



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

BRUNO COSTA SIMÕES

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA
DIMENSIONAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
UTILIZANDO OS SOFTWARES EXCEL E EPANET.**

Recife

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

BRUNO COSTA SIMÕES

**COMPARAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA
DIMENSIONAR UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
UTILIZANDO OS SOFTWARES EXCEL E EPANET.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção da Graduação em Engenharia Civil
pela Universidade Federal de Pernambuco.

Professor Paulo Tadeu Ribeiro Gusmão,
Presidente da Banca – Orientador

Professor José Mariano de Sá Aragão,
Membro

Engenheiro Sérgio Pontes,
Membro

Recife

2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S593c Simões, Bruno Costa.

Comparação de diferentes metodologias para dimensionar um sistema de distribuição de água utilizando os softwares Excel e Epanet / Bruno Costa Simões. – Recife: O Autor, 2013.

29 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Tadeu Ribeiro Gusmão.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2013.

Inclui Referências.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo, seu fôlego de vida em mim foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

À minha família por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe e esposa, seus cuidados e dedicações foram que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida.

Ao Curso de Engenharia Civil da UFPE e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram as melhores experiências da minha formação acadêmica.

Ao professor Paulo Tadeu, por seus ensinamentos, paciência e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades no Centro de Tecnologia e Geociências – CTG. É um prazer tê-lo como Orientador.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	O LOTEAMENTO	7
2.1	Histórico	7
3	DADOS DO PROJETO	8
3.1	População de projeto	8
3.2	Vazão de projeto	8
3.2.1	Consumo previsto para a expansão da rede no Loteamento Luar de Angelita	8
3.2.2	Consumo previsto para o Loteamento Luar de Carmen Leda.....	9
4	METODOLOGIAS DE PROJETO, CRITÉRIOS E SOFTWARES	10
4.1	DIMENSIONAMENTOS A PARTIR DO EXCEL	10
4.1.1	Método do Seccionamento Fictício.....	10
4.1.2	Critérios	11
4.1.3	PLANILHA.....	12
4.1.4	Verificação dos pontos seccionados.....	17
4.2	SIMULAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS A PARTIR DO EPANET.....	18
4.2.1	Método do Gradiente.....	18
4.2.2	Critérios	18
4.2.3	Plataforma EPANET	20
5	RESULTADOS	24
5.1	Análise dos parâmetros do trecho	24
5.1.1	Análise das velocidades nos trechos	24
5.1.2	Análise das perdas de cargas nos trechos.....	25
5.1.3	Análise das vazões nos trechos	26
5.2	Análise dos parâmetros do nó	27
5.2.1	Pressões nos nós	27
6	CONCLUSÃO	28
7	REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O trabalho tem por objetivo o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água em um loteamento, onde se levará em conta uma expansão futura, situado na cidade de Patos – PB, composto de um reservatório elevado e uma rede de distribuição de água malhada sem levar em consideração a busca da alternativa de projeto que minimize o custo total do sistema.

O método fictício será usado para equilibrar, hidraulicamente, a rede de abastecimento, em escoamento permanente, proporcionando, como resposta, os diâmetros dos trechos, as pressões disponíveis nos nós e a altura manométrica na alimentação do sistema de distribuição de água.

Para facilitar os cálculos repetitivos, o sistema será dimensionado no programa Excel e posteriormente, com o auxílio do programa EPANET, simular, através do método do gradiente, o comportamento hidráulico do sistema pressurizado de distribuição de água.

2 O LOTEAMENTO

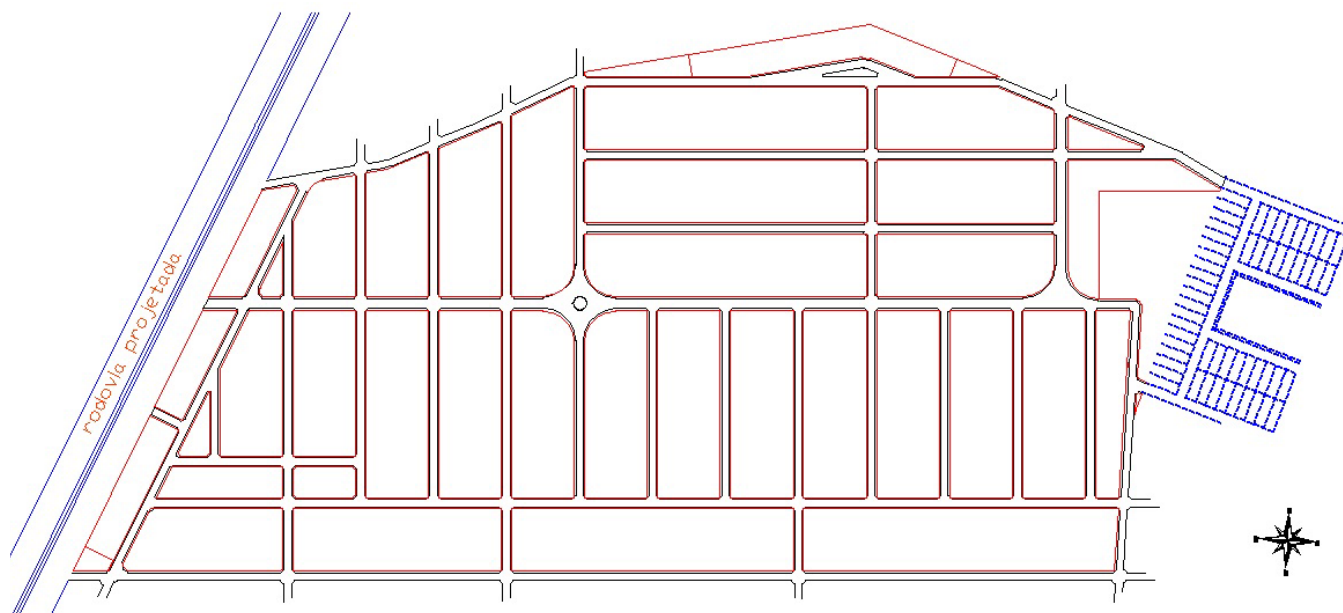
2.1 Histórico

O loteamento encontra-se na cidade de Patos – PB que até meados do século XVII, toda a zona que abrange o território do atual Município de Patos era habitada pelos índios Pegas e Panatis.

O lugar primeiramente devassado chamava - se Itatiunga - nome dado pelos gentios que significa "pedra branca". Mais tarde, passou a chamar-se Patos.

Segundo a tradição, a denominação de Patos originou-se do nome de uma lagoa, hoje aterrada, situada às margens do rio Espinharas, a qual era conhecida por Lagoa dos Patos, em virtude da grande quantidade dessas aves ali existentes.

A área onde será o “Loteamento Luar Carmen Lêda” possui 439.833,17m² de área Total, sendo distribuídos da seguinte forma: 302.787,38m² de áreas de Lotes; 40.552,97m² de áreas verdes, praças e equipamento comunitário; 69.672,66m² de área de Arruamento; 26.820,16m² de área de Calçada, composto de 31 (trinta e uma) quadras, com o Total de 992 (novecentos e noventa e dois) Lotes.



Planta 01 – Área para estudo de dimensionamento

3 DADOS DO PROJETO

3.1 População de projeto

Conforme o tipo de edificação a ser implantada existe uma imediata ocupação das habitações. Portanto, foram dispensadas as previsões para etapas posteriores, no caso, alcance de projeto. Os loteamentos possuem 1.437 lotes, constituído de 992 lotes do LOTEAMENTO LUAR DE CARMEN LÊDA e 445 lotes pertencentes ao LOTEAMENTO LUAR DE ANGELITA que será um empreendimento futuro e é levada em conta como expansão da rede no estudo. Nessa área serão edificadas residências térreas a uma taxa de ocupação de 5 habitantes por unidade habitacional perfazendo uma população total de 7.185 habitantes.

3.2 Vazão de projeto

3.2.1 Consumo previsto para a expansão da rede no Loteamento Luar de Angelita

Para a determinação da vazão a ser utilizada no pré-dimensionamento do sistema de abastecimento de água do loteamento, deverá ser levado em conta:

- K1: coeficiente do dia de maior consumo = 1,20;
- K2: coeficiente da hora de maior consumo = 1,50;
- Consumo per capita para população abastecida com ligações domiciliares segundo o Manual de Saneamento (CESET /UNICAMP – item 2.5.2) – (q) = 150 litros/dia.hab;
- População (p) = 2.225 habitantes.

