

I-030 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E A SUA EFICIÊNCIA UTILIZANDO DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO COM AUXÍLIO DO SOFTWARE EPANET**Marcos de Almeida Farias⁽¹⁾**

Graduando em Engenheira Sanitária pela Universidade Federal do Pará.

Lindemberg Lima Fernandes⁽²⁾

Engenheiro Civil (UFPA). Mestre em Geofísica (UFPA). Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental (NAEA/UFPA). Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPA).

Ana Rosa Baganha Barp⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Pará. Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é Professora Adjunto II da Universidade Federal do Pará.

Antônio De Noronha Tavares⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista formado pela Universidade Federal do Pará-UFPA. Especialista em Engenharia de Segurança no Trabalho pela Universidade da Amazônia (UNAMA). Mestrando em Engenharia Civil - Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFPA). Professor da UFPA

Júnior Hiroyuki Ishihara⁽⁵⁾

Graduando em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará

Endereço⁽¹⁾: Rua Antonio Barbosa, 13 – Distrito Industrial - Ananindeua - PA - CEP: 67030-650 - Brasil - Tel: (91) 3286-0996 - e-mail: marcosfarias11@yahoo.com.br**RESUMO**

O presente trabalho faz uma abordagem quantitativa e qualitativa de dois diferentes métodos de dimensionamento de rede de abastecimento de água, o Seccionamento Fictício e o método PNL 2000, analisando aspectos de custos de implantação da rede projetada e bombeamento, obtendo-se assim um comparativo entre os dois métodos. Também é verificada a condição de distribuição da água até aos nós da rede e através da pressão faz-se uma verificação do dimensionamento. Para efetivação desta pesquisa propõe-se a utilização de ferramentas computacionais, tais como o uso de planilhas eletrônicas, simuladores hidráulicos e do EPANET.

PALAVRAS-CHAVE: Abastecimento de Água, Epanet, Dimensionamento de Rede, Avaliação Econômica, Otimização de Sistema.**INTRODUÇÃO**

A escassez de recursos financeiros, sobretudo nas concessionárias públicas de serviços de saneamento, tem sido o fator limitante para o bom atendimento à população, por isso, para a alocação adequada e racional desses recursos torna-se necessário estudos de viabilidade econômica e de simulações dos possíveis cenários otimizados, sobretudo em um sistema de abastecimento de água.

Com o aumento populacional urbano, surge a necessidade de um gerenciamento racional e integrado dos recursos hídricos, ainda mais quando os mananciais de abastecimento estão cada vez mais distantes dos centros das cidades por causa da poluição ocasionada pelo despejo indiscriminado de esgotos nos corpos hídricos, principalmente nos superficiais. Historicamente, a distribuição de água potável à população tem se mostrado como um problema constante, já que os mananciais estão cada vez mais escassos e não existem grandes aportes de recursos financeiros nessa importante área da saúde pública.

Dentro deste contexto, as redes de distribuição de água potável desempenham um importante papel na manutenção da qualidade da água a ser distribuída e seu correto dimensionamento proporciona sua durabilidade e confiabilidade. No dimensionamento de redes de abastecimento de água, deve-se ponderar todos os fatores intervenientes que ocasionarão o seu bom funcionamento ao longo dos anos, uma vez que são responsáveis pelo transporte e distribuição de um bem cada vez mais escasso e essencial (SOARES, 2003).

Atualmente no dimensionamento de redes de abastecimento de água, geralmente não se considera o fator custo como uma variável a ser minimizada, tendo-se somente a preocupação de se atender a pressão mínima de dimensionamento no ponto mais desfavorável da rede assim como o atendimento às demandas requeridas, por isso os critérios utilizados no dimensionamento precisam ser revistos e melhor mensurados antes de se decidir por qual método utilizar. Cidades pequenas que ainda não dispõe das mínimas infra-estruturas de saneamento, tais como abastecimento de água e esgotamento sanitário, tornam-se, indiscutivelmente, reféns desse modelo, pois não tem essas infra-estruturas porque não possuem os recursos financeiros necessários, já que obras de saneamento são muito onerosas. Essas cidades poderiam ser beneficiadas com os serviços básicos de saneamento com o dimensionamento econômico, fazendo com que o custo para a implantação do sistema de abastecimento de água diminuisse, tornando o serviço acessível a essas localidades. Uma dos objetivos da engenharia é justamente projetar com segurança, eficiência e custo mínimo, mas muitas vezes isso é ignorado, visando somente à eficiência do sistema, negligenciando os critérios de segurança, confiabilidade e custo.

