Equação 3.2}$$

onde:

h_f = perda de carga ao longo do conduto, em m.

Q = vazão, em m³/s.

L = comprimento da tubulação, em m.

D = diâmetro interno da tubulação, em m.

C = coeficiente de rugosidade

A fórmula de Hazen-Williams é uma das mais utilizadas para o cálculo da perda de carga. Não pode ser utilizada para outros líquidos, além da água, e foi inicialmente desenvolvida apenas para escoamento turbulento.

Esta fórmula pode ser utilizada para o cálculo de perdas contínuas, para tubulações de água e esgoto. Segundo Gomes(2009), geralmente é utilizada para diâmetros superiores a 50 mm.

Fórmula de Darcy-Weisbach

Gomes(2009) considera que a fórmula de Darcy-Weisbach é a mais aconselhável para a determinação de perdas ao longo de condutos, já que ela pode ser empregada para qualquer tipo de líquido, materiais e estado das tubulações, desde que seja determinado corretamente o fator de atrito “f”.

A fórmula é dada por:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Equação 3.3

onde

h_f = perda de carga ao longo do conduto, em m.

f = fator de atrito

L = comprimento da tubulação, em m.

D = diâmetro interno da tubulação, em m.

V = velocidade do escoamento, em m/s.

g = aceleração da gravidade, em m/s²

É possível expressá-la ainda em função da vazão:

$$h_f = \frac{8f}{\pi^2 g} L \frac{Q^2}{D^5}$$

Equação 3.4

Três maneiras de se obter o valor do coeficiente de atrito utilizadas no EPANET são as fórmulas de Colebrook e White (regime de escoamento turbulento, a fórmula de Swamee e Jain ($10^3 \leq Re \leq 10^8$ e $10^{-6} \leq \varepsilon/D \leq 10^{-2}$), e a de Hagen-Poiseuille.

Fórmula de Colebrook e White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Equação 3.5

onde Re é o número de Reynolds, dado por

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Equação 3.6

sendo que:

V = velocidade média do escoamento (m/s)

D = diâmetro (m)

ν = viscosidade cinemática (m²/s).

A Tabela 1 informa a viscosidade cinemática da água para valores de temperatura entre 0 e 38°C. Para calcular o valor de f , é necessária a utilização de um processo iterativo, já que não pode ser obtido diretamente. O termo ε/D , por sua vez, representa a rugosidade relativa do tubo.

Tabela 1 - Viscosidade cinemática da água (adaptado de Gomes, 2009)

Temperatura(°C)	Viscosidade cinemática(m ² /s)	Temperatura(°C)	Viscosidade cinemática(m ² /s)
0	0,000001792	20	0,000001007
2	0,000001673	22	0,000000960
4	0,000001567	24	0,000000917
6	0,000001473	26	0,000000876
8	0,000001386	28	0,000000839
10	0,000001308	30	0,000000804

Tabela 2 (cont)

12	0,000001237	32	0,000000772
14	0,000001172	34	0,000000741
16	0,00000110	36	0,000000713
18	0,000001059	38	0,000000687

Outras formas de calcular o fator de atrito utilizadas pelo EPANET são as fórmulas de Swamme e Jain, de Hagen-Poiseuille o ábaco de Moody (Figura 1):

Fórmula de Swamee e Jain

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{Equação 3.7}$$

onde

ε = rugosidade absoluta do tubo (m)

D = diâmetro (m)

Re = número de Reynolds

A tabela 3 informa as rugosidades absolutas para tubos novos ou velhos para diferentes materiais.

Tabela 3 - Rugosidade absoluta (ε) adaptado de Gomes, 2009

Material	Tubos novos	Tubos velhos
Aço galvanizado	0,015 a 0,02	0,46
Aço rebitado	0,10 a 0,30	0,60
Aço revestido	0,10 a 0,30	0,05 a 0,12
Aço soldado	0,004 a 0,006	0,24
Chumbo	Lisos	Lisos
Cimento-amianto	0,0025	
Cobre ou latão	Lisos	Lisos
Concreto bem acabado	0,3 a 0,10	
Concreto ordinário	0,10 a 0,20	
Ferro forjado	0,004 a 0,006	0,24
Ferro fundido	0,025 a 0,050	0,30 a 0,50
Ferro fundido com revestimento interno asfáltico	0,012	0,21
Manilhas cerâmicas	0,06	0,30
Plástico	0,001	0,001

Fórmula de Hagen-Poiseuille

No caso de um escoamento laminar (Reynolds inferiores a 2000), o coeficiente de atrito pode ser calculado somente com base no Número de Reynolds, segundo a fórmula

$$f = \frac{64}{Re}$$

Equação 3.8

Ábaco de Moody

Relaciona o fator de atrito com a rugosidade relativa do tubo (ε/D) e o número de Reynolds por meio de dados obtidos experimentalmente.

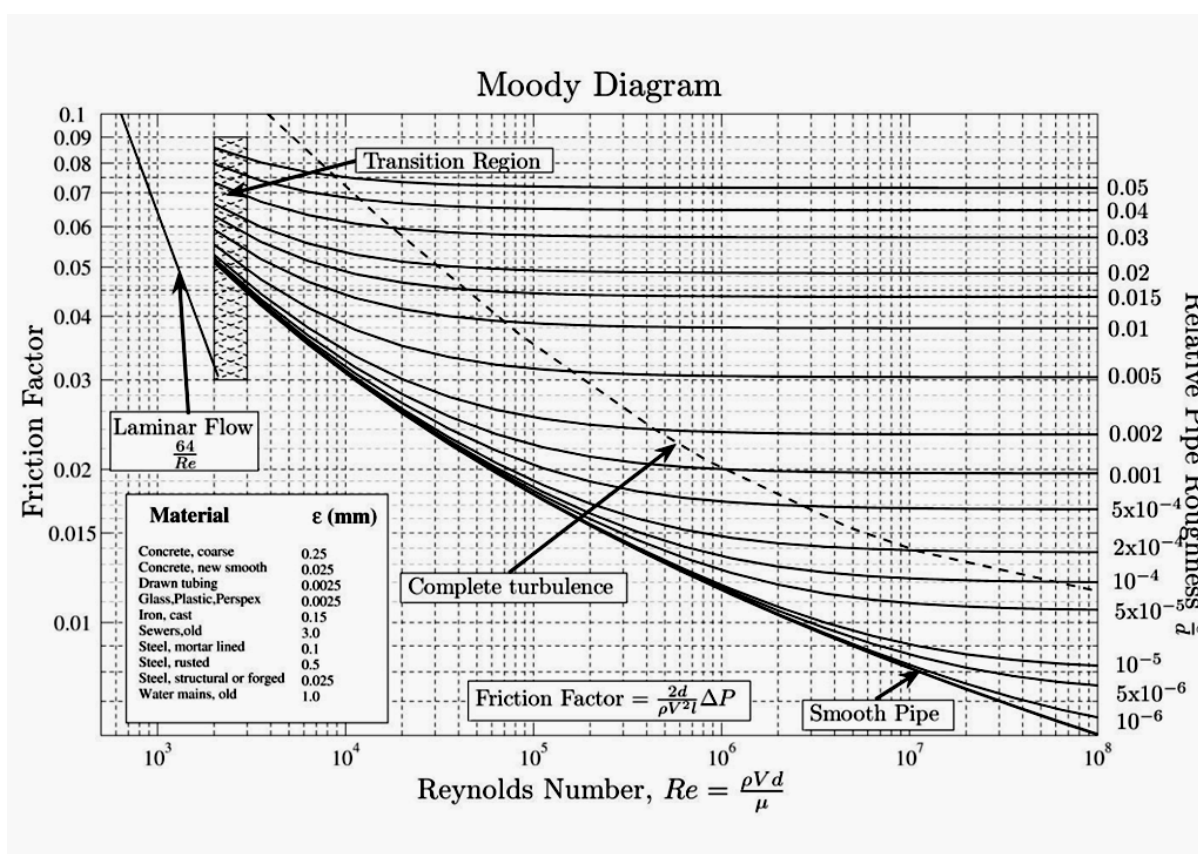


Figura 1 - Ábaco de Moody (adaptado de <http://dbpedia.org>)

3.3.4.2 Perdas de carga localizadas

As perdas de carga singulares (também designadas perdas de carga localizadas) são causadas pelo aumento da turbulência devido à existência de curvas,

alargamentos e estreitamentos. A importância de incluir tais perdas na simulação depende da topologia da rede e do grau de exatidão pretendido. Estas podem ser consideradas associando a tubulação um coeficiente de perda de carga singular. A perda de carga singular é traduzida pelo produto deste coeficiente pela altura cinética do escoamento, de acordo com a seguinte expressão:

$$h_L = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{Equação 3.9}$$

onde:

K = coeficiente de perda de carga singular

V = velocidade do escoamento (comprimento/tempo)

g = aceleração da gravidade (comprimento/tempo²).

Tabela 4 - Valores do coeficiente de perda de carga singular para diferentes tipos de singularidades

Singularidade	Coeficiente de perda de carga
Válvula de globo, abertura completa	10,0
Válvula de ângulo, abertura completa	5,0
Válvula de retenção, abertura completa	2,5
Válvula de cinha, abertura completa	0,2
Curva a 90° (raio pequeno)	0,9
Curva a 90° (raio médio)	0,8
Curva a 90° (raio grande)	0,6
Curva a 45°	0,4
Curva de Retorno	2,2
Tê Standard – escoamento em linha	0,6
Tê Standard – escoamento linha – ramal	1,8
Entrada em aresta viva (Reservatório – tubulação)	0,5
Entrada em aresta viva (Tubulação – reservatório)	1,0

Fonte: LENHS, 2009

3.4 A Legislação Nacional

3.4.1 Nota Introdutória

A legislação brasileira possui uma série de normas que dizem respeito ao dimensionamento de redes prediais de água fria, responsáveis por determinar desde os requisitos dos materiais a serem utilizados até a recomendação de uma metodologia de dimensionamento da tubulação.

Dentre estas normas, as mais importantes durante o desenvolvimento deste trabalho foram

a) NBR 5626 - Instalação predial de água fria

Estabelece exigências e recomendações relativas ao projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria, fundamentadas no respeito ao bom desempenho e garantias sanitárias. É aplicável a qualquer tipo de edifício e prevê a utilização de água potável e não potável.

b) NBR 5648 - Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa, com junta soldável

Esta Norma fixa as condições exigíveis para tubos e conexões de PVC 6,3, com juntas soldáveis, para o emprego em sistemas prediais de água fria, com pressão de serviço de 750 kPa à temperatura e 20°C, sendo 500 kPa de pressão estática disponível máxima e 250 kPa de sobrepressão máxima.

c) NBR 5680 - Dimensões de tubos de PVC rígido

Esta Norma padroniza diâmetros externos, comprimentos e respectivas tolerâncias, e fixa séries de tubos de PVC (cloreto de polivinila) rígido, de seção circular, fabricados por extrusão, que devem ser obedecidos em todas as normas tipo especificação pertinentes.

3.4.2 A Concepção dos Sistemas

A concepção de um sistema hidráulico leva em consideração análise dos seguintes aspectos:

3.4.2.1 - Velocidade máxima da água (NBR 5626/98)

- 3 m/s em qualquer trecho da tubulação;

3.4.2.2 - Pressão mínima em condições dinâmicas (NBR 5626/98)

- Pontos de utilização: 10 kPa
- Rede de distribuição: 5 kPa
- Caixa de descarga: 5 kPa
- Válvula de descarga: 15 kPa

3.4.2.3 Pressão máxima em condições estáticas (NBR 5626/98)

- Pontos de utilização: 400 kPa

3.4.2.4 Diâmetros comerciais estabelecidos pela legislação (NBR 5648/99)

Os diâmetros para tubos de PVC rígido são apresentados na tabela abaixo, que contém dados de diâmetro externo, interno e espessura da parede para cada diâmetro nominal

Tabela 5 - Diâmetros comerciais para PVC rígido

Diâmetro Nominal (DN)	Diâmetro Externo (DE)	Espessura da parede (e)	Diâmetro Interno (DI)
15	20	1,5	17,0
20	25	1,7	21,6
25	32	2,1	27,8
32	40	2,4	35,2
40	50	3,0	44
50	60	3,3	53,4
65	75	4,2	66,6
75	85	4,7	75,6
100	110	6,1	97,8

Fonte: ABNT (1997)

3.4.2.5 Pesos relativos nos pontos de utilização

A Tabela 5 informa os pesos relativos e as vazões características de cada aparelho utilizado em redes prediais de água.