A vazão máxima horária demandada expressa em litros por segundo será dada pela expressão

$$Q_m = q \times K1 \times K2 \times p / 86.400$$

Tendo-se assim:

$$Q_{\text{máx, horária}} = 6,953 \text{ l/s}$$

3.2.2 Consumo previsto para o Loteamento Luar de Carmen Leda

Para a determinação da vazão a ser utilizada no pré-dimensionamento do sistema de abastecimento de água do loteamento Luar de Carmen Leda, deverá ser levado em conta:

- K1: coeficiente do dia de maior consumo = 1,20;
- K2: coeficiente da hora de maior consumo = 1,50;
- Consumo per capita para população abastecida com ligações domiciliares segundo o Manual de Saneamento (CESET) – (q) = 150 litros/dia.hab;
- População (p) = 4.960 habitantes.

A vazão máxima horária demandada expressa em litros por segundo será dada pela expressão:

$$Q_m = q \times K1 \times K2 \times p / 86.400$$

Tendo-se assim:

$$Q_{\text{máx, horária}} = 15,50 \text{ l/s}$$

3.2.2.1 Cálculo da vazão em marcha para o Loteamento Luar de Carmen Leda

A vazão em marcha será adotada para todos os trechos da rede, exceto no trecho que vai do Reservatório ao Nó 1, pois não existe consumo.

$$Q_{\text{marcha}} = \frac{Q_{\text{máx, horária}}}{L_{\text{marcha}}} \text{ (l/s.m)} \quad (04)$$

onde: $L_{\text{marcha}} = L_{\text{total}}$ = comp. da rede com vazão em marcha = 9.439,15m. (Retirado trechos sem distribuição)

$$Q_{\text{marcha}} = \frac{15,50}{9439,15} = 0,001642097 \text{ l / s.m}$$

4 METODOLOGIAS DE PROJETO, CRITÉRIOS E SOFTWARES

4.1 DIMENSIONAMENTOS A PARTIR DO EXCEL

4.1.1 Método do Seccionamento Fictício

Nesse método a rede malhada é transformada em uma rede ramificada fictícia, onde os circuitos fechados são seccionados. Desse modo os sentidos de escoamento são fixados, sendo recomendado adotar o critério que a água deve percorrer o trajeto mais curto até cada ponto da rede.

O dimensionamento é feito de forma semelhante ao de redes ramificadas, porém é necessário verificar a hipótese dos seccionamentos adotados, onde as pressões resultantes nos pontos de seccionamento devem ser aproximadamente iguais, tais que as diferenças não excedam 5%.

Caso as pressões obtidas não estejam adequadas ou a altura do reservatório esteja muito elevada, é necessário alterar o traçado da rede, o seccionamento adotado ou o diâmetro de alguns trechos. Feita a alteração, a rede é recalculada até chegar uma solução satisfatória.

Esse método é indicado para redes de abastecimento de cidades pequenas e para verificação de linhas secundárias das redes principais.

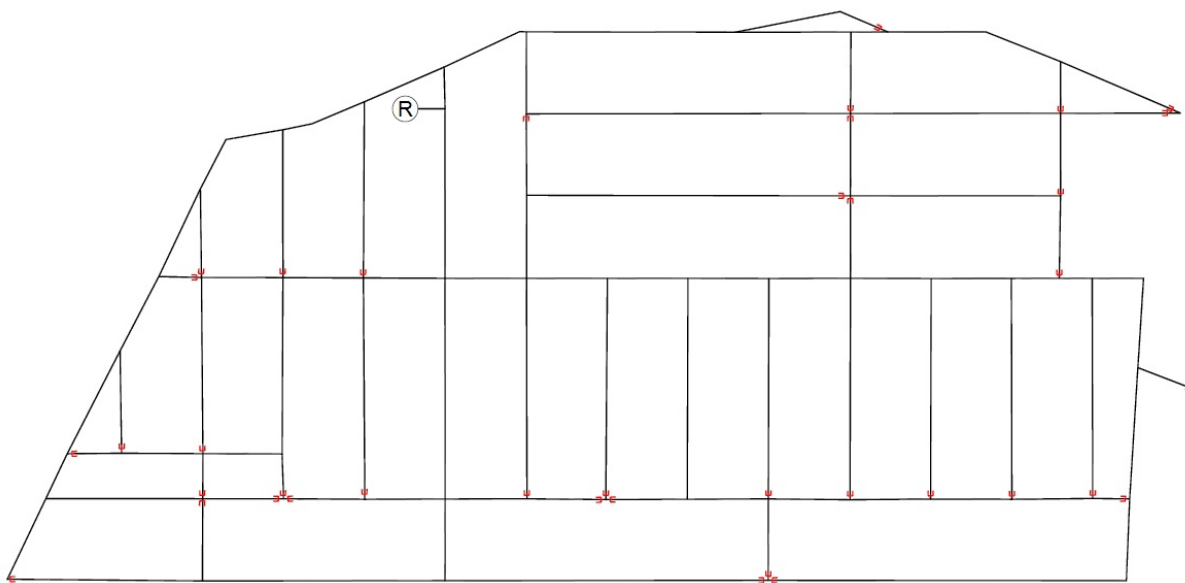


Figura 01 – Rede malhada seccionada

4.1.2 Critérios

A norma NBR 12218 da ABNT (Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público), diz que o cálculo da perda de carga unitária deve ser feito preferencialmente pela fórmula universal. No entanto, foi usada a fórmula de Hazen-Williams para comparar efetivamente com os cálculos do EPANET (usa a fórmula de Hazen-Williams no dimensionamento), mediante o emprego das seguinte equação:

$$J = 10,68 \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}}, \text{ onde :}$$

J = Perda de carga unitária em m/m; Q = Vazão em m³/s;

D = Diâmetro interno em m; e C = Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (para tubos de PVC novos é sugerido, por Azevedo Netto, 1998, coeficiente “C” igual a 140).

A norma da ABNT, NBR 12218, impõe um diâmetro mínimo de 50 mm para as tubulações, não será possível garantir uma velocidade de 0,6 m/s caso a vazão no trecho seja menor que 1,18 l/s. A COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento, diz que deve haver uma perda de carga máxima de 8 m/km nos trechos, também não será possível atender em alguns intervalos de vazão como mostra a Tabela 1.

Vazão (l/s)			Vmín (m/s)	Vmáx (m/s)	Jmín (m/Km)	Jmáx (m/Km)	DN	D Inter (m)
1,18	Q<=	1,30	0,60	0,58	6,72	8,00	50	53,40
1,35	<Q<=	2,70	0,69	1,20	8,63	31,17	50	53,40
1,35	<Q<=	2,70	0,31	0,60	1,59	5,73	75	75,60
2,70	<Q<=	3,23	0,60	0,72	5,72	8,00	75	75,60
3,23	<Q<=	5,54	0,72	1,23	7,99	21,70	75	75,60
3,23	<Q<=	5,54	0,35	0,60	1,38	3,75	100	108,40
5,54	<Q<=	8,34	0,60	0,90	3,76	8,00	100	108,40
8,34	<Q<=	11,54	0,90	1,25	8,00	14,61	100	108,40
8,34	<Q<=	11,54	0,43	0,60	1,34	2,45	150	156,40
11,54	<Q<=	21,86	0,60	1,14	2,45	8,00	150	156,40
19,67	<Q<=	44,08	0,60	1,34	1,80	8,00	200	204,20
29,96	<Q<=	76,63	0,60	1,53	1,41	8,00	250	252,00

Tabela 1 – Fixação de diâmetros a partir das vazões, velocidades e perdas de cargas

A Tabela 1 mostra que não é possível garantir os critérios impostos pela norma em alguns intervalos de vazões. Assim foi adotada uma ordem de prioridade com base nos critérios da NBR 12218 para serem garantidos (com exceção da garantia da velocidade mínima para tubos com diâmetros de 50 mm):

- 1- Pressões (10 mca a 50 mca);
- 2- Velocidade (0,6 m/s a 3,5 m/s);
- 3- Perda de carga (no máximo 8 m/km).

A Tabela 2 sugere intervalos de vazões para serem adotados a partir da prioridade adotada com base nos critérios da norma.