Com o advento da informática aplicada ao saneamento, muito se melhorou nos últimos anos no campo das pesquisas de novos métodos e técnicas de projeto, modelagem e simulação dos fenômenos naturais e matematicamente indeterminados, como é o caso do dimensionamento de redes de abastecimento de água.

Este artigo expõe os resultados de uma pesquisa operacional simulada, na qual se utilizou uma metodologia tradicional muito difundida na área de abastecimento de água e outra que gera a melhor solução econômica. Para realizar a comparação entre os dois métodos, buscou-se na informática aplicada ao saneamento softwares que minimizassem o tempo, tanto de dimensionamento quanto de simulação da rede projetada e que representassem com exatidão as condições reais da rede estudada.

OBJETIVO

Esta pesquisa visa obter um comparativo quantitativo e qualitativo no dimensionamento de uma rede de abastecimento de água real, aplicando-se o método do seccionamento fictício e o método PNL 2000 modificado, utilizando o software EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2000) para simulação dos cenários gerados pelos dois métodos citados.

Pretende-se verificar os diferentes resultados dos dois dimensionamentos, tais como diâmetro dos trechos, pressões nos nós e o custo de implantação e operação do sistema e assim oferecer uma solução economicamente viável para a rede em estudo. Propõe-se a utilização de softwares computacionais, tais como o uso de planilhas eletrônicas do software Excel para a aplicação do método do seccionamento fictício e do método PNL 2000 modificado. Propõe-se também o uso do simulador hidráulico EPANET para minimizar o tempo de execução da verificação operacional do sistema de abastecimento de água.

DESCRÍÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O sistema que será otimizado é o sistema de abastecimento de água do residencial Quinta das Carmitas, situado na cidade de Ananindeua no estado do Pará, possui a topologia apresentada na Figura 1 e as seguintes características:

1. População inicial de projeto: 2100 hab.
2. População final de projeto: 2688 hab.
3. Horizonte de projeto: 10 anos.
4. Consumo per capita: 200 l/hab.dia
5. Coeficiente do dia de maior consumo (K1): 1,2
6. Coeficiente da hora de maior consumo (K2): 1,5
7. Comprimento total da rede de distribuição: 3757 m.

8. Vazão final calculada: 11,20 l/s.

9. A pressão mínima e a máxima admitida na rede deverão ser de 10 m.c.a. e 50 m.c.a. respectivamente.

10. O diâmetro mínimo a ser utilizado será de 50 mm.

A rede classifica-se como rede mista, pois apresenta trechos anelares e trechos ramificados e é abastecida por um único reservatório elevado.