Tabela 6 - Pesos relativos dos aparelhos

Aparelho Sanitário		Peça de Utilização	Vazão de Projeto (L/s)	Peso relativo
Bacia sanitária		Caixa de Descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,7	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,3	1
Bebedouro		Registro de pressão	0,1	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,1	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,2	0,4
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,1	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,3	1
Lavatório		torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,5	2,8
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15	0,3
Pia		torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,1	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de Jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,25	0,4

Fonte: ABNT (1998)

3.4.2.6 Diâmetros padronizados

Cada sub-ramal da rede possui um diâmetro comercial padronizado de acordo com o aparelho instalado no ponto de consumo. Estes diâmetros são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 7 - Diâmetros padrão por peças de utilização

Peças de utilização	DE (mm)	Diâmetro de referência (pol.)
Aquecedor de alta pressão	20	½
Aquecedor de baixa pressão	25	¾
Bacia sanitária com caixa de descarga	20	½
Bacia sanitária com válvula de descarga de 1¼	50	1½
Bacia sanitária com válvula de descarga de 1½	20	1½

Tabela 6 (cont.)

Banheira	20	1½
Bidê	20	1½
Chuveiro	20	1½
Filtro de pressão	20	1½
Lavatório	20	1½
Máquina de lavar pratos	25	¾
Mictória de descarga contínua por metro ou aparelho	20	1½
Pia de cozinha	20	1½
Tanque de lavar roupas	20	1½

Fonte: Catálogo técnico Tigre (2005)

3.4.2.7 Materiais

A NBR 5626/98 abrange a utilização de diferentes tipos de materiais em redes prediais de água fria, de forma que cada um deles possui uma norma específica regulamentadora.

Os tipos podem ser divididos em três grupos:

- a) Metálicos
- b) Plásticos
- c) Outros

Materiais metálicos

- Aço-carbono galvanizado (zincado por imersão a quente)
- Cobre
- Chumbo (não pode ser utilizado para instalações prediais de água fria)
- Ferro fundido galvanizado
- Liga de cobre

Materiais Plásticos

- Poliéster reforçado com fibra de vidro
- Polipropileno
- PVC rígido

Outros Materiais

- Cimento amianto ou fibrocimento
- Impermeabilizantes
- Revestimentos eletrolíticos

3.4.3 Dimensionamento de Redes de Água Fria

Existem várias metodologias disponíveis para o dimensionamento de redes. A forma mais óbvia para o cálculo das vazões nos dutos seria soma das demandas, porém no caso de redes prediais isto pode levar a um superdimensionamento, levando-se em consideração que a probabilidade de uso de vários aparelhos simultaneamente na rede é pequena.

Visando a economia, foram criados métodos que consideram a teoria das probabilidades e métodos empíricos, ou seja, baseados na experiência acumulada dos projetistas (NBR 5626). O método utilizado pela norma brasileira é um modelo empírico denominado “método de pesos relativos”.

Os pesos relativos são definidos em função da vazão de projeto para cada peça de utilização (ver Tabela 6), e após serem somados são, convertidos na demanda total simultânea do grupo. A fórmula de cálculo das demandas é dada por:

$$Q = 0,3\sqrt{\Sigma P} \quad \text{Equação 3.10}$$

onde:

Q é a vazão estimada na seção considerada, em litros por segundo;

ΣP é a soma dos pesos relativos de todas as peças alimentadas pela tubulação considerada;

Modificando a equação para a vazão em m^3/s ,

$$Q = \frac{0,3\sqrt{\Sigma P}}{1000} \quad \text{Equação 3.11}$$

De posse da vazão, é possível chegar ao diâmetro necessário, fixando-se a velocidade em um valor estabelecido, pois

$$Q = v \times A \quad \text{Equação 3.12}$$

onde v é a velocidade do escoamento e A é a área da seção.

A área da seção circular, por sua vez é dada por

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Equação 3.13

onde D é o diâmetro da seção. Assim,

$$Q = \frac{0,3\sqrt{\Sigma P}}{1000}$$

Equação 3.14

$$v \times A = \frac{0,3\sqrt{\Sigma P}}{1000}$$

Equação 3.15

$$v \times \frac{\pi D^2}{4} = \frac{0,3\sqrt{\Sigma P}}{1000}$$

Equação 3.16

$$D = \sqrt{\frac{1,2\sqrt{\Sigma P}}{1000 \times v \times \pi}}$$

Equação 3.17

3.5 EPANET

O EPANET é um software que realiza simulações hidráulicas e de qualidade de água em redes pressurizadas, considerando os seus elementos, como tubos, conexões, bombas, válvulas, tanques e reservatórios. O programa foi criado com o intuito de simular o movimento e o destino dos constituintes em redes de distribuição de água.

É possível obter por meio de suas simulações os valores da vazão em cada tubulação, a pressão em cada nó, a altura da água em cada reservatório de nível variável, bem como a concentração das espécies químicas durante o período de simulação.

3.5.1 Modelagem hidráulica

O programa possui uma série de funcionalidades para a realização de simulações efetivas de qualidade de água nas redes. Algumas delas são:

- Tamanho ilimitado da rede analisada

- Calcula a perda de carga usando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning
- Inclui perdas de carga localizadas
- Bombas com velocidade constante ou variável
- Calcula o custo energético do bombeamento
- Modela vários tipos de válvulas
- Permite que o tanque tenha qualquer forma
- Considera múltiplas categorias de demandas para os nós, que podem variar com o tempo
- Modela escoamentos dependentes de pressão

Os parâmetros de entrada e saída necessários para a utilização do EPANET são apresentados, respectivamente, pelas tabelas 7 e 8.

Tabela 8 - Parâmetros de Entrada/Saída dos nós

Entrada	Saída
• Cota acima de um determinado nível de referência • Consumo base • Qualidade inicial de água	• Carga hidraulica total (nível de água no caso de Reservatórios de nível fixo e Reservatórios de Nível Variável) • Pressao (altura piezometrica) • Qualidade da agua

Tabela 9 - Parâmetros de Entrada/Saída das tubulação

Entrada	Saída
• Nó inicial e nó final • Diâmetro • Comprimento • Coeficiente de rugosidade • Estado (Aberto, fechado ou contendo uma válvula de retenção)	• Vazao • Velocidade • Perda de carga (por 1000 metros (ou pes) de tubulacao) • Fator de resistencia ou fator de Darcy-Weisbach • Valor medio da taxa de reacao para o parametro de qualidade da agua simulado (ao longo da tubulacao) • Concentracao media do parametro de

qualidade da água simulado (ao longo da tubulação).

3.5.1.1 Perda hidráulica distribuída

As fórmulas referidas anteriormente baseiam-se na seguinte expressão, para calcular a perda de carga contínua entre o no inicial e final da tubulação:

$$h_l = A \times q^B \quad \text{Equação 3.18}$$

Onde h_l é a perda de carga por unidade de comprimento, q é a vazão, A é o termo de perda de carga e B é o expoente da vazão.

Caso seja utilizada a fórmula de Darcy-Weisbach, são definidos diferentes métodos para o cálculo do fator de resistência (f), de acordo com o regime de escoamento. A relação entre estas e os números de Reynolds é apresentada na Tabela 10.

Na Tabela 11 são apresentadas as variáveis utilizadas na Equação 3.18 de acordo com a metodologia de cálculo da perda de carga adotada, considerando a tubulação nova. Sabe-se, todavia, que a idade da tubulação têm influência direta na modificação dos valores destes coeficientes.

Tabela 10 - Métodos de cálculo do fator de resistência (f)

Regime de Escoamento	Metodologia
Regime laminar ($Re < 2000$)	A fórmula de Hagen-Poiseuille
Turbulento de transição ($2000 < Re < 4000$)	Interpolacao cúbica a partir do ábaco de Moody
Turbulento rugoso ($Re > 4000$)	A fórmula de Swamee e Jain, como aproximacao da fórmula de Colebrook-White

Tabela 11 - Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos pressurizados (Sistema SI)

Fórmula	Termo de Perda de Carga	Expoente da Vazão
Hazen-Williams	$10.68.C^{-1.852}.d^{-4.871}.L$	1.852
Darcy – Weisbach	$0.0827.f(\epsilon,d,q).d^{-5}.L$	2
Chezy-Manning	$1.29 n^2.d^{-5.33}.L$	2

Notas:

C = coeficiente da fórmula de Hazen-Williams

ϵ = rugosidade absoluta (ou rugosidade de Darcy-Weismach (mm)

f = fator de Darcy-Weisbach (depende de ϵ , d e q)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

d = diâmetro da tubulação

L = comprimento da tubulação (m)

q = vazão (m³/s)

Tabela 12- Coeficientes de perda de carga para tubulações novas

Material	C, Hazen-Williams (adimensional)	ϵ , Darcy-Weisbach (mm)	n, Manning (adimensional)
Ferro Fundido	130-140	0,25	0,012 – 0,015
Concreto	120-140	0,3-3	0,012 – 0,017
Ferro Galvanizado	120	0,15	0,015 – 0,017
Plástico	140-150	0,0015	0,011 – 0,015
Aço	140-150	0,03	0,015 – 0,017
“Grés”	110	0,3	0,013 – 0,015

Fonte: LENHS, 2009

3.5.2 Modelagem de qualidade de água

Através da utilização de vários recursos de modelagem, o EPANET é capaz de estudar fenômenos como:

- Mistura de água de diferentes fontes
- Idade da água ao longo do sistema
- Perda dos residuais de cloro
- Evolução da desinfecção por produtos
- Acompanhamento da propagação de contaminantes na rede

3.5.3 Características do EPANET

Como já foi mencionado nas seções anteriores, o EPANET não foi criado para a utilização em redes de abastecimento prediais, sendo o seu objetivo principal as

redes públicas de abastecimento de água. Entretanto possui recursos muito avançados no que diz respeito à modelagem de qualidade da água.

Suas características principais são:

a) Baixo Custo

É um software de grande confiabilidade conhecido e utilizado mundialmente, sendo disponibilizado gratuitamente pela EPA.

b) Código-fonte aberto

Seu código-fonte é totalmente aberto, seja para a interface gráfica ou para o modelo matemático propriamente dito. Isto permite que o usuário realize modificações no programa para que ele atenda a suas eventuais necessidades, além de poder compilá-lo para a utilização em outros sistemas operacionais. Toda esta versatilidade agrega ainda mais valor ao software.

c) Modelagem hidráulica e de qualidade da água.

Ao contrário dos softwares existentes no mercado, cujos focos estão na geração de plantas e perspectivas, o EPANET é voltado para a modelagem da dispersão de constituintes na rede como, por exemplo, a concentração de cloro residual. Isto permite que haja pesquisas científicas neste sentido em redes prediais de abastecimento.

d) Interação com o programas de CAD.

Apesar conter algumas limitações, possui um sistema relativamente eficiente de importação e exportação de desenho da rede de programas de desenho como o AutoCAD. Este recurso é de grande utilidade para projetistas que podem apenas exportar o traçado da rede e realizar as simulações no EPANET.

É possível citar como limitações para a utilização do EPANET em redes prediais:

a) Traçado da rede

A rede só pode ser desenhada em 2D. Isto não impede o desenho fiel da rede, entretanto são necessárias algumas adaptações, que nem sempre deixam claro para o projetista qual é o real traçado da rede. Desta forma, pode haver alguma dificuldade durante a interação com os programas de CAD.

b) Não possui um banco de dados dos aparelhos, bem como as suas características.

c) Determina a vazão do trecho através da soma das vazões dos trechos à montante

No método dos pesos, utilizado na norma brasileira, as vazões, e conseqüentemente os diâmetros, são calculados de forma indireta através de pesos atribuídos empiricamente às peças de utilização na rede.

3.5.4 Metodologia para a simulação hidráulica

O EPANET, em suas rotinas de cálculos, resolve as equações da continuidade e da conservação de energia e a relação entre a vazão e a perda de carga, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede em um dado instante.

Para tal, utiliza um Método Híbrido Nó-Malha, desenvolvido por Todini e Pilati (1987), que foi escolhido devido à sua simplicidade.