Q(l/s)		Q(l/s)	V _{mín} (m/s)	V _{máx} (m/s)	J _{mín} (m/Km)	J _{máx} (m/Km)	DN	D Inter (m)
0,00	Q<=	2,70	0,00	1,20	0,00	31,17	50	53,40
2,70	<Q<=	5,54	0,60	1,23	5,73	21,70	75	75,60
5,54	<Q<=	11,54	0,60	1,25	3,75	14,61	100	108,40
11,54	<Q<=	21,86	0,60	1,14	2,45	8,00	150	156,40
21,86	<Q<=	44,08	0,67	1,34	2,18	8,00	200	204,20
44,08	<Q<=	76,63	0,88	1,53	2,87	8,00	250	252,00

Tabela 2 – Fixação de diâmetros a partir da ordem da prioridade dos critérios da norma

4.1.3 PLANILHA

A aplicação dessas fórmulas com as unidades indicadas e a observação do traçado da rede (lembrar que agora ela encontra-se ramificada devido ao método do seccionamento fictício) e dos critérios adotados no cálculo das vazões resultou na determinação das pressões dinâmicas nos diversos nós. Esses resultados estão indicados na Planilha 1 elaborada a partir do Excel com a sequencia de cálculos a seguir:

1. Coluna (1) – Número do trecho;
2. Coluna (2) – Comprimento do trecho, medidos na própria planta;

3. Coluna (3) – Vazão de montante (QM), será igual a vazão de jusante (QJ) somado a vazão em marcha, $QM = QJ + Q_m$;

4. Coluna (4) – Vazão em marcha. A vazão em marcha é aquela consumida em cada trecho, ou seja: $Q_m = q_m$ (vazão de distribuição) x l (comprimento do trecho considerado);

5. Coluna (5) – Vazão de jusante em cada trecho (QJ). Nos trechos de ponta (seccionados) as vazões de jusante serão sempre iguais a 0,00 (zero), exceto em casos em que se deseje conservar uma demanda futura;

6. Coluna (6) – Vazão fictícia (Qf), será a média aritmética entre as vazões de montante QM e a vazão de jusante QJ;

7. Coluna (7) – Diâmetro “DN”, determinado pela Tabela 2 de limites de velocidade e a vazão fictícia (QF);

8. Coluna (8) – Velocidade (m/s). Calculada para cada trecho, demonstrando que os limites foram respeitados;

9. Colunas (10 e 13) – Cotas piezométricas de montante e jusante. Identificado o nó em posição mais desfavorável, estabelece-se para ele uma pressão igual ou pouco superior a mínima arbitrada;

10. Coluna (11) – Perda de carga (J (m/m), correspondente a perda unitária, calculada através da fórmula de Hazen – Williams, para $C=140$;

11. Coluna (12) – Perda de carga total h_f em metros, correspondente a perda unitária multiplicada pelo comprimento do trecho;

12. Colunas (14 e 15) – Cotas do terreno, retiradas das plantas de projeto, nos pontos de montante e jusante, respectivamente;

13. Colunas 16 e 17 – Pressões disponíveis a montante e a jusante.

Pressão disponível a montante = cota piezométrica de montante – cota do terreno de montante.

Pressão disponível de jusante = cota piezométrica de jusante – cota do terreno de jusante.

TRECHO	COMP. (m)	Q (l/s)				DN	V (m/s)	Cota Piez. mont. (m)	J m/m	Total (m)	Cota Piez. jus. (m)	Cota do terreno		Pressão - Dinâmica	
		Mont	Marcha	Jus	Fict.							Montante	Jusante	Montante	Jusante
R - 01	23,42	22,453	0,000	22,453	22,453	200	0,686	293,119	0,00229	0,054	293,065	282,00	280,00	0,00	13,06
01 - 02	146,31	17,585	0,240	17,344	17,465	150	0,909	293,065	0,00528	0,772	292,293	280,00	270,00	13,06	22,29
02 - 03	70,45	13,670	0,116	13,555	13,613	150	0,709	292,293	0,00333	0,234	292,058	270,00	271,50	22,29	20,56
03 - 04	69,81	12,018	0,115	11,903	11,961	150	0,623	292,058	0,00262	0,183	291,875	271,50	270,00	20,56	21,88
04 - 05	69,64	11,590	0,114	11,475	11,533	100	1,250	291,875	0,01459	1,016	290,859	270,00	267,00	21,88	23,86
05 - 06	70,02	10,303	0,115	10,188	10,246	100	1,110	290,859	0,01172	0,821	290,039	267,00	262,00	23,86	28,04
06 - 07	70,48	9,876	0,116	9,760	9,818	100	1,064	290,039	0,01083	0,763	289,276	262,00	259,00	28,04	30,28
07 - 08	69,80	9,328	0,115	9,214	9,271	100	1,005	289,276	0,00974	0,680	288,596	259,00	258,50	30,28	30,10
08 - 09	69,36	8,902	0,114	8,788	8,845	100	0,958	288,596	0,00893	0,619	287,977	258,50	254,50	30,10	33,48
09 - 10	41,32	8,475	0,068	8,407	8,441	100	0,915	287,977	0,00819	0,338	287,639	254,50	250,50	33,48	37,14
10 - 11	28,46	8,407	0,047	8,360	8,384	100	0,908	287,639	0,00808	0,230	287,409	250,50	250,50	37,14	36,91
11 - 12	44,42	8,048	0,073	7,975	8,012	100	0,868	287,409	0,00743	0,330	287,079	250,50	252,50	36,91	34,58
12 - 13	77,24	7,975	0,127	7,849	7,912	100	0,857	287,079	0,00726	0,561	286,518	252,50	252,50	34,58	34,02
13 - 14	51,58	7,038	0,085	6,953	6,995	100	0,758	286,518	0,00578	0,298	286,220	252,50	252,50	34,02	33,72
13 - 15	113,46	0,811	0,186	0,624	0,718	50	0,320	286,518	0,00268	0,304	286,214	252,50	250,50	34,02	35,71
15 - 36	70,72	0,624	0,116	0,508	0,566	50	0,253	286,214	0,00173	0,122	286,092	250,50	249,00	35,71	37,09
36 - 35	309,52	0,508	0,508	0,000	0,254	50	0,113	286,092	0,00039	0,121	285,970	249,00	248,50	37,09	37,47
11 - 16	190,05	0,312	0,312	0,000	0,156	50	0,070	287,409	0,00016	0,030	287,378	250,50	250,50	36,91	36,88
09 - 18	190,73	0,313	0,313	0,000	0,157	50	0,070	287,977	0,00016	0,030	287,946	254,50	250,50	33,48	37,45
08 - 19	189,82	0,312	0,312	0,000	0,156	50	0,070	288,596	0,00016	0,030	288,566	258,50	251,50	30,10	37,07
07 - 20	191,14	0,314	0,314	0,000	0,157	50	0,070	289,276	0,00016	0,031	289,245	259,00	251,50	30,28	37,75
07 - 21	71,74	0,118	0,118	0,000	0,059	50	0,026	289,276	0,00003	0,002	289,274	259,00	256,00	30,28	33,27
06 - 22	190,32	0,313	0,313	0,000	0,156	50	0,070	290,039	0,00016	0,030	290,009	262,00	252,00	28,04	38,01
05 - 23	190,65	1,172	0,313	0,859	1,016	50	0,453	290,859	0,00510	0,972	289,888	267,00	253,50	23,86	36,39
23 - 22	70,25	0,744	0,115	0,628	0,686	50	0,306	289,888	0,00246	0,173	289,715	253,50	252,00	36,39	37,71
22 - 20	70,63	0,513	0,116	0,397	0,455	50	0,203	289,715	0,00115	0,081	289,633	252,00	251,50	37,71	38,13
20 - 19	69,61	0,397	0,114	0,283	0,340	50	0,152	289,633	0,00067	0,047	289,587	251,50	251,50	38,13	38,09
19 - 18	70,36	0,283	0,116	0,167	0,225	50	0,100	289,587	0,00031	0,022	289,565	251,50	250,50	38,09	39,06
18 - 16	69,78	0,167	0,115	0,053	0,110	50	0,049	289,565	0,00008	0,006	289,559	250,50	250,50	39,06	39,06
16 - 15	32,02	0,053	0,053	0,000	0,026	50	0,012	289,559	0,00001	0,000	289,559	250,50	250,50	39,06	39,06
22 - 35	70,27	0,115	0,115	0,000	0,058	50	0,026	289,715	0,00003	0,002	289,713	252,00	248,50	37,71	41,21
23 - 24	70,25	0,115	0,115	0,000	0,058	50	0,026	289,888	0,00003	0,002	289,886	253,50	253,00	36,39	36,89
04 - 24	190,98	0,314	0,314	0,000	0,157	50	0,070	291,875	0,00016	0,031	291,845	270,00	253,00	21,88	38,84
03 - 25	190,26	0,312	0,312	0,000	0,156	50	0,070	292,058	0,00016	0,030	292,028	271,50	254,50	20,56	37,53
03 - 26	71,59	1,224	0,118	1,107	1,166	50	0,520	292,058	0,00658	0,471	291,587	271,50	276,00	20,56	15,59
26 - 21	280,07	0,991	0,460	0,531	0,761	50	0,340	291,587	0,00299	0,837	290,750	276,00	256,00	15,59	34,75
21 - 17	181,66	0,415	0,298	0,117	0,266	50	0,119	290,750	0,00043	0,077	290,673	256,00	250,50	34,75	40,17
17 - 10	71,00	0,117	0,117	0,000	0,058	50	0,026	290,673	0,00003	0,002	290,671	250,50	250,50	40,17	40,17
21 - 49	70,98	0,117	0,117	0,000	0,058	50	0,026	290,750	0,00003	0,002	290,748	256,00	254,50	34,75	36,25