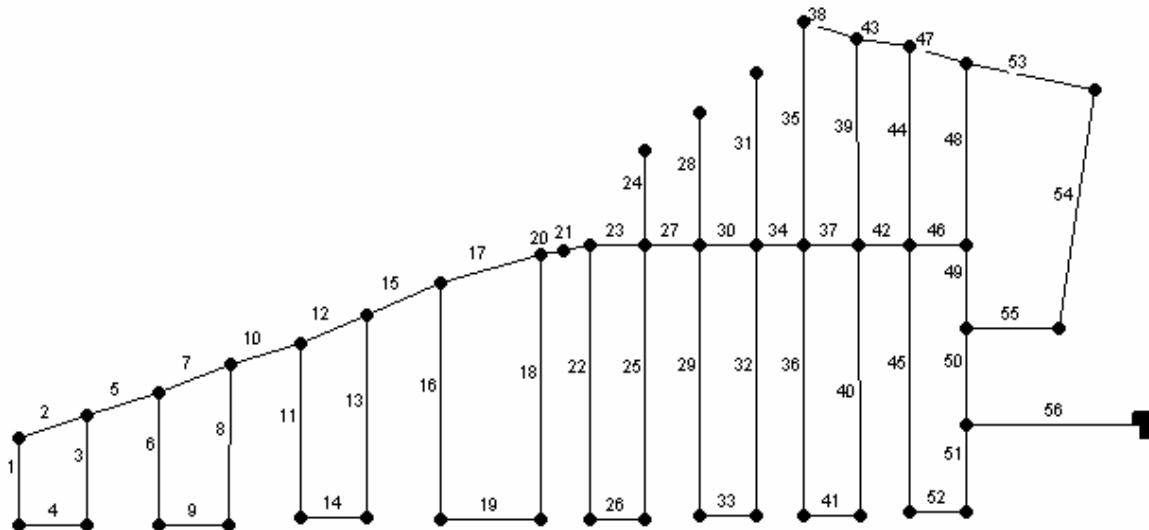


Figura 1: Topologia do sistema de abastecimento e numeração dos trechos

METODOLOGIA

Para fazer o comparativo entre o método do seccionamento fictício e o método econômico PNL 2000 modificado, utilizou-se a seguinte metodologia:

Descrição do método do seccionamento fictício

Segundo Tsutiya (2005), o método do seccionamento fictício consiste em supor situações em uma determinada rede de distribuição de água, onde os trechos da rede serão seccionados, de forma que se tenha uma situação fictícia para aplicação deste método de dimensionamento. Com este método é possível dimensionar redes malhadas, transformando-as em redes ramificadas fictícias, verificando-se as hipóteses dos seccionamentos adotados, confrontando os valores calculados com condições relacionadas com as pressões resultantes nos pontos de seccionamento pelos trajetos possíveis da água da rede ramificada fictícia que devem ter valores aproximados.

Para o dimensionamento da rede com o método do seccionamento fictício, procedeu-se da seguinte forma:

Executou-se uma planilha eletrônica de dimensionamento da rede, fazendo-se a entrada dos dados necessários, tais como, comprimento dos trechos, demanda nos nós, cotas do terreno e obtem-se como resultado do dimensionamento o diâmetro dos trechos, a vazão e a velocidade do escoamento e a pressão dos nós, também é obtida a altura piezométrica necessária ao reservatório elevado para atender as demandas de consumo da população.

Esse tipo de dimensionamento é o mais indicado para cidades pequenas com população com crescimento demográfico linear.

Descrição do método PNL 2000 modificado

Para o dimensionamento, utilizando o método PNL 2000 modificado, usou-se o modelo matemático da programação não linear e este divide-se em duas etapas. Na primeira etapa, faz-se um pré-dimensionamento

do sistema, em que as vazões nos trechos e seus diâmetros, a cota piezométrica de alimentação da rede, são as variáveis a serem determinadas e otimizadas no processo de busca pela solução. Com o pré-dimensionamento, executa-se a segunda etapa, em que os valores obtidos na primeira etapa são ajustados. Os diâmetros obtidos são aproximados para os comercialmente disponíveis, quando esse ajuste é realizado, a rede torna-se desbalanceada novamente, pois o princípio da conservação da massa nos nós e da conservação da energia nos anéis são violados. Feito o ajuste dos diâmetros, eles não serão mais variáveis a serem determinadas na segunda etapa do dimensionamento da rede. As vazões nos trechos, assim como a altura manométrica de alimentação continuam como variáveis a serem determinadas na segunda etapa do dimensionamento.

Para encontrar a solução do problema hidráulicamente indeterminado, recorre-se a um processo iterativo de busca e solução das restrições impostas, o modelo matemático utilizado no método PNL 2000 modificado é baseado na programação não linear, a qual utiliza o algoritmo do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG 2) desenvolvido por Lasdon e Warren (1984) e é formulado e processado através da ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel da Microsoft.

O objetivo do método é encontrar a solução hidráulica que minimize os custos de implantação da rede, o qual será representado estritamente pelo custo de fornecimento e assentamento da tubulação em função do diâmetro e comprimento dos trechos.