Considerando uma rede com N nos e NF nos com cota piezométrica fixa (RNVs e RNFs), a relação vazão-perda de carga numa tubulação entre os nos i e j pode ser traduzida pela seguinte expressão:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad \text{Equação 3.19}$$

Onde:

H = cota piezométrica no nó

h = perda de carga total

r = termo de perda de carga

Q = vazão

n = expoente da vazão

m = coeficiente de perda de carga localizada.

O valor do termo de perda de carga depende da formula de resistência adotada (ver adiante). Para bombas, a parcela da perda de carga (valor negativo que representa a altura de elevação) pode ser representada pela seguinte lei:

$$h_{ij} = -w^2(h_0 - r(Q_{ij}/w)^n) \quad \text{Equação 3.20}$$

onde:

h_0 = altura de elevação para o ponto de funcionamento de vazão nula

ω = regulação de velocidade

r e n são coeficientes da curva da bomba.

O segundo conjunto de equações que devem ser especificado refere-se a conservação das vazões nos nós:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{Equação 3.21}$$

para $i = 1, \dots, N$

onde:

D_i é o consumo no nó “i” e, por convenção, a vazão que chega ao nó é positiva. Assim, conhecendo a cota piezométrica em determinados nós (nos de cota piezométrica fixa), pretende-se obter os valores de cota piezométrica, H_i , e de vazão, Q_{ij} , na rede que satisfaçam as equações Equação 3.19 e Equação 3.21.

O Método do Gradiente arbitra uma primeira distribuição de vazões nas tubulações que não tem necessariamente que satisfazer as equações de continuidade nos nós.

Em cada iteração do método, novas cotas piezométricas são obtidas resolvendo a seguinte matriz:

$$A * H = F$$

Equação 3.22

onde:

A = matriz Jacobiana de (N x N)

H = vetor de incógnitas em termos de cota piezométrica (N x 1)

F = vetor dos termos do lado direito da equação (N x 1).

Os elementos da diagonal da matriz Jacobiana são:

$$A_{ij} = \sum_j p_{ij}$$

Equação 3.23

Enquanto que os elementos não nulos fora da diagonal são:

$$A_{ij} = -p_{ij}$$

Equação 3.24

Onde:

p_{ij} = inverso da derivada da perda de carga total no trecho entre os nos i e j em relação a vazão.

Para tubulações:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

Equação 3.25

Enquanto para bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{nw^2r(Q_{ij}/w)^{n-1}}$$

Equação 3.26

Cada termo do lado direito da matriz é composto por uma parcela referente ao balanço de vazão no nó a qual é adicionado um fator de correção de vazão:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_j \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f \quad \text{Equação 3.27}$$

Sendo o último termo aplicável a qualquer trecho que ligue um nó i a um nó f de cota piezométrica fixa e o fator de correção de vazão, y_{ij} , é dado pela seguinte expressão para tubulações:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r |Q_{ij}|^2 + m |Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij}) \quad \text{Equação 3.28}$$

E para bombas:

$$y_{ij} = -p_{ij} w^2 \left(h_0 - r(Q_{ij} - w)^2 \right) \quad \text{Equação 3.29}$$

onde:

$\text{sgn}(x)$ é 1 se $x > 0$ e -1 caso contrário. Sendo que Q_{ij} é sempre positivo para bombas.

Após terem sido calculadas as cotas piezométricas, resolvendo a Equação 3.22 as novas vazões podem ser obtidas de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left(y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j) \right) \quad \text{Equação 3.30}$$

Se a soma de todas as variações de vazão (em valor absoluto) relativamente a vazão total em todos os trechos for superior a tolerância especificada (p.ex., 0.001), as equações Equação 3.22 e Equação 3.30 serão resolvidas novamente. A nova vazão obtida a partir da equação 3.30 satisfaz o princípio da continuidade da vazão nos nós, após a 1ª iteração.

O método implementado no EPANET utiliza a seguinte metodologia:

1. O sistema linear de equações traduzido pela equação Equação 3.22 e resolvido utilizando o *método de matrizes esparsas* baseado na reordenação dos nós (George e Liu, 1981). Após reordenação dos nós, para facilitar o preenchimento da matriz A, uma fatorização simbólica é efetuada de forma que apenas os elementos não nulos de A sejam armazenados e operados em memória. Para simulações dinâmicas, esta reordenação e fatorização são efetuadas apenas uma vez, no início da simulação.
2. Para a primeira iteração, a vazão numa tubulação é o correspondente a velocidade de 1 ft/s, enquanto que a vazão através da bomba é igual a vazão de dimensionamento especificada para a bomba. (Todos os cálculos são efetuados com a cota piezométrica em pés e a vazão em pés cúbicos por segundo).
3. O termo de perda de carga para uma tubulação (r) é calculado tal como mencionado na Tabela 11. Para a equação de resistência de Darcy-Weisbach, o fator de resistência(f) é calculado por diferentes equações, dependendo do número de Reynolds do Escoamento (Re):

- Para $Re < 2000$ - Fórmula de Hagen – Poiseuille (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Para $Re > 4000$ - Fórmula explícita aproximada de Swamee e Jain para resolver a equação de Colebrook - White, nos casos em que $Re > 4000$ (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

- Para $2000 \leq Re \leq 4000$ – Interpolação cúbica do diagrama de Moody

$$f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

Donde:

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0,128 - 17FA + 2,5FB$$

$$X3 = -0,128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R(0,032 - 3FA + 0,5FB)$$

$$FA = (Y3^{-2})$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0,00512215}{(Y2)(Y3)} \right)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}$$

$$Y3 = -0,86859 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)$$

Onde:

ε = rugosidade do tubo

d = diâmetro do tubo

4. O coeficiente de perda de carga localizada (K), baseado na altura cinética, é convertido em um coeficiente “m”, em função da vazão segundo a seguinte relação:

$$m = \frac{0,02517K}{d^4}$$

donde K é equivalente ao termo $V^2/2g$ da Equação de Bernoulli.

3.6 LENHSNET

O programa LENHSNET foi desenvolvido na mesma interface gráfica do EPANET 2.0, traduzido para o português pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba – LENHS UFPB.

Este módulo de dimensionamento econômico fornece os diâmetros de todos os trechos da rede e a cota piezométrica de impulsão, de forma a alcançar o custo mínimo total do sistema.

Sua metodologia inclui um processo de cálculo dinâmico e iterativo, que utiliza o EPANET para as simulações hidráulicas da rede. Partindo de uma condição de contorno inicial (diâmetros mínimos admitidos para o projeto), o programa executa iterações desde o nó mais desfavorável da rede (menor pressão) até o reservatório ou tanque, aumentando gradativamente os diâmetros.

A cada iteração, é feita uma simulação para verificar em qual dos trechos o aumento do diâmetro proporcionará o menor acréscimo de custo da rede em relação ao ganho de pressão no nó mais desfavorável. Identificado o trecho, é feita a mudança efetiva do diâmetro e é realizada uma nova iteração, até que todas as condições hidráulicas impostas sejam satisfeitas.

O trecho a ser modificado será o que tiver o menor gradiente de custo correspondente ao nó mais desfavorável da rede. Ele é dado por

$$Gp = \frac{P_2 - P_1}{\Delta p}$$
Equação 3.31

Donde:

Gp = Gradiente de custo, em unidades monetárias, por mca de alívio de perda de carga

P_1 = Custo da tubulação do trecho com o seu diâmetro atual, em Reais.

P_2 = Custo da tubulação do trecho com o diâmetro imediatamente superior ao atual, em \$

Δp = Ganho de pressão do nó mais desfavorável, proporcionado pela diminuição da perda de carga, em razão da troca do diâmetro do trecho considerado pelo seu superior, em mca.

O algoritmo do LENHS trabalha tanto com cota piezométrica de origem fixa quanto variável. Neste trabalho se utiliza apenas o caso de cota fixa. Abaixo é mostrado o fluxograma que representa o algoritmo para este caso.

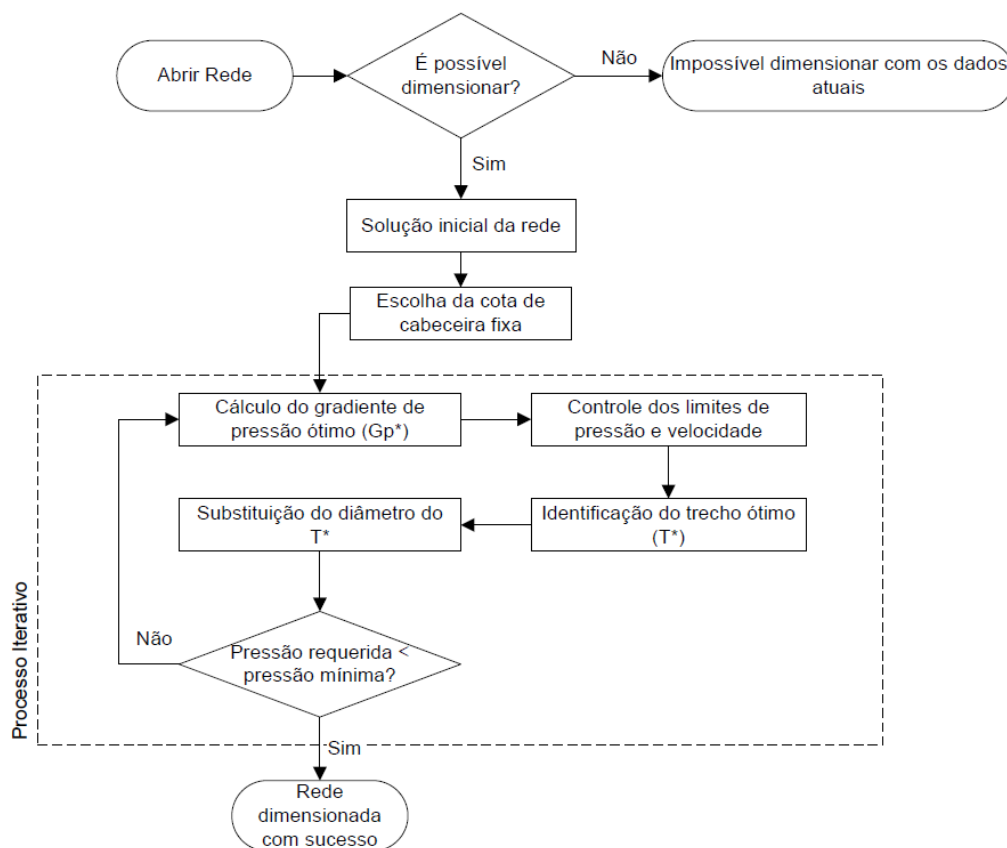


Figura 2 - Rotina do LENHSNET (adaptada)

3.7 A importância da qualidade do processo construtivo de edificações

A norma brasileira considera os sistemas prediais de água fria como a “extremidade” do sistema público de abastecimento, ou seja, a ligação entre ele e o usuário final. Desta forma, deve ser preservada a garantia de qualidade sanitária, devendo ser cumpridas as mesmas exigências relativas às redes públicas. É adotado ainda o princípio da garantia de qualidade da instalação, que busca um adequado desempenho por meio do estabelecimento de critérios técnicos que possibilitem a satisfação das exigências dos usuários finais. Este princípio tem decorrência do respeito aos direitos e deveres estabelecidos nas relações entre produtores e

consumidores, e serviu como fundamento para a definição das responsabilidades no uso e instalação do sistema.

Dados revelados na literatura mostram que erros de projeto e não-conformidades em relação às normas podem gerar acréscimos significativos no valor da obra, que podem ser repassados ao consumidor.

Cuddle apud Love (2003) estima que não-conformidades representam de 10 a 20% do custo da obra e que 46% dos desvios de custos são gerados durante a fase de projeto. Abdul-Rahman apud Love (2003) revela que erros de projeto e omissões contribuíram em 30% para o custo das não-conformidades. Franco e Novaes (1997) atribuem à fase de projeto uma média um entre 30 a 50% da geração de patologias em edificações (ver Figura 3).