Planilha 1 - Dimensionamento da Rede de Distribuição de Água a partir do Excel

TRECHO	COMP. (m)	Q (l/s)				DN	V (m/s)	Cota Piez. mont. (m)	J m/m	Total (m)	Cota Piez. jus. (m)	Cota do terreno		Pressão - Dinâmica	
		Mont	Marcha	Jus	Fict.							Montante	Jusante	Montante	Jusante
26 - 48	70,28	0,115	0,115	0,000	0,058	50	0,026	291,587	0,00003	0,002	291,586	276,00	271,00	15,59	20,59
02 - 27	190,51	2,082	0,313	1,770	1,926	50	0,860	292,293	0,01667	3,176	289,116	270,00	255,00	22,29	34,12
27 - 34	70,45	1,312	0,116	1,197	1,254	50	0,560	289,116	0,00754	0,531	288,585	255,00	250,00	34,12	38,59
34 - 35	279,42	0,459	0,459	0,000	0,229	50	0,102	288,585	0,00032	0,091	288,495	250,00	248,50	38,59	39,99
34 - 33	209,67	0,738	0,344	0,393	0,566	50	0,253	288,585	0,00172	0,361	288,224	250,00	255,50	38,59	32,72
33 - 32	168,61	0,277	0,277	0,000	0,138	50	0,062	288,224	0,00013	0,021	288,202	255,50	256,50	32,72	31,70
33 - 30	70,98	0,117	0,117	0,000	0,058	50	0,026	288,224	0,00003	0,002	288,222	255,50	253,00	32,72	35,22
27 - 25	70,65	0,228	0,116	0,112	0,170	50	0,076	289,116	0,00019	0,013	289,103	255,00	255,00	34,12	34,10
25 - 24	68,20	0,112	0,112	0,000	0,056	50	0,025	289,103	0,00002	0,002	289,101	254,50	253,00	34,60	36,10
27 - 28	69,49	0,229	0,114	0,115	0,172	50	0,077	289,116	0,00019	0,013	289,103	255,00	253,50	34,12	35,60
28 - 29	70,20	0,115	0,115	0,000	0,058	50	0,026	289,103	0,00003	0,002	289,101	253,50	252,50	35,60	36,60
02 - 37	70,58	1,591	0,116	1,476	1,534	50	0,685	292,293	0,01093	0,772	291,521	270,00	266,00	22,29	25,52
37 - 38	69,53	1,162	0,114	1,048	1,105	50	0,493	291,521	0,00596	0,414	291,107	266,00	260,50	25,52	30,61
38 - 45	152,21	0,682	0,250	0,432	0,557	50	0,249	291,107	0,00168	0,255	290,852	260,50	254,50	30,61	36,35
45 - 44	68,68	0,369	0,113	0,256	0,313	50	0,140	290,852	0,00057	0,039	290,812	254,50	254,50	36,35	36,31
44 - 43	70,26	0,192	0,115	0,077	0,135	50	0,060	290,812	0,00012	0,008	290,804	254,50	254,00	36,31	36,80
43 - 42	46,83	0,077	0,077	0,000	0,038	50	0,017	290,804	0,00001	0,001	290,803	254,00	253,50	36,80	37,30
44 - 30	38,92	0,064	0,064	0,000	0,032	50	0,014	290,812	0,00001	0,000	290,812	254,50	253,00	36,31	37,81
45 - 29	38,67	0,063	0,063	0,000	0,032	50	0,014	290,852	0,00001	0,000	290,851	254,50	252,50	36,35	38,35
38 - 39	70,47	0,365	0,116	0,250	0,307	50	0,137	291,107	0,00056	0,039	291,068	260,50	267,50	30,61	23,57
39 - 44	151,96	0,250	0,250	0,000	0,125	50	0,056	291,068	0,00010	0,016	291,052	267,50	254,50	23,57	36,55
37 - 28	191,05	0,314	0,314	0,000	0,157	50	0,070	291,521	0,00016	0,031	291,490	266,00	253,50	25,52	37,99
01 - 46	35,97	4,868	0,059	4,809	4,839	75	1,078	293,065	0,01689	0,608	292,457	280,00	274,50	13,06	17,96
46 - 56	75,13	2,152	0,123	2,028	2,090	50	0,933	292,457	0,01940	1,457	291,000	274,50	280,50	17,96	10,50
56 - 57	74,89	1,778	0,123	1,655	1,717	50	0,767	291,000	0,01348	1,009	289,991	280,50	279,50	10,50	10,49
57 - 58	97,72	1,446	0,160	1,285	1,366	50	0,610	289,991	0,00882	0,862	289,129	279,50	271,50	10,49	17,63
58 - 40	83,69	1,160	0,137	1,022	1,091	50	0,487	289,129	0,00582	0,487	288,642	271,50	268,00	17,63	20,64
40 - 41	72,17	0,962	0,119	0,843	0,903	50	0,403	288,642	0,00410	0,296	288,346	268,00	261,50	20,64	26,85
41 - 42	99,89	0,698	0,164	0,534	0,616	50	0,275	288,346	0,00202	0,202	288,145	261,50	253,50	26,85	34,64
42 - 31	42,81	0,534	0,070	0,464	0,499	50	0,223	288,145	0,00137	0,058	288,086	253,50	255,00	34,64	33,09
31 - 32	77,30	0,127	0,127	0,000	0,063	50	0,028	288,086	0,00003	0,002	288,084	255,00	255,50	33,09	32,58
31 - 30	135,17	0,337	0,222	0,115	0,226	50	0,101	288,086	0,00031	0,043	288,044	255,00	253,00	33,09	35,04
30 - 29	69,88	0,115	0,115	0,000	0,057	50	0,026	288,044	0,00002	0,002	288,042	253,00	252,50	35,04	35,54
41 - 43	88,53	0,145	0,145	0,000	0,073	50	0,032	288,346	0,00004	0,003	288,343	261,50	254,00	26,85	34,34
40 - 39	36,90	0,061	0,061	0,000	0,030	50	0,014	288,642	0,00001	0,000	288,642	268,00	267,50	20,64	21,14
58 - 39	76,44	0,126	0,126	0,000	0,063	50	0,028	289,129	0,00003	0,002	289,127	271,50	267,50	17,63	21,63
57 - 38	127,59	0,210	0,210	0,000	0,105	50	0,047	289,991	0,00008	0,010	289,981	279,50	260,50	10,49	29,48
56 - 37	152,21	0,250	0,250	0,000	0,125	50	0,056	291,000	0,00011	0,016	290,984	280,50	266,00	10,50	24,98
46 - 47	78,82	2,658	0,129	2,528	2,593	50	1,158	292,457	0,02892	2,279	290,178	274,50	269,50	17,96	20,68

Planilha 1 - Dimensionamento da Rede de Distribuição de Água a partir do Excel (Continuação)

TRECHO	COMP. (m)	Q (l/s)				DN	V (m/s)	Cota Piez. mont. (m)	J m/m	Total (m)	Cota Piez. jus. (m)	Cota do terreno		Pressão - Dinâmica	
		Mont	Marcha	Jus	Fict.							Montante	Jusante	Montante	Jusante
47 - 52	180,44	1,366	0,296	1,070	1,218	50	0,544	290,178	0,00714	1,288	288,890	269,50	260,00	20,68	28,89
52 - 53	100,06	0,844	0,164	0,680	0,762	50	0,340	288,890	0,00299	0,299	288,591	260,00	256,00	28,89	32,59
53 - 54	32,02	0,564	0,053	0,512	0,538	50	0,240	288,591	0,00157	0,050	288,541	256,00	256,00	32,59	32,54
54 - 55	154,04	0,512	0,253	0,259	0,385	50	0,172	288,541	0,00085	0,130	288,410	256,00	257,50	32,54	30,91
55 - 51	112,94	0,185	0,185	0,000	0,093	50	0,041	288,410	0,00006	0,007	288,403	257,50	254,00	30,91	34,40
55 - 50	44,59	0,073	0,073	0,000	0,037	50	0,016	288,410	0,00001	0,000	288,410	257,50	254,50	30,91	33,91
53 - 49	70,31	0,115	0,115	0,000	0,058	50	0,026	288,591	0,00003	0,002	288,589	256,00	254,50	32,59	34,09
52 - 54	137,57	0,226	0,226	0,000	0,113	50	0,050	288,890	0,00009	0,012	288,878	260,00	256,00	28,89	32,88
47 - 48	70,86	1,162	0,116	1,046	1,104	50	0,493	290,178	0,00595	0,421	289,756	269,50	271,00	20,68	18,76
48 - 49	280,18	1,046	0,460	0,586	0,816	50	0,364	289,756	0,00340	0,952	288,805	271,00	254,50	18,76	34,30
49 - 50	181,65	0,586	0,298	0,287	0,437	50	0,195	288,805	0,00107	0,194	288,611	254,50	254,50	34,30	34,11
50 - 51	103,58	0,170	0,170	0,000	0,085	50	0,038	288,611	0,00005	0,005	288,606	254,50	254,00	34,11	34,61
50 - 17	71,43	0,117	0,117	0,000	0,059	50	0,026	288,611	0,00003	0,002	288,609	254,50	250,50	34,11	38,11

Planilha 1 - Dimensionamento da Rede de Distribuição de Água a partir do Excel (Continuação)

4.1.4 Verificação dos pontos seccionados

As pressões, em cada nó seccionado, são encontrados e comparados para cada sentido de escoamento. A pressão não variou acima de 10% o que garante que a diferença de vazão seja perfeitamente admissível.