Diz-se método PNL 2000 modificado, devido a uma adaptação feita a partir do método PNL 2000 tradicional (GOMES, 2002), e este também é uma variante do método Hardy-Cross, no qual os diâmetros encontrados são desdobrados em dois diâmetros comercialmente disponíveis, um imediatamente superior e outro imediatamente inferior ao calculado, no PNL 2000 modificado o diâmetro encontrado, é simplesmente aproximado ao mais adequado disponível no mercado. Além disso, objetivou-se no método apenas a minimização dos custos de implantação da rede, aqui representado somente pelo custo das tubulações. Este método não possui limitações de aplicação, podendo ser utilizado para todos os tipos de rede de distribuição.

Custo do bombeamento

O gasto energético proporcionado pelo bombeamento foi analisado, calculando-se a potência necessária de um conjunto motor-bomba para recalcar o fluido de um reservatório apoiado no nível do terreno até a cota de alimentação do reservatório elevado, obtendo assim um comparativo de custos energéticos, ou seja, os custos de operação do sistema. Para se calcular o custo energético, optou-se por considerar o bombeamento contínuo, ou seja, 24 horas por dia e o custo de um KWh consumido como sendo de R\$ 0,18. Foi utilizada a equação (1) para o cálculo do custo energético.

$$Ce = \frac{Q \cdot g \cdot (H + hf) \cdot N \cdot p}{\eta} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Ce: custo energético do bombeamento (R\$)

Q: Vazão (m^3/s)

g: aceleração da gravidade (m/s^2)

H: altura geométrica (m)

hf * : perda de carga (m)

N: número de horas de bombeamento (horas)

P: preço do KWh praticado (R\$)

η : rendimento do motor-bomba (%)

* Como a perda de carga na tubulação de recalque, para o exemplo em questão é praticamente nula, optou-se por desprezá-la.

Custo das tubulações

Para quantificar o custo das tubulações, fez-se uma estimativa de preços de fornecimento e assentamento de tubos de PVC para rede de abastecimento de água, tirando-se uma média aritmética dos valores encontrados para cada diâmetro. Com os valores médios, somou-se os comprimentos dos trechos de mesmo diâmetro e multiplicou-se pelo valor correspondente a esse diâmetro, encontrando assim o custo das tubulações envolvidas no problema.

Verificação das condições de operação através do software EPANET

Os dados obtidos no dimensionamento são importados para o software EPANET, onde se verificam as condições de operação da rede projetada. Nos nós foram verificadas as pressões, e nos trechos, os diâmetros. O software Epanet 2.0 é um programa de informática de distribuição livre e foi desenvolvido pela USEPA (Environmental Protection Agency of United States). Este programa permite simular o comportamento hidráulico de sistemas pressurizados de distribuição de água, assim também como possibilita obter valores de vazão em cada trecho, da pressão em cada nó e do nível de água nos reservatórios. (ROSSMAN, 2000).

O EPANET é um simulador das condições reais de funcionamento de um sistema de abastecimento, nele pode-se reproduzir com fidelidade todas as partes constituintes do sistema físico, incluindo válvulas, bombas, tubulações e reservatórios, e também os dados não-físicos, como as demandas nodais, parâmetros de qualidade da água e as características peculiares de cada sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois da aplicação dos dois métodos, procedeu-se o tratamento dos dados de saída gerados por eles, destacando-se principalmente a análise de custos, o atendimento às restrições impostas e qualidade do dimensionamento representada pelas pressões nos nós da rede de distribuição.

Resultado do dimensionamento pelo método do seccionamento fictício

Os objetivos almejados com este método foram todos alcançados, destacando-se a altura piezométrica de alimentação da rede, que corresponde a altura mínima necessária do reservatório elevado para que seja gerada a pressão mínima estabelecida (10 m.c.a.), a altura encontrada foi de 13,53 metros.