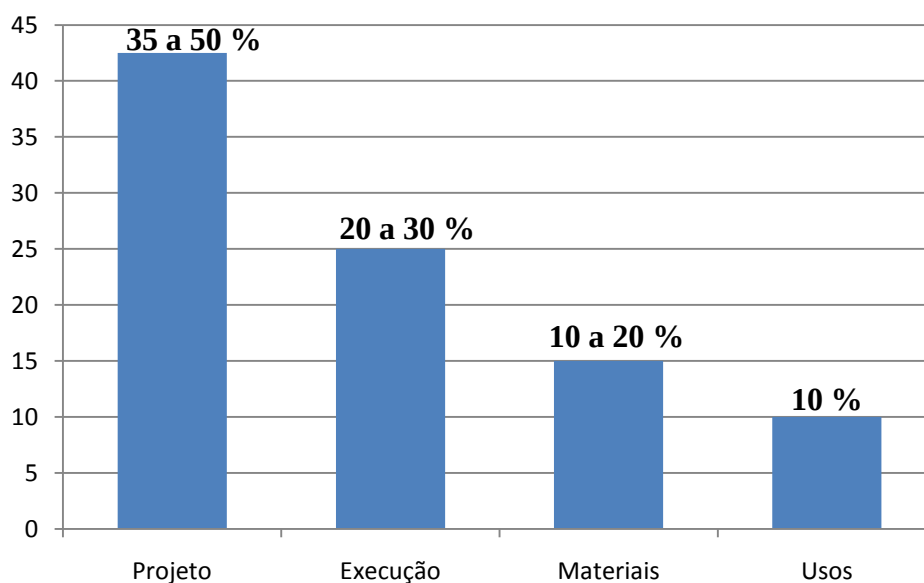


Figura 3 - Representatividade das fases do projeto nas patologias de edificações. Franco e Novaes (1997)

Nota-se que, no Brasil, os projetistas tendem superdimensionar as tubulações para evitar perdas de carga excessivas e reduzir a chance de haver retrabalho. Entretanto, com um dimensionamento segundo os padrões estabelecidos pela

norma, as condições hidráulicas necessárias para o abastecimento serão satisfeitas e esta prática se torna desnecessária.

Segundo Casagrande (2009) a não-conformidade em relação à norma pode levar a patologias nos sistemas prediais como:

- Perda de água por vazamento e dificuldade para manutenção do ramal predial entre o cavalete do hidrômetro e o reservatório inferior.
- Contaminação da água no reservatório inferior.
- Falta d'água
- Ruídos e vibrações no sistema elevatório
- Tempo de funcionamento das bombas em excesso
- Perdas de água por extravasão no reservatório superior
- Ruptura de trechos de tubulação de barrilete
- Mau funcionamento da válvula redutora de pressão
- Ruídos
- Rompimento de tubulações
- Falta de pontos de abastecimento
- Excesso de consumo de água
- Desperdício de água
- Mau funcionamento dos aparelhos
- Vazão insuficiente nos pontos de consumo
- Contaminação da água na rede
- Infiltrações e vazamentos
- Entupimentos/transbordamentos
- Dificuldades para a manutenção preditiva e corretiva do sistema

Obviamente, comparando-se de forma isolada o aumento relativo do custo devido ao superdimensionamento da rede predial de água fria com o custo total da obra, percebe-se que a sua influência se torna insignificante, tendo em vista que o material adquirido para a rede hidráulica tem baixa representatividade no valor total.

No entanto, a indústria da construção civil não deve se utilizar deste argumento por vários motivos. A ocorrência de problemas na rede causa o desgaste da imagem da

construtora. Este tipo de marketing negativo pode causar grandes prejuízos e, segundo Courtis (1991), é muitas vezes mais poderoso do que o positivo. Courtis (1991) diz que este pode fazer com que o cliente não só deixe de usar o serviço, como também tenha a vontade subconsciente de nunca mais usá-lo além de divulgar a má qualidade do serviço.

Além disto, ainda existe o valor agregado pelo alto padrão construtivo, bem como o desempenho ambiental do projeto.

Um aspecto muito importante sob o ponto de vista da sustentabilidade da construção civil é o uso dos recursos, sejam eles equipamentos, materiais, mão de obra ou capital. Formoso (1996) avalia que o uso destes acima do necessário é considerado como perda, e isto pode causar a elevação de custos e a um produto final de qualidade deficiente.

Segundo Bragança (2006), uma construção só pode ser considerada sustentável quando as diversas dimensões do desenvolvimento sustentável – ambiental, econômica, social e cultural – são ponderadas durante a fase de projeto.

BRE;CAR;ECLIPSE (2002) apud SILVA(2003) definem que a construção sustentável possui compromisso com:

- **Sustentabilidade econômica:** aumentar a lucratividade e crescimento através do uso mais eficiente de recursos, incluindo mão de obra, materiais, água e energia.
- **Sustentabilidade ambiental:** evitar efeitos perigosos e potencialmente irreversíveis no ambiente através de uso cuidadoso de recursos naturais, minimização de resíduos, proteção e, quando possível, melhoria do meio ambiente.
- **Sustentabilidade social:** responder às necessidades de pessoas e grupos sociais envolvidos em qualquer estágio do processo de construção (do planejamento a demolição), provendo alta satisfação do cliente e do usuário, e trabalhando estreitamente com clientes, fornecedores, funcionários e comunidades locais.

SILVA(2003) define a busca de uma construção sustentável como fornecer mais valor, poluir menos, ajudar no uso sustentado de recursos, responder mais efetivamente às partes interessadas, e melhorar a qualidade de vida presente sem comprometer o futuro, ou seja, desempenho ambiental, sem afetar negativamente o desempenho financeiro.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo permitir a utilização do EPANET para o dimensionamento de redes prediais em PVC soldável, fomentando a utilização do método dos pesos como meio de promover a construção de empreendimentos de alta qualidade, com vistas à sustentabilidade por meio da economia de materiais e mão de obra, além da redução do consumo de água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Embora o EPANET possua seu código fonte aberto, neste trabalho optou-se por, ao invés de realizar modificações em seu código, criar uma planilha no Excel que manipulasse os dados de forma a permitir a sua utilização como dados de entrada e fossem realizadas as simulações hidráulicas adequadamente.

Esta decisão foi tomada tendo em vista o alto grau de complexidade do código fonte e a dificuldade em realizar as modificações necessárias.

Os elementos utilizados para a realização deste trabalho foram:

- Desenho isométrico da rede a ser dimensionada do software AutoCAD
- Software EPANET 2.0 Brasil
- Software MsExcel
- Software MsWindows XP ou Superior

4.1 Desenho da rede

Foi utilizado para estudo um apartamento de 03 quartos com uma suíte e dois banheiros, totalizando 16 aparelhos e 61,55 metros de rede.

O total de aparelhos da rede é mostrado na tabela abaixo:

Tabela 13 - Quantidade de aparelhos da rede

Aparelho	Quantidade
Chuveiro	03
Ducha Higiênica	03
Vaso Sanitário	03
Lavatório	03
Tanque	01
Máquina de lava-roupas	01
Pia	01
Filtro	01

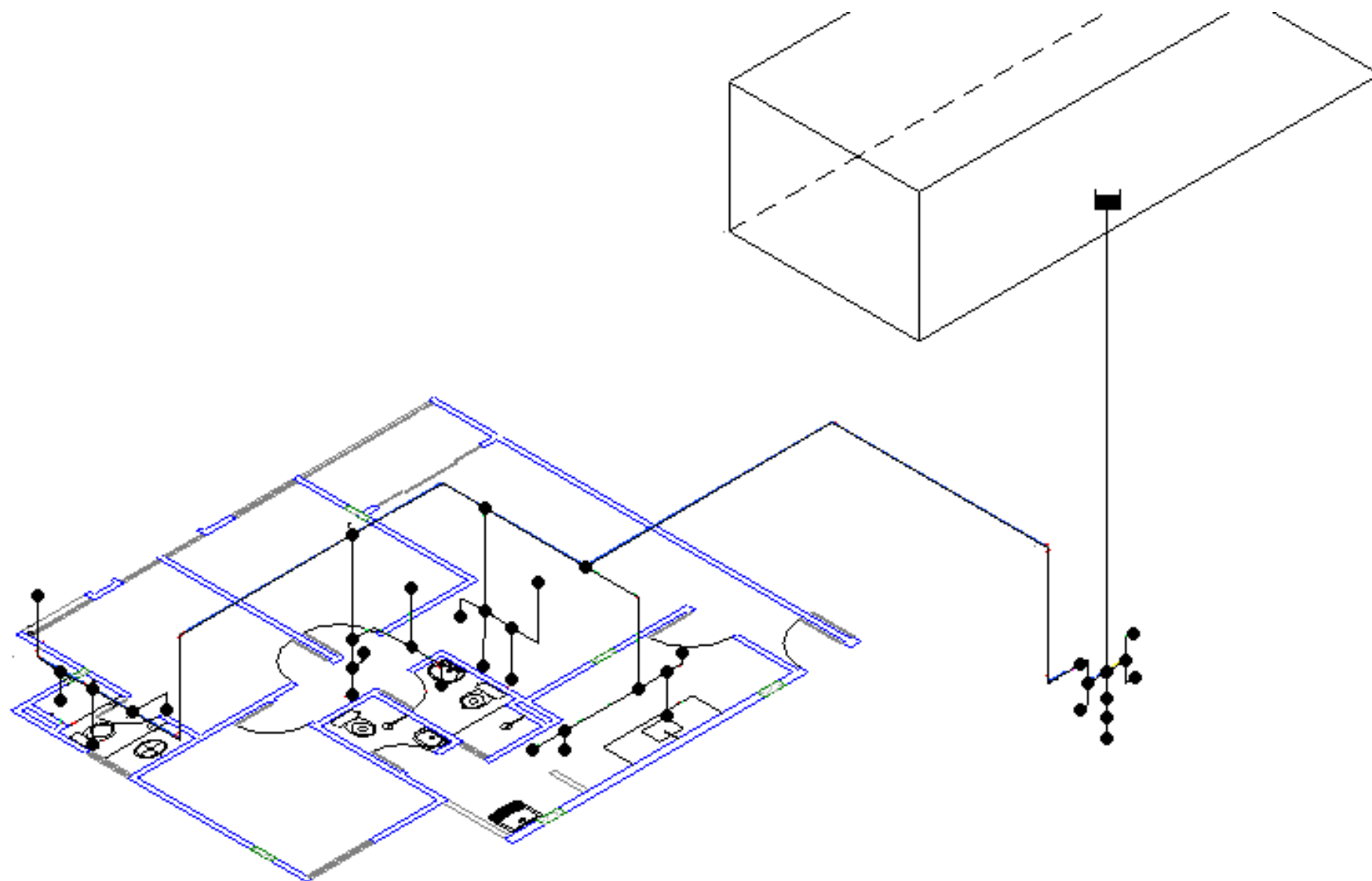


Figura 4 - Traçado da rede no EPANET

4.2 Criação de programa para o dimensionamento;

O EPANET-HYDRO utiliza como fonte de dados de entrada o arquivo de dados de rede exportado pelo EPANET e o arquivo de relatório. Ambos podem ser lidos e modificados pelo usuário por meio de programas como, por exemplo, o bloco de notas do Windows.

As etapas para a utilização da planilha são: leitura dos dados exportados, a manipulação destes e a atualização do arquivo de entrada com os dados calculados (Figura 5).