NÓ	Pressão Calc.	Pressão Média	Máxima Dif.	% Pressão Média	NÓ	Pressão Calc.	Pressão Média	Máxima Dif.	% Pressão Média
10	37,139	38,655	3,03	7,84	32	31,702	32,143	0,88	2,74
	40,171					32,584			
15	35,714	37,386	3,34	8,95	35	41,213	39,342	3,74	9,51
	39,059					37,470			
16	36,878	37,969	2,18	5,74	37	39,995	25,253	0,54	2,13
	39,059					25,521			
17	40,173	39,141	2,06	5,27	38	24,984	30,044	1,13	3,75
	38,109					30,607			
18	37,446	38,255	1,62	4,23	39	29,481	21,384	0,49	2,27
	39,065					23,568			
19	37,066	37,576	1,02	2,72	42	21,142	35,974	2,66	7,39
	38,087					21,627			
20	37,745	37,939	0,39	1,02	43	34,645	35,573	2,46	6,92
	38,133					37,303			
21	33,274	34,012	1,48	4,34	44	34,343	36,432	0,24	0,66
	34,750					36,804			
22	38,009	37,862	0,29	0,78	48	36,552	19,671	1,83	9,30
	37,715					36,312			
24	38,845	37,865	1,96	5,17	49	18,756	35,169	2,16	6,14
	36,886					20,586			
25	36,101	35,816	3,42	9,56	50	34,089	34,010	0,20	0,59
	37,528					36,248			
28	34,103	36,797	2,39	6,49	51	34,305	34,505	0,20	0,59
	35,603					33,910			
29	35,603	36,947	2,81	7,60	54	34,403	32,709	0,34	1,03
	37,990					34,606			
30	36,601	36,517	2,59	7,09		32,541			
	35,542					32,878			
	38,351								
	35,222								
	35,044								
	37,812								

Planilha 2 – Pressões nos pontos seccionados para análise.

4.2 SIMULAÇÃO E OBTENÇÃO DE DADOS A PARTIR DO EPANET

4.2.1 Método do Gradiente

A solução para o valor da carga hidráulica e para a vazão num ponto particular da rede, em determinado instante, é obtida resolvendo, simultaneamente, a equação da continuidade (conservação da massa), para cada nó, e a equação da conservação da energia, para cada trecho da rede. Este procedimento, designado por “Balanço Hidráulico” da rede, requer a utilização de técnicas iterativas para resolver as equações não lineares envolvidas. O EPANET emprega o “Método do Gradiente” para atingir este objetivo.

4.2.2 Critérios

A modelagem do sistema de abastecimento no EPANET segue os parâmetros encontrados no dimensionamento pelo EXCEL, pois o mesmo utiliza os critérios estabelecidos pela norma da ABNT, NBR 12218 (1994).

O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle. Os nós representam pontos de consumo, junções e reservatório de nível fixo.

São de necessidade para o abastecimento do EPANET os seguintes parâmetros:

- Escolha da equação de perda de carga junto com seu coeficiente de rugosidade (Hazen-Williams, o mesmo usado no método fictício, com “C” igual a 140);
- Cota para cada Nó (obtido na planta do projeto);
- Comprimento de cada Trecho (obtido na planta do projeto);
- Diâmetro dos tubos nos trechos (obtido na planilha de dimensionamento do Excel);
- Cota do nível do reservatório (obtido na planilha de dimensionamento do Excel);

- Distribuição de vazão nos Nós (diferente do método fictício a distribuição do consumo nos Nós, no EPANET, não será calculada a partir da vazão em marcha, pois a vazão é distribuída, nos Nós, de acordo com a área de influencia de cada Nó).

A Figura 02 mostra como cada Nó teve sua área (hachurada) de influencia determinada.

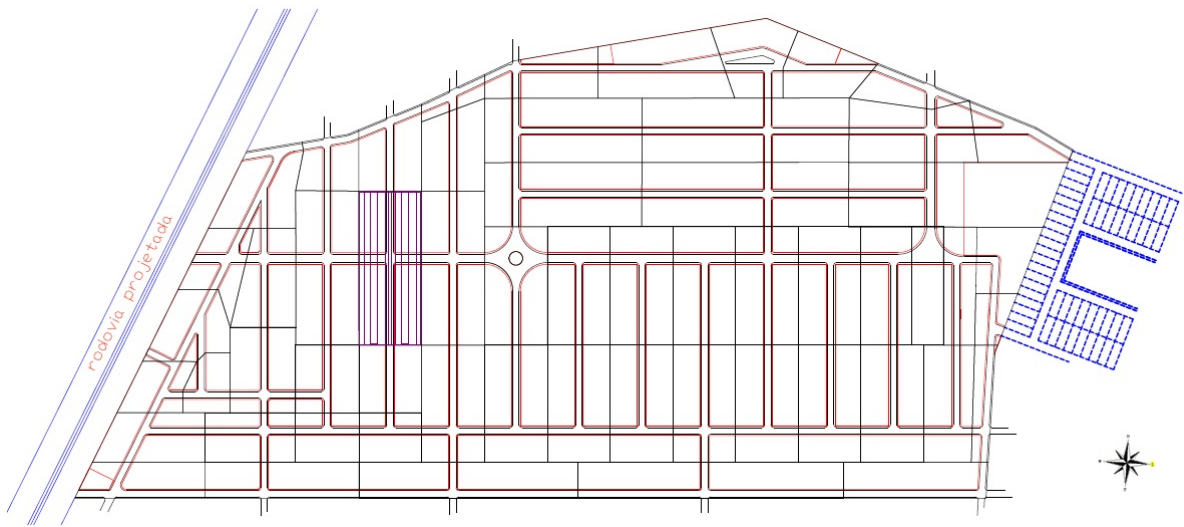


Figura 02 – Área de influencia de cada Nó

4.2.3 Plataforma EPANET

Dentre os modelos de simulação hidráulica já desenvolvidos, o EPANET pode ser destacado pela confiabilidade e quantidade de usuários existentes em muitos países. Esse programa é um software de domínio público, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency – EPA, que pode ser utilizado livremente por qualquer usuário (GOMES, 2004).

Além da utilização das planilhas de cálculo, se utilizará o programa EPANET cuja finalidade é conferir os valores dos cálculos hidráulicos encontrados nas planilhas. É um programa de simulação hidráulica, energética e de qualidade de água. Esse programa de computador permite fazer simulações estática e dinâmica do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. Como será mostrado mais adiante, esse programa permite que se possa obter os valores de vazão em cada tubulação e da pressão em cada nó, que será objeto deste trabalho. Uma das possibilidades desse programa é a de expansão de rede, que foi inserido neste dimensionamento.