1. Cálculo do custo do bombeamento

Considerando que a água será recalcada com vazão de $0,0112 \text{ m}^3/\text{s}$ com adução contínua, pelo conjunto motor-bomba, até a cota mínima de alimentação da rede, considerando também o rendimento do conjunto de 75% e o preço do KWh como sendo de R\$ 0,18, desprezando a perda de carga na linha do recalque, calculou-se o custo energético diário do recalque pela equação 1.

2. Cálculo do custo das tubulações

A Tabela 1 mostra os dados quantitativos das tubulações e seu respectivo custo.

Tabela 1: Custo da tubulação

Diâmetro nominal (mm)	Soma dos comprimentos (m)	Custo unitário (R\$/m)	Custo da tubulação (R\$)
50	3061	8,88	27.181,68
75	203	15,86	3.219,58
100	198	24,62	4.874,76
150	295	34,84	10.277,80
Total			45.553,82

Resultado do dimensionamento pelo método PNL 2000 modificado

Os resultados do dimensionamento econômico satisfizeram todos os pré-requisitos preconizados ao método. A altura mínima de alimentação obtida foi de 18,95 metros, as pressões em todos os nós estiveram entre os limites mínimos e máximos estabelecidos.

1. Cálculo do custo do bombeamento

Feita as mesmas considerações do método do seccionamento fictício, procedeu-se o cálculo do custo pela equação 1.

2. Cálculo do custo das tubulações

Os dados referentes às tubulações são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Custo da tubulação

Diâmetro nominal (mm)	Soma dos comprimentos (m)	Custo unitário (R\$/m)	Custo da tubulação (R\$)
50	2908	8,88	25.823,04
75	711	15,86	11.276,46
100	138	24,62	3.397,56
150	0	34,84	0
		Total	40.497,06

Comparativo entre os dois métodos

Quanto ao custo energético, verificou-se que o custo proporcionado pelo método PNL 2000 modificado foi 40% maior (R\$ 8,56) comparado ao custo do bombeamento gerado pelo método do seccionamento fictício (R\$ 11,99). Essa diferença deve-se ao fato de que a altura mínima do reservatório elevado calculada pelo método PNL 2000 modificado foi 5,42 metros maior do que a encontrada com o seccionamento fictício. O custo das tubulações obtido através do dimensionamento econômico foi 11,10% menor, ou seja, proporcionou uma economia de R\$ 5.056,76 em relação ao dimensionamento realizado pelo método do seccionamento fictício. A seguir é mostrada a Tabela 3 que expõe a comparação quantitativa dos diversos diâmetros encontrados que sofreram modificação nos dois tipos de dimensionamento.

Tabela 3: Variação dos diâmetros

Trecho	Comprimento (m)	Sec. Fictício Diâmetro (mm)	PNL 2000 Mod. Diâmetro (mm)
10	51	75	50
20	39	100	75
21	12	100	75
23	50	100	75
27	46	100	75
30	51	100	75
34	53	150	100
37	49	150	75
42	49	150	75
45	122	50	75
46	49	150	75
49	10	150	75
50	79	150	100
51	33	50	75
52	49	50	75
56	6	150	100

As tubulações dos outros trechos não sofreram nenhuma alteração nos seus diâmetros.

Observou-se que a maioria dos trechos modificados sofreram redução nos seus diâmetros quando aplicado o método PNL 2000 modificado, como consequência disso, tubulações de menor diâmetro geram maior perda de carga e isso é justificado na altura mínima do reservatório elevado que no PNL 2000 modificado foi de 18,95 metros, ou seja, 5,42 metros maior do que a altura calculada com o seccionamento fictício.

Para representar as pressões nos nós, foi utilizado o software EPANET para se fazer a simulação das condições de operação do sistema geradas por ambos os métodos e nos dois obteve-se as pressões dentro dos limites de 10 m.c.a. e 50 m.c.a.. Com o método do seccionamento fictício a menor pressão encontrada foi de 11,45 m.c.a. e a maior 19,09 m.c.a.. No dimensionamento com o PNL 2000 modificado a mínima pressão encontrada foi de 10,04 m.c.a. e a maior 22,90 m.c.a.. Constatou-se que as pressões não variaram muito de método para método. A Figura 2 mostra a rede de distribuição e a numeração dos nós da tubulação tronco.