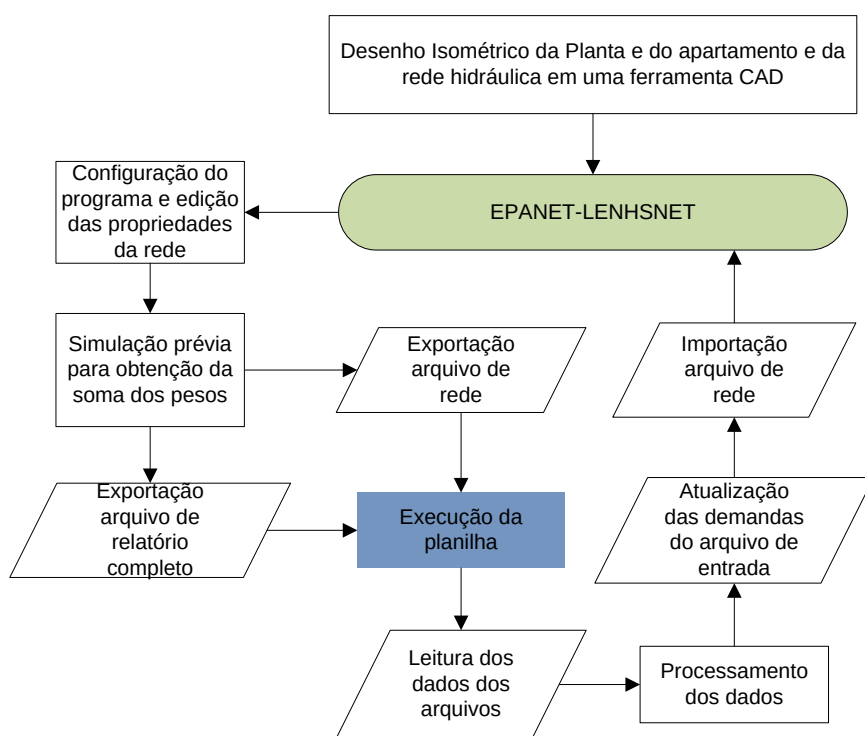


Figura 5 – Etapas do projeto

4.2.1 Leitura do arquivo de dados da rede

O arquivo exportado pelo EPANET inclui todos os dados necessários para a execução do software. O arquivo é dividido em seções, como por exemplo Título, Junções, Reservatórios, Tanques, Bombas, Válvulas, Demandas, Status, Eficiência Energética, Coordenadas, e Período.

Para a utilização do EPANET-Hydro, é necessário abrir o arquivo e copiar os dados contidos nas seções de junções e tubos para a planilha.

```
[JUNCTIONS]
;ID      Elev      Demand      Pattern      |
1        10.00     0.30
2        20.00     0.10
3        30.00     0.00
4        40.00     0.30
5        50.00     0.00
6        60.00     0.40
7        70.00     0.00
8        80.00     1.00
9        90.00     0.70
10       100.00    0.00
30       300.00    0.00
;

[RESERVOIRS]
;ID      Head      Pattern
31       0         10
;

[TANKS]
;ID      Elevation  InitLevel  MinLevel  MaxLevel

[PIPES]
;ID      Node1      Node2      Length
1        1         3         1000.000
2        2         3         1000.000
3        3         5         1000.000
4        4         5         1000.000
5        5         7         1000.000
6        6         7         1000.000
7        7         18        1000.000
8        8         10        1000.000
9        9         10        1000.000
14       10        13        1000.000
15       11        13        1000.000
16       12        13        1000.000
17       13        15        1000.000
18       14        15        1000.000
19       15        17        1000.000
20       16        17        1000.000
21       17        18        1000.000
22       18        26        1000.000
```

Figura 6 - Exemplo de arquivo de rede

A figura acima mostra o formato padrão de arquivo de rede exportado pelo EPANET a ser utilizado na planilha do Excel.

4.2.2 Organização da rede

O EPANET é um programa extremamente versátil e permite que o usuário desenhe a rede sem grandes preocupações no que tange à metodologia, não importando, desta forma a ordem na qual os pontos e /ou tubos são desenhados, bem como a sua nomenclatura.

Entretanto, ao exportar a rede, o arquivo gerado apresenta exatamente a ordem de desenho utilizada pelo usuário, o que influencia na definição de qual é o nó montante e o nó jusante. Se a rede é traçada do nó “A” para o nó “B”, o nó “A” será considerado o nó 1 e o nó B como nó 2, e vice versa.

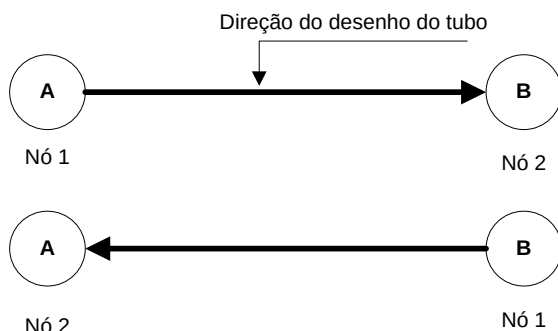


Figura 7 - Sistema de nomenclatura do EPANET

Conseqüentemente isto pode gerar transtornos durante a utilização destes, e que implicariam na necessidade de organização dos dados com vistas ao bom funcionamento do programa. A não organização destes pode tornar praticamente impossível a criação de um algoritmo que funcione para dados com tamanha variabilidade.

Desta forma, convencionou-se que a os nós devem ser inseridos de jusante para montante, como demonstrado na figura abaixo.

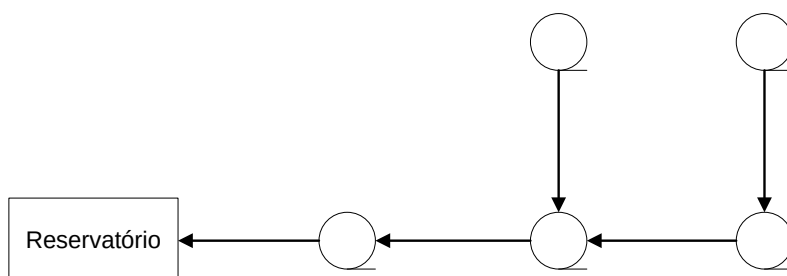


Figura 8 - Método de inserção dos nós

O traçado da rede deve seguir o sentido oposto, ou seja, de montante para jusante, partindo-se do reservatório.

4.3 Cálculo da soma dos pesos

O cálculo da soma dos pesos é feito utilizando-se o próprio EPANET, realizando-se uma simulação prévia, que fornecerá a soma dos valores informados como

demandas dos nós em cada trecho desenhado. Desta forma, é evitado o retrabalho é reduzida sensivelmente a complexidade da planilha.

Para obtê-lo basta, após a simulação, clicar na opção “completo”, no menu relatório. Este arquivo deverá ser aberto por algum editor de texto e servirá como fonte de dados para a planilha.

4.4 O método das vazões fictícias

Como foi dito anteriormente, o método dos pesos fornece como dados de saída os diâmetros e as vazões nos trechos. Entretanto, estes são dados de entrada utilizados pelo EPANET (ver tabelas 7 e 8). Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia que cria vazões fictícias para a inserção como demandas nos nós de forma que, quando somadas pelo EPANET, coincidam com os valores que seriam calculados pelo método dos pesos.

Apesar de as vazões nos sub-ramais não serem compatíveis com as vazões reais, isto não influencia no resultado do dimensionamento, considerando-se que os trechos de sub-ramais possuem diâmetros padronizados de acordo com cada tipo de aparelho instalado.

As vazões fictícias são calculadas subtraindo-se as vazões calculadas à montante e a jusante de um sub-ramal e atribuindo a ele uma demanda igual a este valor, tanto para os trechos ligados a sub-ramais quanto a entroncamentos da rede. No caso de um nó que ligue outros ramais, incluindo ou não a ligação de sub-ramais, seguiu-se o método mostrado na Figura 9.

Não existem impedimentos em relação à utilização de demandas negativas. Isto porque o EPANET as considera como entradas de água no sistema e soma estes valores à vazão total naquele ponto.

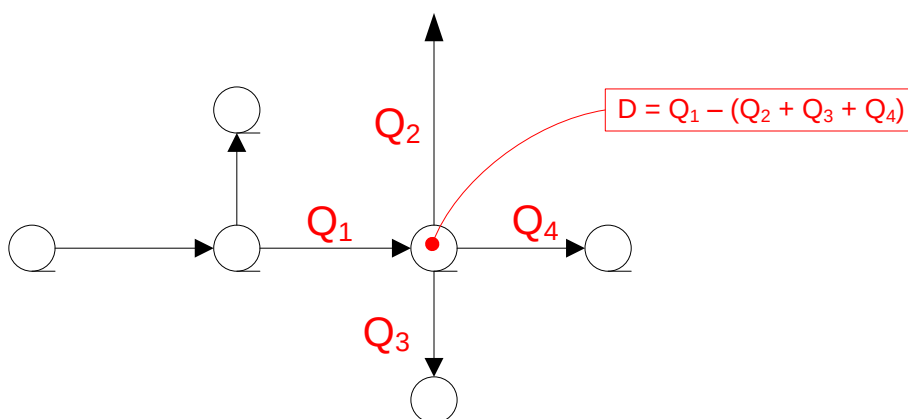


Figura 9 - Método das demandas fictícias

De posse dos valores das demandas fictícias dos nós calculadas pela planilha do Excel, é realizada a atualização dos dados arquivo de entrada do EPANET, inserindo-se os valores calculados.

4.5 Preparação para a simulação no software EPANET-LENHSNET

Antes de fazer as simulações é necessário inserir os dados de entrada dos nós e trechos da rede. Existem duas formas de inserir estes parâmetros de entrada: utilizando-se a interface gráfica do programa ou editando um arquivo de input formatado de acordo com os padrões necessários. Optou-se por utilizar a primeira opção para a inserção dos pesos dos aparelhos, suas cotas, comprimento dos trechos, bem como as perdas de carga localizadas. Nas figuras 10 e 11 são mostradas as telas de edição das propriedades dos nós e dos tubos

Ajustou-se a fórmula default de perda de carga para a de Darcy-Weisbach, o coeficiente de perda de carga para 0,0015 mm (PVC rígido) e o diâmetro para 17 mm. Assim, todos os tubos ao serem traçados no programa possuirão estas propriedades.

A fórmula de Darcy-Weisbach foi escolhida tendo em vista a sua grande flexibilidade no que tange às suas aplicações, considerando-se o tipo de fluido e de escoamento, e porque o uso da fórmula de Hazen-Williams é indicado para tubulações cujo diâmetro interno é superior a 50 mm.

Devem ser consideradas, também as condições de contorno para o módulo de dimensionamento econômico LENHSNET.

Foi adotado reservatório de cota fixa, limite superior igual a 3 m/s (velocidade máxima prevista pela NBR 5626/98) e pressão mínima de 1 m.c.a (10 kPa). Além disso, foi modificado o custo unitário dos tubos para aqueles compatíveis com os diâmetros utilizados em redes prediais, de acordo com preço médio avaliado em lojas de material de construção de Vitória-ES. Estes valores são mostrados detalhadamente no Apêndice A.

Além disso, configurou-se o LENHSNET para que os sub-ramais não fossem dimensionados, considerando-se que estes possuem diâmetros padronizados de acordo com o aparelho instalado.

A janela de edição dos parâmetros utilizados pelo LENHSNET é mostrada na figura 12.

Propriedade	Valor
*Identificador do Nó	1
Coordenada X	305.08
Coordenada Y	7135.59
Descrição	
Zona	
*Cota	0
Consumo-Base	0
Padrão de Consumo	
Categorias de Consumo	1
Coef. do Emissor	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	
Consumo Corrente	#N/A
Carga Hidráulica Total	#N/A

Figura 10 - Painel de edição das propriedades dos nós

A Tabela 14 mostra os valores utilizados como dados de entrada para a simulação prévia para a obtenção da soma dos pesos.

Tabela 14 - Dados de entrada para a simulação prévia

Nó	Peso	Nó	Peso
1	0.40	21	0.00
2	0.40	22	0.70
3	0.30	23	1.00
4	0.00	24	0.00
5	0.00	25	0.70
6	0.30	26	0.10
7	0.30	27	0.00
8	0.40	28	0.00
9	0.00	29	0.00
10	0.30	30	0.00
11	0.40	32	0.00
12	0.00	39	0.00
13	0.00	41	0.00
14	0.00	31	6.70
15	0.40	33	6.70
16	0.40	34	6.70
17	0.30	35	26.80
18	0.30	36	26.80
19	0.00	37	26.80
20	0.00	38	0.00

Propriedade	Valor
*Identificador do Trecho	1
*Nó Inicial	1
*Nó Final	2
Descrição	
Zona	
*Comprimento	3
*Diâmetro	17
*Rugosidade	0.0015
Coef. Perda de Carga Sing	0
Estado Inicial	Open
Coef. Reação no Escoam	
Coef. Reação na Parede	
Vazão	#N/A
Velocidade	#N/A

Figura 11 - Painel de edição das propriedades do trecho

Durante a edição das propriedades dos trechos, foram inseridas as perdas de carga localizadas de cada um, baseado no traçado e nas peças neles presentes. Os valores calculados são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Soma das perdas de carga localizadas por trecho

Trecho	ΣK	Peças
1	10	Registro de Globo
2	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
3	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
4	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
5	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
6	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
7	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
8	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
9	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
10	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
11	19	03 Curvas 90° Raio Curto + Hidrômetro + Registro Gaveta 100% aberto.
12	2,87	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno + Registro Gaveta 100% aberto.
13	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
14	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
15	1,5	Tê Standard – Escoamento na linha + Curva 90° Raio Pequeno
16	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
17	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
18	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
19	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
20	1,97	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Registro Gaveta 100% aberto
21	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
22	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
23	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
24	11,5	Tê Standard – Escoamento na linha + Curva 90° Raio Pequeno
25	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
26	1,5	Tê Standard – Escoamento na linha + Curva 90° Raio Pequeno
27	1,97	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Registro Gaveta 100% aberto
28	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
29	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
30	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
31	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
32	11,8	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Registro de Globo
33	1,5	Tê Standard – Escoamento na linha + Curva 90° Raio Pequeno

Tabela 14 (cont.)