Figura 03 – Tela de abertura do EPANET

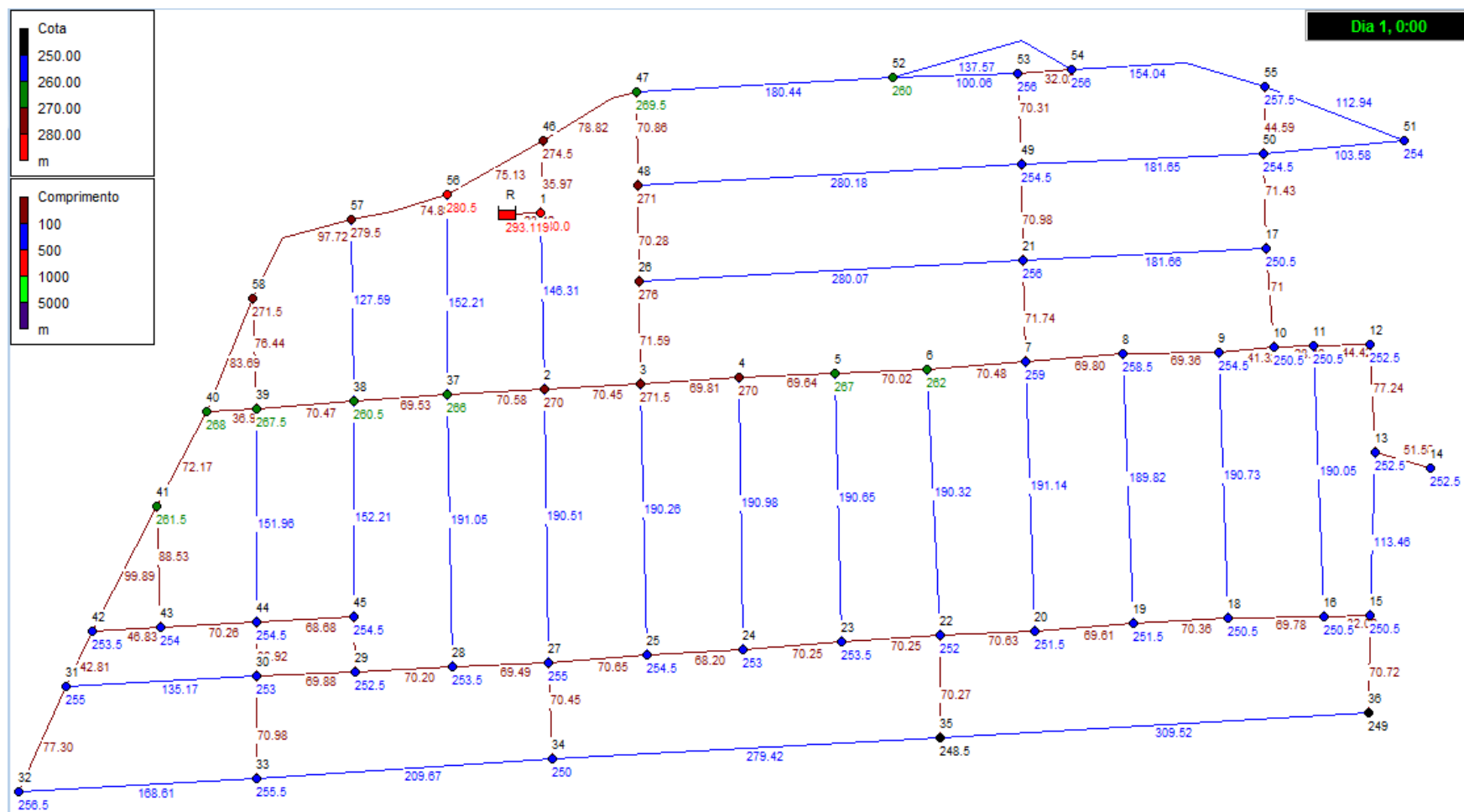


Figura 04 – Indicação do comprimento dos trechos e cotas dos nós

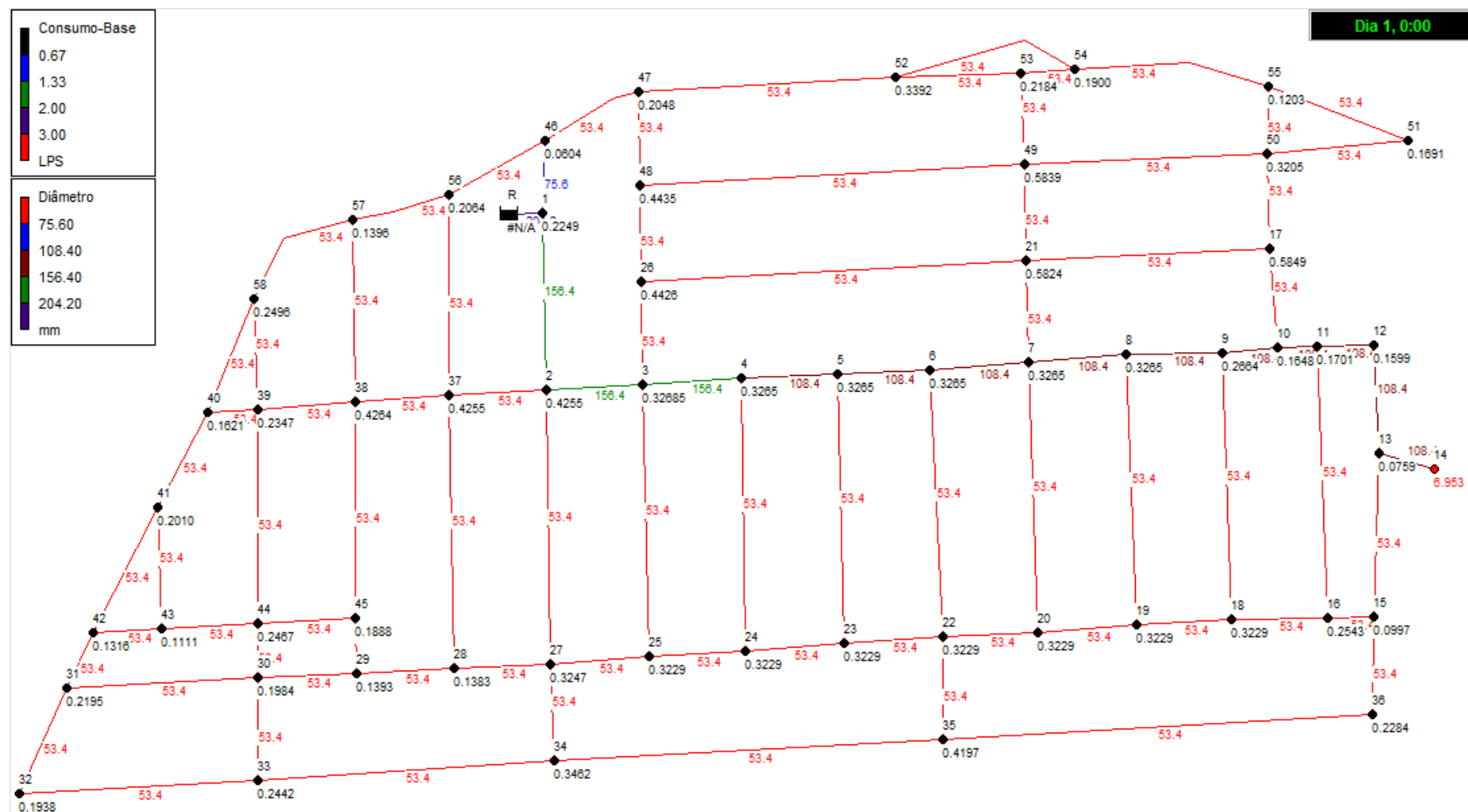


Figura 05 – Indicação dos diâmetros internos dos trechos e o consumo em cada nó

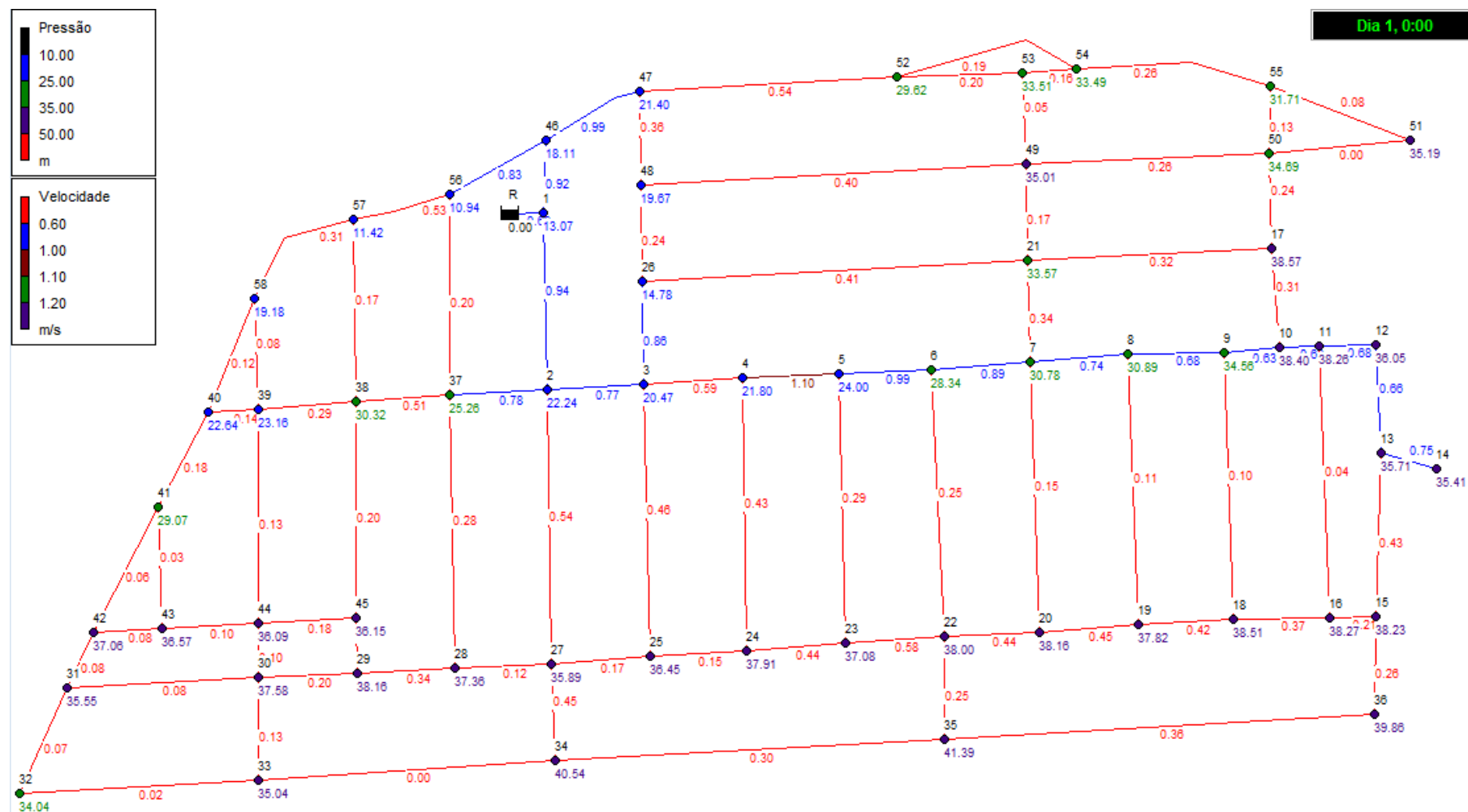


Figura 06 – Indicação da velocidade nos trechos e a pressão em cada nó

5 RESULTADOS

A finalidade primordial de um sistema de abastecimento de água é fornecer em cada ponto da rede a pressão necessária e suficiente para atendimento das edificações.

Abaixo são analisados os parâmetros característicos dos trechos (velocidade, perda e vazão) e o parâmetro primordial (pressão no nó) pelo método fictício, com o uso da planilha do software Microsoft Excel, e utilizando o software EPANET.

5.1 Análise dos parâmetros do trecho

5.1.1 Análise das velocidades nos trechos

Devido aos resultados obtidos de acordo com a imposição a que a norma da ABNT, NBR 12218 (1994) faz a respeito dos limites de velocidade que varia entre 0,60 a 3,50 m/s, o dimensionamento pelos dois métodos está aprovado.

Geralmente nos finais das redes, onde os diâmetros são de 50 mm, não é possível garantir a velocidade mínima exigida pela norma ($V_{\min} = 0,6 \text{ m/s}$), já que a vazão de atendimento de poucas casas é muito baixa. Isto acontece em cerca de 85% dos trechos.

Em relação à diferença de amplitudes das velocidades pelos dois métodos é justificável devido à diferença de distribuição de consumo. No método fictício a distribuição é feita pelo dimensionamento da vazão em marcha para cada trecho. Já o método usado pelo EPANET a distribuição é calculada de acordo com a área de influencia de cada nó. Desta forma seria impossível obter velocidades com as mesmas amplitudes.