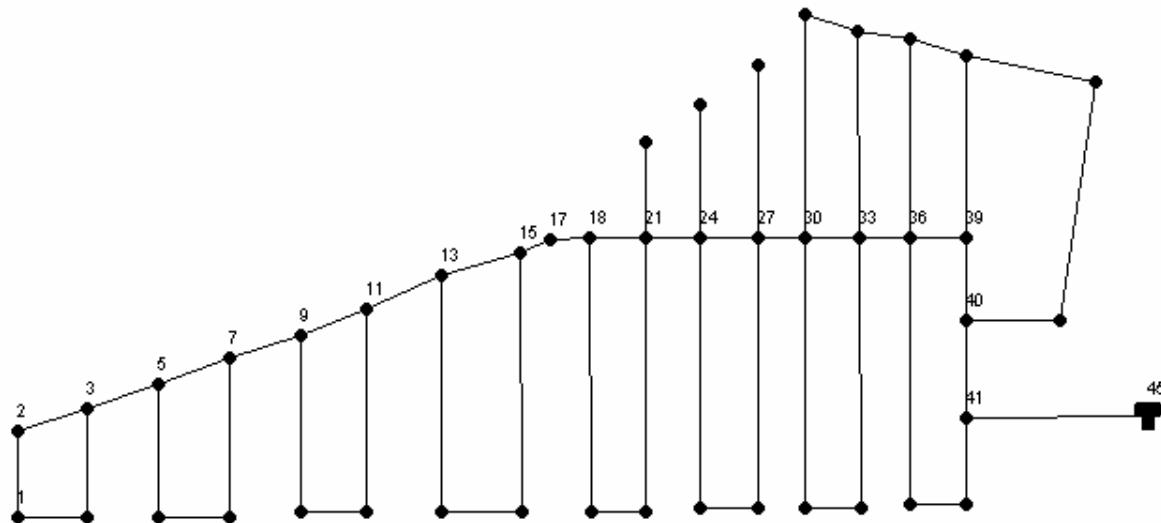


Figura 2: Numeração dos nós da tubulação tronco

A seguir, a Figura 3 ilustra o comportamento, nos dois métodos de dimensionamento, das pressões distribuídas ao longo da tubulação tronco desde o nó mais distante da rede (nó 1) até o reservatório de distribuição (nó 45).

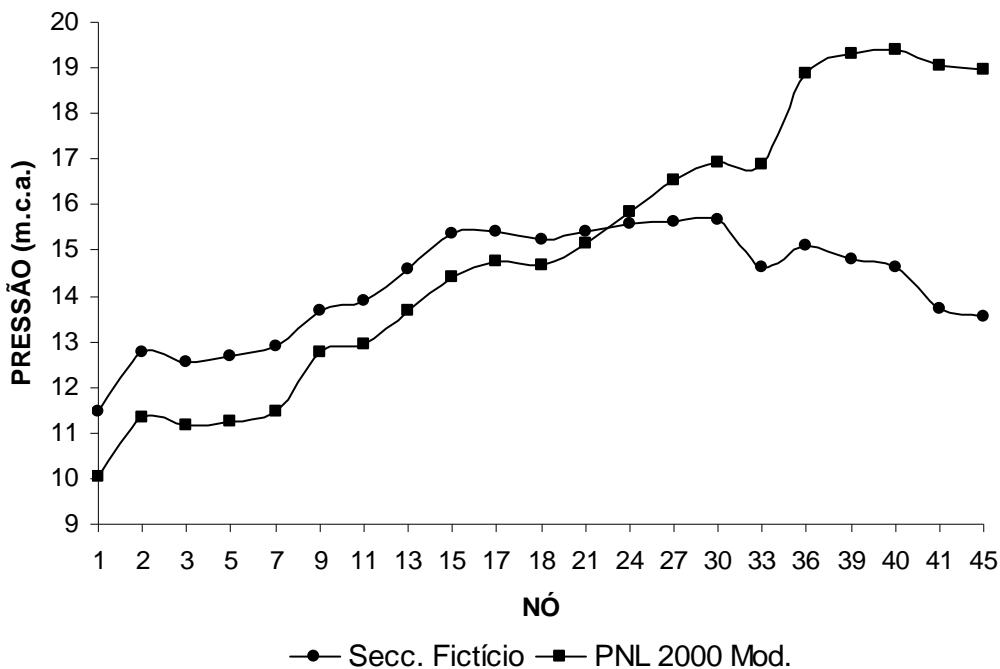


Figura 3: Variação das pressões (Seccionamento Fictício X PNL 2000 Mod.)