34	1,97	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Registro Gaveta 100% aberto
35	2,7	Tê Standard – Escoamento linha – ramal + Curva 90° Raio Pequeno
36	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
37	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
38	0,6	Tê Standard – Escoamento na linha
39	1,8	Tê Standard – Escoamento linha - ramal
40	11,5	Tê Standard – Escoamento linha + Curva 90° Raio Pequeno + Registro de Globo

Figura 12 - Janela de edição do LENHSNET

4.6 Dimensionamento utilizando o Excel

De posse do valor da soma dos pesos em cada trecho, é possível fazer o dimensionamento com o auxílio de uma planilha do Excel.

Para tal, é necessário transformar estes valores em vazões, por meio da Equação 3.10.

De posse dos valores das vazões, é possível chegar aos diâmetros internos necessários.

Considerando-se que:

$$v = 14\sqrt{D_i} \quad \text{Equação 4.1}$$

e que

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação 4.2}$$

Então

$$14\sqrt{D_i} = \frac{Q \times 4}{\pi D_i^2} \quad \text{Equação 4.3}$$

Desta forma,

$$D_i = \sqrt[5]{\left(\frac{Q \times 4}{14\pi}\right)^2} \quad \text{Equação 4.4}$$

De posse do valor do diâmetro interno, comparou-se o valor obtido com a faixa de diâmetros internos comerciais disponíveis e se obteve o valor a ser utilizado nas simulações.

É importante citar que, aplicando-se o valor do diâmetro na Equação 4.1 é possível saber a velocidade do escoamento, que como citado anteriormente, por exigência da NBR 5626/98, não deve ultrapassar 3 m/s.

Desta forma, esta metodologia só pode ser utilizada para diâmetros internos inferiores a 44 mm para que a velocidade seja inferior ao valor citado acima.

Assim, deve ser adotada uma velocidade e obter o diâmetro a partir da Equação 4.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Soma dos pesos e vazões por trecho

As soma dos pesos obtidos pela simulação prévia realizada no EPANET, e os valores das vazões equivalentes, calculadas pela Equação 3.10, são exibidas na tabela abaixo.

Tabela 16 - Soma dos pesos por trecho

Trecho	Soma dos pesos	Vazão	Trecho	Soma dos pesos	Vazão
1	107,2	3,11	21	0,3	0,16
2	26,8	1,55	22	0,3	0,16
3	53,6	2,20	23	0,8	0,27
4	80,4	2,69	24	0,4	0,19
5	13,4	1,10	25	0,4	0,19
6	6,7	0,78	26	2,8	0,50
7	6,7	0,78	27	1,4	0,35
8	13,4	1,10	28	0,7	0,25
9	6,7	0,78	29	0,3	0,16
10	6,7	0,78	30	0,4	0,19
11	6,7	0,78	31	0,7	0,25
12	2,5	0,47	32	0,4	0,19
13	0,8	0,27	33	0,3	0,16
14	0,7	0,25	34	1,4	0,35
15	0,1	0,09	35	0,3	0,16
16	1,7	0,39	36	1,1	0,31
17	0,7	0,25	37	0,3	0,16
18	1	0,30	38	0,8	0,27
19	4,2	0,61	39	0,4	0,19
20	1,4	0,35	40	0,4	0,19

5.2 Demandas fictícias nos nós

Seguindo-se a metodologia estabelecida na seção 4.4, foram obtidas as seguintes demandas fictícias:

Tabela 17 - Demandas fictícias utilizadas nos nós

Nó	Elevação	Demanda	Nó	Elevação	Demanda
1	2,1	0,19	21	2,75	-0,24
2	0,55	0,08	22	1,1	0,25
3	0,2	0,04	23	0,6	0,14
4	1,1	0,00	24	1,1	0,00
5	1,1	0,00	25	0,6	0,18
6	0,6	0,04	26	1,3	0,09
7	0,6	0,10	27	1,1	0,00
8	2,1	0,15	28	1,1	-0,19
9	1,1	0,00	29	2,75	-0,30
10	0,2	0,10	30	1,4	0,00
11	0,55	0,15	31	1	0,78
12	0,45	0,00	32	1,2	-0,46
13	1,1	-0,15	33	1,4	0,78
14	2,75	-0,20	34	1	0,78
15	2,1	0,08	35	0	-0,46
16	0,55	0,19	36	-7,2	1,55
17	0,2	0,16	37	-4,4	0,65
18	0,6	0,16	38	-1,6	0,49
19	1,1	0,00	39	1,2	-1,78
20	1,1	-0,24	41	1,1	0,00

5.3 Resultados obtidos utilizando-se as demandas fictícias

5.3.1 Dimensionamento manual utilizando-se uma planilha em Excel

Partindo do diâmetro interno mínimo de 17 mm, e respeitando-se o diâmetro padrão para cada sub-ramal, buscou-se uma configuração que possibilitasse o atendimento dos requisitos mínimos estabelecidos pela norma.

A tabela abaixo mostra os resultados da simulação após o dimensionamento manual feito com o auxílio da planilha em Excel.

Tabela 18 - Pressões obtidas nas junções da rede

Nó	Consumo (L/s)	Pressão	Nó	Consumo (L/s)	Pressão (m.c.a)
1	0,19	1,21	22	0,25	2,82
2	0,08	3,25	23	0,14	3,33
3	0,04	3,65	24	0	2,85
4	0	2,72	25	0,18	3,27
5	0	2,75	26	0,09	2,65
6	0,04	3,3	27	0	2,86
7	0,1	2,95	28	-0,19	3,04
8	0,15	1,18	29	-0,3	1,87

Tabela 17 (cont.)

9	0	2,49	30	0	5,52
10	0,1	3,56	31	0,78	5,92
11	0,15	3,16	32	-0,46	5,98
12	0	3,33	33	0,78	5,52
13	-0,15	2,76	34	0,78	5,92
14	-0,2	1,29	35	-0,46	7,18
15	0,08	1,54	36	1,55	13,38
16	0,19	3,09	37	0,65	10,87
17	0,16	3,66	38	0,49	8,62
18	0,16	3,21	39	-1,78	6,11
19	0	2,63	40	-3,11	0
20	-0,24	2,82	41	0	2,81
21	-0,24	1,7			

Nota-se que a pressão obtida no ponto crítico da rede (nó 1) é igual a 1,21 m.c.a, portanto, dentro dos padrões. É importante ressaltar que existem outras configurações que permitem uma pressão suficiente neste ponto, mas optou-se por esta configuração por haver uma margem de segurança em relação ao limite.

Abaixo, são mostrados os resultados da simulação para os trechos da rede, contendo dos dados de vazão, perda de carga e velocidade.

Tabela 19 - Vazão velocidade e perda de carga nos trechos

Trecho	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m/km)	Trecho	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m/km)
1	3,11	2,05	430,75	21	0,16	0,7	112,75
2	1,55	1,59	103,03	22	0,16	0,7	61,29
3	2,2	2,26	196,76	23	0,27	1,19	370,16
4	2,69	1,77	103,38	24	0,08	0,35	61,99
5	1,1	1,13	431,44	25	0,19	0,84	202,65
6	0,78	1,29	573,45	26	0,5	1,36	161,44
7	0,78	1,29	573,45	27	0,35	0,96	111,27
8	1,1	1,13	431,44	28	0,25	1,1	179,1
9	0,78	1,29	573,45	29	0,1	0,44	32,92
10	0,78	1,29	573,45	30	0,15	0,66	239,93
11	0,78	1,29	226,22	31	0,25	1,1	248,39
12	0,47	1,28	188,03	32	0,15	0,66	302,21
13	0,27	1,19	355,47	33	0,1	0,44	34,57
14	0,18	0,79	150,6	34	0,35	0,58	22,51
15	0,09	0,25	14,55	35	0,04	0,18	6,57
16	0,39	1,06	141,65	36	0,31	0,85	73,88
17	0,25	0,68	57,82	37	0,04	0,18	6,18
18	0,14	0,38	38,12	38	0,27	0,74	69,29
19	0,61	1	92,51	39	0,08	0,35	38,79

Tabela 18 (cont.)

20	0,35	1,54	319,35	40	0,19	0,84	299,91
----	------	------	--------	----	------	------	--------

Da mesma forma, não há velocidades superiores a 3 m/s. Assim, a rede está adequadamente dimensionada. A rede parte do reservatório (Trecho 1) até o ponto crítico, situado no chuveiro do banheiro social (Trecho 40).

Nas figuras abaixo são apresentados parte dos resultados mostrados nas tabelas exibidas anteriormente.

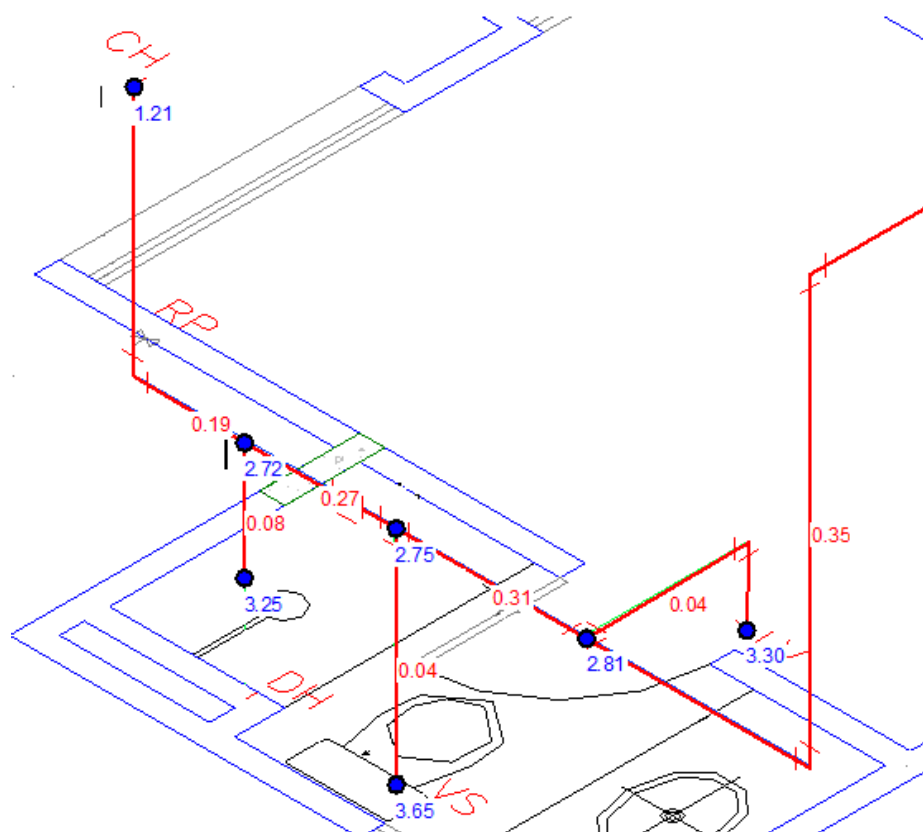


Figura 13 - Diâmetros e pressões na suíte (ponto crítico da rede)

É possível notar que os chuveiros, por serem os pontos mais altos da rede, são mais sensíveis à mudanças de diâmetros à montante. O dimensionamento feito gerou uma pressão no chuveiro do banheiro social uma pressão inferior ao ponto crítico da rede devido aos diâmetros escolhidos para aquela seção da rede, como mostrado na Figura 14.