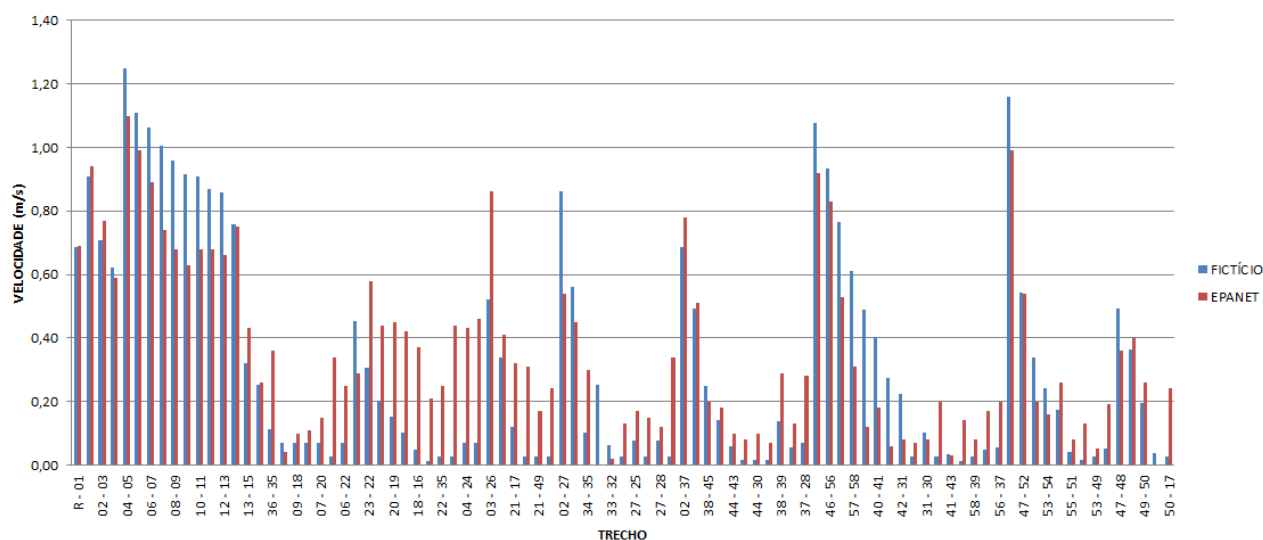


Gráfico 01 – Comparativo de velocidades em cada método

5.1.2 Análise das perdas de cargas nos trechos

Os resultados obtidos de acordo com a imposição a que a norma da ABNT, NBR 12218 (1994) faz a respeito dos limites de perda de carga que é estipulado no máximo 8 m/km, o dimensionamento pelos dois métodos sofreram com as prioridades dadas no dimensionamento, pois a de perda de carga é a ultima a ser garantida.

A perda de carga no trecho é função da vazão e de velocidade. Desta forma haverá também diferenças nos resultados entre os dois métodos. No método fictício a distribuição é feita pelo dimensionamento da vazão em marcha para cada trecho. Já o método usado pelo EPANET, a distribuição é calculada de acordo com a área de influencia de cada nó. Desta forma seria impossível obter perdas de cargas com as mesmas amplitudes.

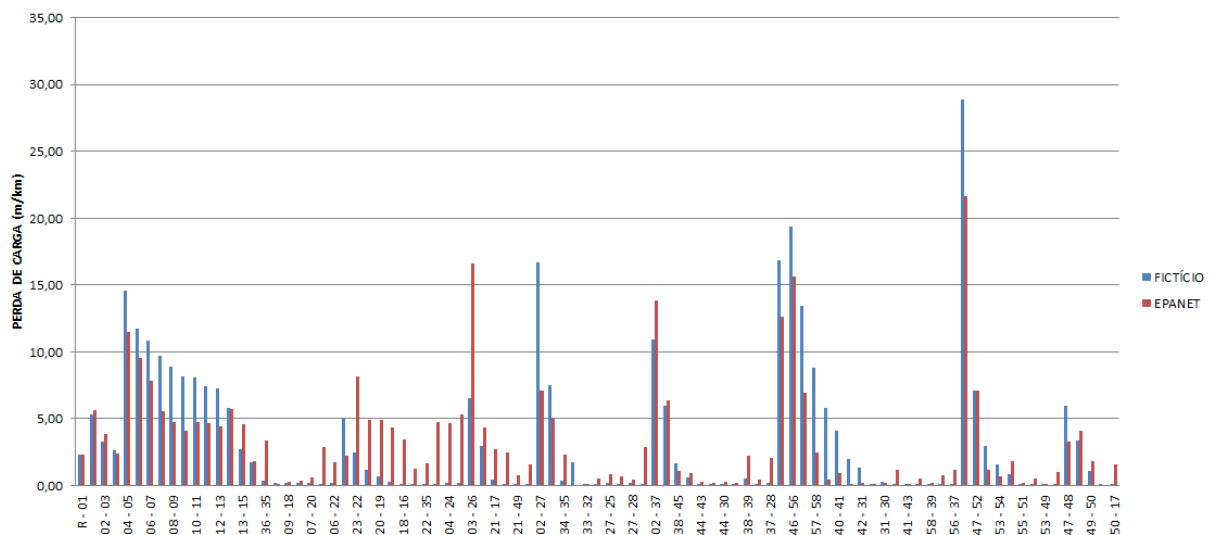


Gráfico 02– Comparativo de perda de carga em cada método

5.1.3 Análise das vazões nos trechos

Em relação à diferença de amplitudes das vazões pelos dois métodos é justificável devido à diferença de distribuição de consumo. No método fictício a distribuição é feita pelo dimensionamento da vazão em marcha para cada trecho. Já o método usado pelo EPANET a distribuição é calculada de acordo com a área de influencia de cada nó. Desta forma seria impossível obter vazões com as mesmas amplitudes.