Como pode ser observado, as pressões encontradas no seccionamento fictício possuem menos oscilações e picos, isso deve-se às tubulações dimensionadas neste método que são de diâmetros superiores ao diâmetro ideal para transportar a vazão requerida naquele trecho, ou seja, diz-se que as tubulações estão superdimensionadas. Já no dimensionamento realizado pelo PNL 2000 mod., as pressões, na maioria dos trechos, se mostraram bastante discrepantes em relação ao seccionamento fictício, certamente devido aos diâmetros encontrados e ao caminhamento do fluxo de água, que foram diferentes. No dimensionamento realizado pelo PNL 2000 mod. os diâmetros estão ajustados para o economicamente mais indicado para a vazão transportada, ou seja, foi realizado um balanço de vazões e de pressões encontrando os diâmetros economicamente ideais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O dimensionamento econômico, aqui aplicado através do método PNL 2000 modificado, mostrou-se como uma boa alternativa para o dimensionamento de redes de abastecimento de água, proporcionando uma significável economia de recursos financeiros tanto na sua implantação, quanto na operação. Mesmo o gasto energético sendo aparentemente maior do que o gerado pelo método do seccionamento fictício, esse custo ao longo do horizonte de projeto é compensado pelo custo de implantação. Contudo o sistema opera otimizado, ou seja, está operando no limite máximo de estabilidade sem que haja falhas na distribuição de água, com isso possibilidades futuras de expansão da rede ou até mesmo um inesperado aumento populacional tornam-se fatores limitantes para o perfeito funcionamento do sistema. Recomenda-se que este tipo de dimensionamento seja utilizado quando se tem a plena certeza que o dimensionamento é “fechado”, ou seja, as variáveis envolvidas no problema (população a ser abastecida, consumo per capita, características climáticas local, entre outros) são consideradas constantes, pois não haverá modificação ao longo do horizonte de projeto. Por tudo isso o método PNL 2000 modificado é indicado para o dimensionamento de redes de abastecimento de conjuntos habitacionais, de pequenas localidades, e de cidades com pequeno crescimento populacional. Contudo o método pode ser aplicado a redes de grandes cidades, desde que se façam projeções exatas do crescimento populacional, e que se tenham mensuradas todas as variáveis constituintes do dimensionamento.

O dimensionamento realizado pelo método do seccionamento fictício apresentou uma condição de operação confortável em relação à variação dos fatores comprometedores do perfeito funcionamento do sistema. Nesse método os diâmetros das tubulações são atribuídos pelo projetista o que explica a tendência em se buscar a segurança e a “folga” no dimensionamento, mas isto implica em um maior custo de implantação da rede.

Os métodos de dimensionamento econômico juntamente com os softwares simuladores hidráulicos indiscutivelmente são importantes ferramentas de auxílio na execução de projetos de sistemas de abastecimento de água proporcionado a minimização do tempo de estudo de concepção e a economia de recursos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, H. P. Sistema de Abastecimento de Água: Dimensionamento econômico. Ed. Universitária/UFPB, João Pessoa. 2002.
2. RIBEIRO, G. P. Operação Otimizada do Sistema Adutor Metropolitano Utilizando Algoritmos Genéticos. Estudo de Caso: SAM Leste da Região Metropolitana de São Paulo (R.M.S.P.). São Paulo. 239 p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil. 2005.
3. ROSSMAN, L. A. Epanet 2.0 Users manual. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio. 2000.
4. SOARES, A. K. Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas pela pressão. São Paulo. 153 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 2003.
5. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2^a Ed. São Paulo. 643 p. 2005.