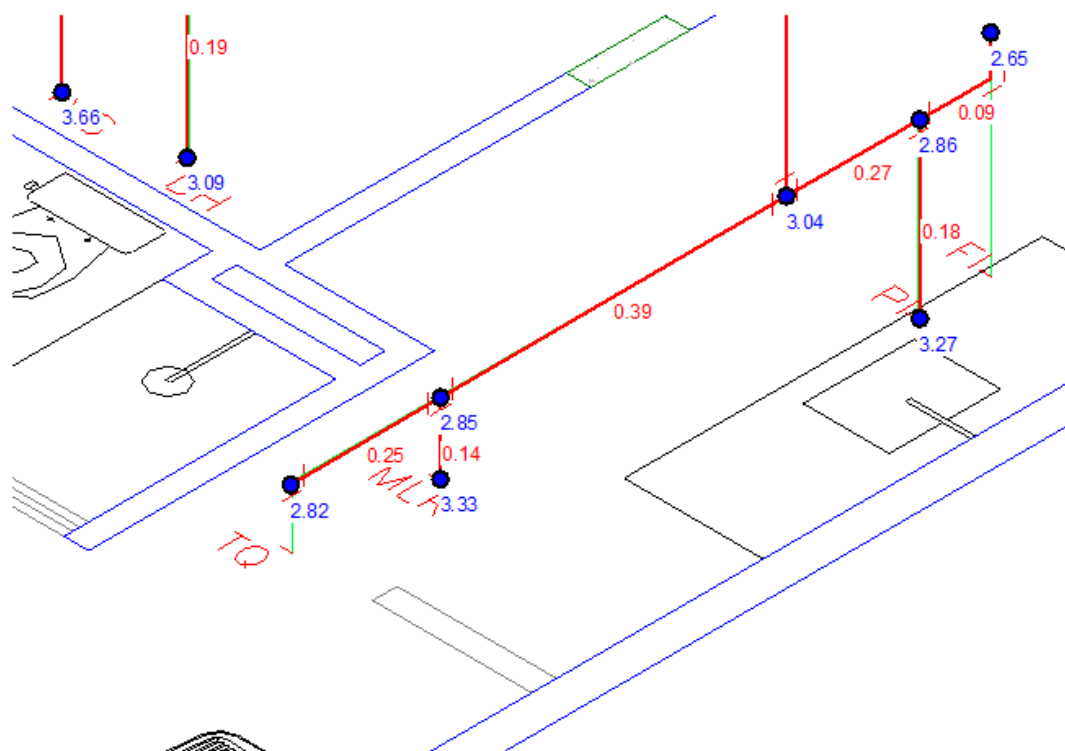


Figura 15 - Dimensões e pressões na cozinha

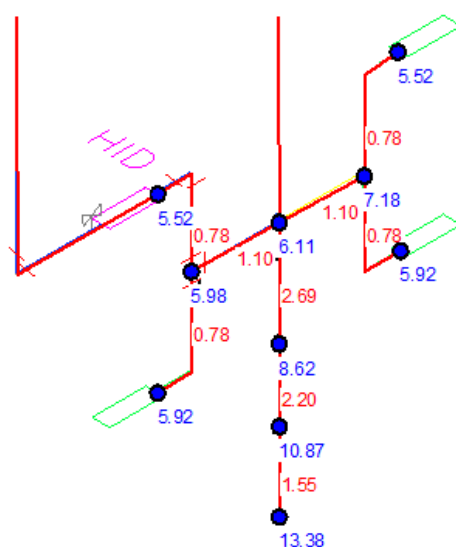


Figura 16 - Dimensões e pressões nos pavimentos inferiores

Na tabela abaixo são mostrados os diâmetros internos utilizados e os diâmetros comerciais correspondentes aos trechos da rede.

Tabela 20 - Resultado do dimensionamento

Trecho	Diâmetro interno (DI) (mm)	Diâmetro Comercial (DN)	Trecho	Diâmetro interno (DI) (mm)	Diâmetro Comercial (DN)
1	44	50	21	17	20
2	35,2	40	22	17	20
3	35,2	40	23	17	20
4	44	50	24	17	20
5	35,2	40	25	17	20
6	27,8	32	26	21,6	25
7	27,8	32	27	21,6	25
8	35,2	40	28	17	20
9	27,8	32	29	17	20
10	27,8	32	30	17	20
11	27,8	32	31	17	20
12	21,6	25	32	17	20
13	17	20	33	17	20
14	17	20	34	27,8	32
15	21,6	25	35	17	20
16	21,6	25	36	21,6	25
17	21,6	25	37	17	20
18	21,6	25	38	21,6	25
19	27,8	32	39	17	20
20	17	20	40	17	20

5.3.2 Simulações utilizando o módulo LENHSNET

Não foi possível dimensionar a rede utilizando-se o módulo de dimensionamento econômico LENHSNET. Há evidências de que o programa não consegue convergir para um resultado, considerando-se a mensagem de erro acusada informando que o programa não consegue alcançar as condições de contorno. Verificou-se que antes da ocorrência desta mensagem, o programa aumentou os diâmetros da tubulação até o seu limite superior para sistemas prediais de água fria (100 mm). Notou-se também a presença de alargamentos da seção no sentido jusante, o que não é comum em redes de água.

São necessárias mais investigações a respeito, considerando-se o dimensionamento manual foi realizado sem dificuldades, sendo necessária a alteração de apenas um diâmetro.

6 COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES

As conclusões alcançadas com estes resultados e as recomendações para futuros trabalhos que foram percebidas durante a produção do trabalho são retratadas nas seções seguintes.

6.1 Conclusões

Por meio do desenvolvimento de uma nova metodologia que cria demandas fictícias para os nós, foi possível dimensionar a rede utilizando-se o EPANET. O resultado obtido foi satisfatório, atendendo aos pré-requisitos da norma vigente.

Não foi possível fazê-lo utilizando-se o módulo de dimensionamento econômico LENHSNET, que não converge para uma solução definida, por motivos que ainda necessitam ser investigados. O mau desempenho do programa pode estar relacionado com o tipo de rede utilizado no projeto. Normalmente, redes de abastecimento de água urbanas apresentam a forma de malha, enquanto os sistemas prediais a forma ramificada.

O material componente da tubulação estudada neste trabalho foi o PVC Soldável, mas isto não impede a utilização desta metodologia para outros tipos de tubulações, considerando que basta fazer alguns ajustes no que tange ao coeficiente de perda de carga de cada material e o seu custo.

Desta forma, foi criada uma ferramenta que contribui para o aumento da qualidade das construções. Isto porque, seguindo os requisitos estabelecidos pela norma, é proporcionado o aumento da sua economia e eficiência energética e de uso dos materiais, além do conforto para os usuários. Além disso, são evitadas falhas no sistema predial de abastecimento de água.

6.2 Dificuldades encontradas

Durante a realização deste trabalho, foram efetuadas diversas tentativas até se chegar ao resultado desejado, listadas abaixo:

- Em sua idealização, o projeto previa modificações do código-fonte do LENHSNET para a utilização do método dos pesos em substituição ao original do programa. Entretanto, considerando-se a alta complexidade do modelo, que integra as modelagens transientes e de qualidade de água, a dificuldade de obtenção de suporte dos desenvolvedores do software, além da necessidade de modificação da interface gráfica, optou-se por fazer um programa que atuasse em paralelo.
- Também sem sucesso, a criação do programa demandou um grande esforço considerando-se a necessidade de aprendizado de duas novas linguagens de programação (C e Delphi), além de uma série de conceitos geralmente não ensinados nas grades curriculares dos cursos, além da necessidade de criação de complexos algoritmos para a organização, leitura e escrita dos dados, dentre outras.
- Já na sua terceira tentativa, foi desenvolvido o método utilizado neste trabalho como uma forma de permitir o uso do LENHSNET para o dimensionamento econômico de redes de água fria prediais sem a necessidade de alteração do seu código, utilizando-se o próprio programa para o cálculo da soma dos pesos e uma planilha feita em Excel para a geração dos dados adaptados.
- Não foi possível dimensionar a rede utilizando-se o LENHSNET obrigando, assim, o dimensionamento manual para a verificação da funcionalidade da metodologia.

6.3 Recomendações para trabalhos futuros

Apesar de a metodologia neste trabalho criada ser funcional, os obstáculos encontrados impediram a criação de uma planilha mais eficiente e automatizada para o tratamento dos dados. Abaixo são citadas sugestões para o aprimoramento deste trabalho:

- Investigação do motivo pelo qual a solução LENHSNET não converge considerando-se como condições de contorno a velocidade máxima e a pressão mínima exigida pela norma brasileira.

- Comparação do dimensionamento realizado neste trabalho com o resultado obtido pela utilização do LENHSNET, com o intuito de verificar o real grau de redução de custos devido à utilização do programa.
- Criação, por meio de macros criadas em Excel, de algoritmos que permitam a automatização da manipulação dos dados utilizados nas planilhas.
- Modificação do código-fonte do EPANET para o cálculo segundo o método dos pesos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 41p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5648**: Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa com junta soldável - Requisitos. Rio de Janeiro, 1999. 13p

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5680**: Dimensões de tubos de PVC rígido - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 03p.

BRAGANÇA, L., & MATEUS, R. (2006). **Sustentabilidade de soluções construtivas**. Universidade do Minho.

CASAGRANDE, J. **Sistemas Prediais Hidráulico-Sanitários: as práticas vigentes e as Patologias Decorrentes**. 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Recife-PE, Set. 2009

CATÁLOGO TÉCNICO TIGRE. **Água fria predial**. Joinville, SC, 2005.

COURTIS, J. **Marketing de Serviços**. São Paulo. Editora Nobel, 1ª Edição. 1991

FORMOSO, C.T.; DE CESARE, C.M.; LANTELME, E.M.V. & SOIBELMAN, L. **Perdas na construção civil: conceitos, classificações e indicadores de controle**. São Paulo, Techne, Ed. Pini, 23: pp.30-33, jul/ago 1996.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. xiv, 798 p. ISBN 9788521614685 (broch.)

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias**. 3ª Ed. João Pessoa-PB. Editora Universitária/UFPB, 2009

LANDI, F. R. **A evolução histórica das instalações hidráulicas**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil 100: n. 100, 67p. 1993.

LOVE, P.E.D., SMITH, J. **Benchmarking, Benchaction, and Benchlearning: Rework Mitigation in Projects**. Journal Of Management In Engineering, Perth, v. 19, n. 4, p. 147-160, out 2003.

NOVAES, C. N., FRANCO, L.S. **Diretrizes para Garantia da Qualidade do Projeto na Produção de Edifícios Habitacionais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, n. 188, 19p., 1997.

PETRUCCI, A.L. GONÇALVES. **Dimensionamento de redes prediais de água sob vazões reais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.2, n. 4, p.27-37, out/dez 2002.

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. São Paulo, 2003. 210 pp. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

8 APÊNDICE

APÊNDICE A – TABELA DE CUSTO DA TUBULAÇÃO

Na tabela abaixo é mostrada a rugosidade, o material e o custo da tubulação utilizada para as simulações realizadas no LENHNSET

Tabela 21 - Custo unitário de tubulação de PVC soldável para água fria

DI	Rugosidade	Material	Custo
17 0	0,0015	PVC	1,12
21.6	0,0015	PVC	2,12
27.8	0,0015	PVC	3,32
35.2	0,0015	PVC	4,83
44 0	0,0015	PVC	8,17
53.4	0,0015	PVC	9,17
66.6	0,0015	PVC	14,83
75.6	0,0015	PVC	19,17
97.8	0,0015	PVC	29,83

Os valores acima foram obtidos com base em orçamento realizado em junho de 2011.

APÊNDICE B – ARQUIVOS DE ENTRADA E DE RELATÓRIO

Abaixo são apresentados o arquivo de entrada utilizado para as simulações no EPANET e LENHSNET e o arquivo completo de relatório gerado pelo programa, que contém todos os resultados da simulação.