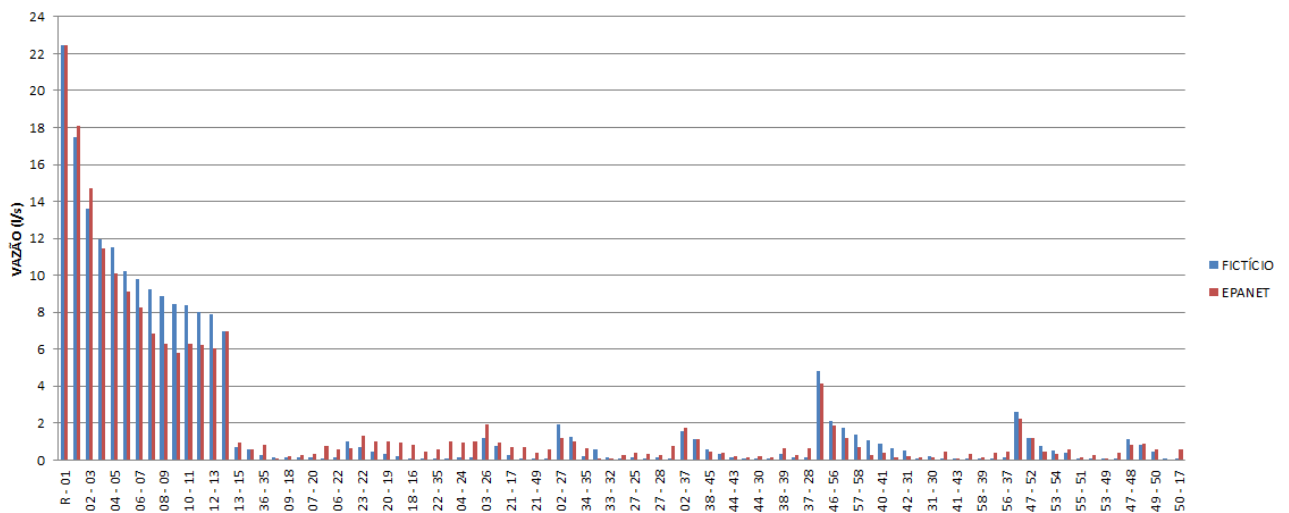


Gráfico 03 – Comparativo de perda de carga em cada método

5.2 Análise dos parâmetros do nó

5.2.1 Pressões nos nós

A pressão no nó é o parâmetro que serve de comparativo entre qualquer método de modelagem hidráulica. É a pressão que define a vazão que sairá em uma torneira, que nada mais é que um orifício, cuja vazão é calculada pela relação:

$$Q = k \cdot \sqrt{P}$$

Sendo P a pressão, Q a vazão e k uma constante função do diâmetro e do tipo de orifício.

Pode ser observado que as pressões obtidas pelos dois métodos variam no máximo 9,23 % no nó 40, cujas pressões são de 20,64 mca 22,64 mca respectivamente para cada método. Esta diferença de pressão resulta em uma diferença de 4,5% na vazão o que é perfeitamente aceitável.

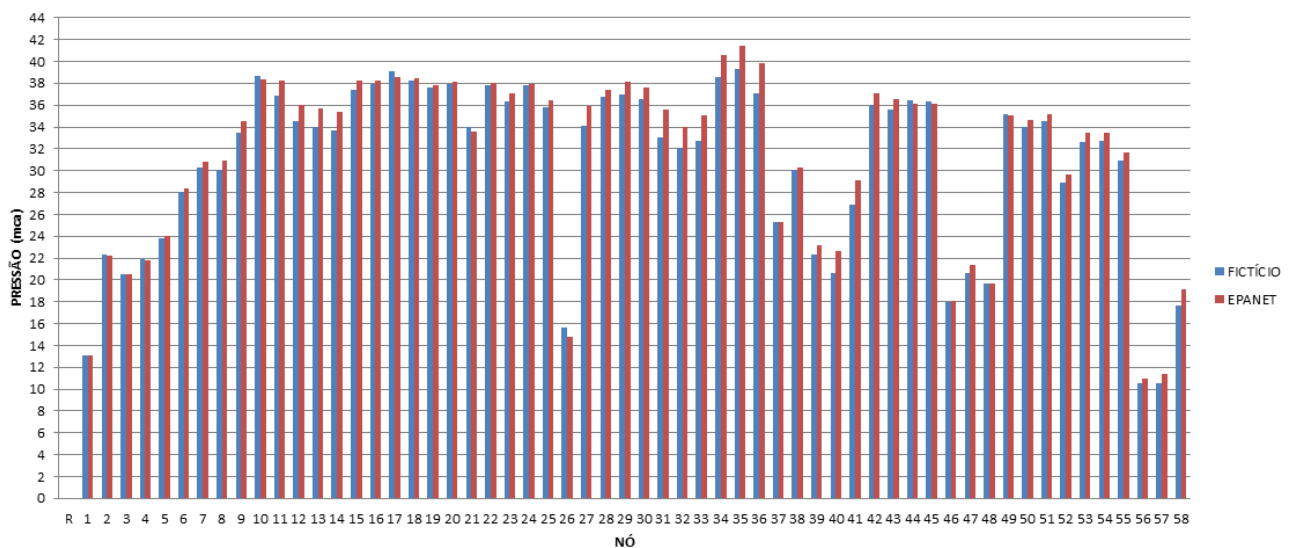


Gráfico 04 – Comparativo de pressões em cada método

6 CONCLUSÃO

A análise comparativa entre as modelagens hidráulicas disponíveis ao usuário deve ser feita utilizando os parâmetros dos **nós**, notadamente, a pressão. Entre o EPANET e o método do seccionamento fictício, os parâmetros dos **trechos** sofrem maior grau de variação devido às diferentes distribuições no consumo que cada método usa. No método fictício a distribuição é feita por metro de rede enquanto que no EPANET a distribuição de vazão é por unidade de área atendida.

Como pode ser constatado pelas análises anteriores, mesmo com diferenças significativas entre os parâmetros do trecho entre os dois métodos, a pressão em cada nó não variou acima de 10% o que garante que a diferença de vazão seja inferior a 5% o que é perfeitamente admissível. Aqui se pode dizer que vale a famosa máxima: “os fins justificam os meios”.

O dimensionamento pelo método fictício (considerando a vazão em marcha em cada trecho da rede) só é utilizado em pequenos sistemas. A aplicação do método exposto, através de uma planilha eletrônica permite ao projetista visualizar, em uma única tabela, todo o cálculo hidráulico de uma rede. Através dela, o projetista economiza, de forma significativa, o trabalho de edição de inúmeras equações do método, devido à capacidade que a planilha possui de editar, de forma automática, conjuntos de equações a partir das combinações de células. O método permite ao projetista efetuar simulações com respeito a diâmetros de trechos, pressões nos nós da rede, demandas de vazões e etc., até encontrar uma solução propícia.

Quanto maior a comunidade a ser abastecida, maior é o número de malhas da rede e, portanto, maior é o número de nós possíveis de seccionamento o que torna a utilização do método uma tarefa laboriosa. Assim, em comunidades de grande porte, normalmente é utilizado o Método de Hardy-Cross ou softwares como o EPANET.

A utilização de softwares para simulação hidráulica tem a vantagem de automatizar as operações que o usuário tem que executar manualmente no caso do preenchimento de dados de uma planilha EXCEL. Já existem módulos no mercado que determinam a cota automaticamente quando o usuário gera um ponto na tela

que representa um nó na rede. O sistema também calcula o comprimento dos trechos já que a rede é introduzida no modelo por coordenadas.

A vantagem desses cálculos automatizados é flexibilidade que o projetista tem para modificar o traçado da rede na tentativa da otimização. Ao executar a modificação do traçado, automaticamente todos os parâmetros de cota e comprimentos são atualizados instantaneamente e o resultado da simulação é imediato.

7 REFERÊNCIAS

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Histórico. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=251080&search=parai ba|patos#historico](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=251080&search=parai%20ba%20patos#historico)>. Acesso em: 19 de agosto de 2013.

LENHS. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Download. Disponível em: <<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>>. Acesso em: 19 de agosto de 2013.

CESET – Centro Superior de Ensino Tecnológico-UNICAMP. Manual de Saneamento. Abastecimento de Água. Consumo per capita. Disponível em: <http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST514/mansan02_33_51.pdf>. Acesso em: 19 de agosto de 2013.

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Abastecimento de Água. Disponível em: <<http://www.compesa.com.br/saneamento/abastecimentodeagua>>. Acesso em: 19 de agosto de 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

NETO, J. M. de Azevedo. Manual de Hidráulica. 8a edição. Editora: Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1998. 668p.

GOMES, H. P. Sistema de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3ª edição. Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2009.