Algumas seções foram omitidas, considerando-se que são opções default do programa e que não foram alteradas neste trabalho

B.1 Arquivo de entrada (*.rpt)

[TITLE]

[JUNCTIONS]

;ID	Elev	Demand	Pattern
1	2.1	0.19	;CHUVEIRO
2	0.55	0.08	;DUCHA HIGIENICA
3	0.2	0.04	;VASO SANITARIO
4	1.1	0	;
5	1.1	0	;
6	0.6	0.04	;LAVATORIO
7	0.6	0.1	;LAVATORIO
8	2.1	0.15	;CHUVEIRO
9	1.1	0	;
10	0.2	0.1	;VASO SANITARIO
11	0.55	0.15	;DUCHA HIGIENICA
12	0.45	0	;
13	1.1	-0.15	;
14	2.75	-0.2	;
15	2.1	0.08	;CHUVEIRO
16	0.55	0.19	;DUCHA HIGIENICA
17	0.2	0.16	;VASO SANITARIO
18	0.6	0.16	;LAVATORIO
19	1.1	0	;
20	1.1	-0.24	;
21	2.75	-0.24	;
22	1.1	0.25	;TANQUE
23	0.6	0.14	;MAQUINA LAVA ROUPAS
24	1.1	0	;
25	0.6	0.18	;PIA
26	1.3	0.09	;FILTRO
27	1.1	0	;
28	1.1	-0.19	;
29	2.75	-0.3	;
30	1.4	0	;
32	1.2	-0.46	;
39	1.2	-1.78	;
41	1.1	0	;

31	1	0.78	;
33	1.4	0.78	;
34	1	0.78	;
35	0	-0.46	;
36	-7.2	1.55	;
37	-4.4	0.65	;
38	-1.6	0.49	;

[RESERVOIRS]

;ID	Head	Pattern	
40	10		;

[TANKS]

;ID	Elevation	InitLevel	MinLevel	MaxLevel	Diameter	MinVol	VolCurve
-----	-----------	-----------	----------	----------	----------	--------	----------

[PIPES]

;ID	Node1	Node2	Length	Diameter	Roughness	MinorLoss	Status
1	40	39	6.25	44	0.0015	10	Open
7	32	30	0.45	27.8	0.0015	2.7	Open
11	30	29	10.15	27.8	0.0015	19	Open
12	29	28	2.55	21.6	0.0015	2.87	Open
13	28	27	0.53	17	0.0015	1.8	Open
14	27	25	0.6	17	0.0015	1.8	Open
15	27	26	0.5	21.6	0.0015	1.5	Open
16	28	24	1.4	21.6	0.0015	1.8	Open
17	24	22	0.53	21.6	0.0015	0.6	Open
18	24	23	0.5	21.6	0.0015	1.8	Open
19	29	21	1.93	27.8	0.0015	1.8	Open
20	21	20	1.65	17	0.0015	1.97	Open
21	20	18	1	17	0.0015	2.7	Open
22	20	17	0.9	17	0.0015	0.6	Open
23	20	19	0.5	17	0.0015	1.8	Open
24	19	15	1.5	17	0.0015	11.5	Open
25	19	16	0.45	17	0.0015	1.8	Open
26	21	14	2.5	21.6	0.0015	1.5	Open
27	14	13	1.65	21.6	0.0015	1.97	Open
28	13	12	0.45	17	0.0015	0.6	Open
29	12	10	0.45	17	0.0015	0.6	Open
30	12	11	0.3	17	0.0015	2.7	Open
31	13	9	1.1	17	0.0015	2.7	Open
32	9	8	1	17	0.0015	11.8	Open
33	9	7	1	17	0.0015	1.5	Open
34	14	41	5.85	27.8	0.0015	1.97	Open
35	41	6	1.2	17	0.0015	2.7	Open
36	41	5	0.76	21.6	0.0015	0.6	Open
37	5	3	0.9	17	0.0015	1.8	Open
38	5	4	0.49	21.6	0.0015	0.6	Open
39	4	2	0.45	17	0.0015	1.8	Open
40	4	1	1.71	17	0.0015	11.5	Open
2	37	36	2.8	35.2	0.0015	0.6	Open
3	38	37	2.8	35.2	0.0015	0.6	Open
4	39	38	2.8	44.0	0.0015	0.6	Open
5	39	32	0.3	35.2	0.0015	1.8	Open
6	32	31	0.45	27.8	0.0015	2.7	Open
8	39	35	0.3	35.2	0.0015	1.8	Open
9	35	33	0.45	27.8	0.0015	2.7	Open
10	35	34	0.45	27.8	0.0015	2.7	Open

[PUMPS]

;ID	Node1	Node2	Parameters
-----	-------	-------	------------

[VALVES]

;ID	Node1	Node2	Diameter	Type	Setting	MinorLoss
[COORDINATES]						
;Node	X-Coord	Y-Coord				
1	2271.19	6364.41				
2	2356.64	5991.03				
3	2470.17	5833.03				
4	2356.64	6094.65				
5	2470.18	6029.04				
6	2738.99	5951.66				
7	3735.00	6044.90				
8	3620.59	6396.59				
9	3620.59	6178.37				
10	3414.03	6012.06				
11	3451.91	6163.53				
12	3414.03	6108.46				
13	3414.03	6209.09				
14	3413.78	6583.02				
15	4083.52	6414.60				
16	3986.06	6061.85				
17	3887.54	6111.63				
18	3803.86	6290.66				
19	3986.06	6252.52				
20	3888.60	6308.67				
21	3888.60	6683.67				
22	4065.51	5809.73				
23	4180.73	5813.42				
24	4180.98	5876.47				
25	4549.37	5937.36				
26	4604.70	6157.19				
27	4549.37	6089.38				
28	4447.14	6031.11				
29	4255.94	6470.73				
30	6047.15	6116.70				
32	6075.43	6052.95				
39	6145.35	6093.20				
41	2615.37	5945.09				
31	6047.09	5955.31				
33	6243.06	6231.79				
34	6244.12	6069.71				
35	6215.52	6132.21				
36	6145.28	5853.88				
37	6145.28	5926.98				
38	6145.28	5994.77				
40	6144.29	7784.94				
[VERTICES]						
;Link	X-Coord	Y-Coord				
7	6075.35	6133.05				
11	5933.14	6050.63				
11	5932.25	6293.84				
11	5931.36	6537.06				
11	5149.58	6990.45				
12	4446.61	6361.09				
15	4605.51	6121.69				
21	3803.61	6357.39				
24	4082.21	6196.37				
26	3737.93	6770.52				
30	3451.91	6130.69				
31	3487.93	6252.51				
33	3733.69	6110.56				
33	3735.81	6040.65				
34	2786.66	6221.26				
34	2786.66	5846.26				

```

35      2739.24    6017.47
40      2270.96    6144.17
6       6074.63    5972.26
9       6215.52    6213.78
10      6215.52    6052.77

[LABELS]
;X-Coord      Y-Coord
Label & Anchor Node

[BACKDROP]
DIMENSIONS    0.00    0.00    10000.00    10000.00
UNITS         None
FILE          C:\Users\BigHouse\Documents\Gabriel\ISOM/TRICO
              APARTAMENTO COM ARQUITETURA.wmf
OFFSET        0.00    0.00

[END]

```

B.2 Arquivo de relatório (*.rpt)

```

*****
*                      EPANET 2.0 Brasil                      *
*                      Hidráulica e Qualidade da Água          *
*                      Simulação da Rede                       *
*                      Versão 2.00.11                          *
*****

```

Arquivo de Rede: final-atualizado2.net

Tabela de Trecho - Nó:

Trecho: ID	Início: Nó	Fim: Nó	Comprimento m	Diâmetro mm
1	40	39	6.25	44
7	32	30	0.45	27.8
11	30	29	10.15	27.8
12	29	28	2.55	21.6
13	28	27	0.53	17
14	27	25	0.6	17
15	27	26	0.5	21.6
16	28	24	1.4	21.6
17	24	22	0.53	21.6
18	24	23	0.5	21.6
19	29	21	1.93	27.8
20	21	20	1.65	17
21	20	18	1	17
22	20	17	0.9	17
23	20	19	0.5	17
24	19	15	1.5	17
25	19	16	0.45	17
26	21	14	2.5	21.6
27	14	13	1.65	21.6
28	13	12	0.45	17
29	12	10	0.45	17
30	12	11	0.3	17
31	13	9	1.1	17

32	9	8	1	17
33	9	7	1	17
34	14	41	5.85	27.8
35	41	6	1.2	17
36	41	5	0.76	21.6
37	5	3	0.9	17
38	5	4	0.49	21.6
39	4	2	0.45	17
40	4	1	1.71	17
2	37	36	2.8	35.2
3	38	37	2.8	35.2
4	39	38	2.8	44.0
5	39	32	0.3	35.2
6	32	31	0.45	27.8
8	39	35	0.3	35.2
9	35	33	0.45	27.8
10	35	34	0.45	27.8

Resultados nos Nós:

Nó ID	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m	Qualidade
1	0.19	3.31	1.21	0.00
2	0.08	3.80	3.25	0.00
3	0.04	3.85	3.65	0.00
4	0.00	3.82	2.72	0.00
5	0.00	3.85	2.75	0.00
6	0.04	3.90	3.30	0.00
7	0.10	3.55	2.95	0.00
8	0.15	3.28	1.18	0.00
9	0.00	3.59	2.49	0.00
10	0.10	3.76	3.56	0.00
11	0.15	3.71	3.16	0.00
12	0.00	3.78	3.33	0.00
13	-0.15	3.86	2.76	0.00
14	-0.20	4.04	1.29	0.00
15	0.08	3.64	1.54	0.00
16	0.19	3.64	3.09	0.00
17	0.16	3.86	3.66	0.00
18	0.16	3.81	3.21	0.00
19	0.00	3.73	2.63	0.00
20	-0.24	3.92	2.82	0.00
21	-0.24	4.45	1.70	0.00
22	0.25	3.92	2.82	0.00
23	0.14	3.93	3.33	0.00
24	0.00	3.95	2.85	0.00
25	0.18	3.87	3.27	0.00
26	0.09	3.95	2.65	0.00
27	0.00	3.96	2.86	0.00
28	-0.19	4.14	3.04	0.00
29	-0.30	4.62	1.87	0.00
30	0.00	6.92	5.52	0.00
32	-0.46	7.18	5.98	0.00
39	-1.78	7.31	6.11	0.00
41	0.00	3.91	2.81	0.00
31	0.78	6.92	5.92	0.00
33	0.78	6.92	5.52	0.00
34	0.78	6.92	5.92	0.00
35	-0.46	7.18	7.18	0.00
36	1.55	6.18	13.38	0.00
37	0.65	6.47	10.87	0.00
38	0.49	7.02	8.62	0.00
40	-3.11	10.00	0.00	0.00 RNF

Resultados nos Trechos:

Trecho: ID	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km	Estado
1	3.11	2.05	430.75	Open
7	0.78	1.29	573.45	Open
11	0.78	1.29	226.22	Open
12	0.47	1.28	188.03	Open
13	0.27	1.19	355.47	Open
14	0.18	0.79	150.60	Open
15	0.09	0.25	14.55	Open
16	0.39	1.06	141.65	Open
17	0.25	0.68	57.82	Open
18	0.14	0.38	38.12	Open
19	0.61	1.00	92.51	Open
20	0.35	1.54	319.35	Open
21	0.16	0.70	112.75	Open
22	0.16	0.70	61.29	Open
23	0.27	1.19	370.16	Open
24	0.08	0.35	61.99	Open
25	0.19	0.84	202.65	Open
26	0.50	1.36	161.44	Open
27	0.35	0.96	111.27	Open
28	0.25	1.10	179.10	Open
29	0.10	0.44	32.92	Open
30	0.15	0.66	239.93	Open
31	0.25	1.10	248.39	Open
32	0.15	0.66	302.21	Open
33	0.10	0.44	34.57	Open
34	0.35	0.58	22.51	Open
35	0.04	0.18	6.57	Open
36	0.31	0.85	73.88	Open
37	0.04	0.18	6.18	Open
38	0.27	0.74	69.29	Open
39	0.08	0.35	38.79	Open
40	0.19	0.84	299.91	Open
2	1.55	1.59	103.03	Open
3	2.20	2.26	196.76	Open
4	2.69	1.77	103.38	Open
5	1.10	1.13	431.44	Open
6	0.78	1.29	573.45	Open
8	1.10	1.13	431.44	Open
9	0.78	1.29	573.45	Open
10	0.78	1.29	573.45	Open