

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

UTILIZAÇÃO DO EPANET PARA IDENTIFICAÇÃO DE PERDAS FÍSICAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM BAIRROS POPULARES

Vitor Souza Viana Silva Autor ¹ & Jorge Luis Zegarra Tarqui²

RESUMO – O artigo visa propor soluções alternativas para a gestão operacional nas redes de distribuição de água mediante a utilização do software EPANET em bairros de baixa renda na cidade de Salvador. A utilização do software EPANET possibilitou a pré-identificação das possíveis zonas de perdas na rede de abastecimento, subsidiando a adoção de futuras ações corretivas. Também, simularam-se cenários de melhora do sistema decorrentes de substituição de tubulações.

ABSTRACT– This work aims to propose alternatives for the operational management of water network through the use of software EPANET of low-income neighborhoods in the Salvador city. The use of the software pre-EPANET enabled the identification of possible areas of losses in the network of supply, subsidizing the adoption of corrective actions. Too, were simulated scenarios for improving the system due to replacement of pipes.

Palavras-Chave – Redes de abastecimento, EPANET, bairros baixa renda.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa propor soluções alternativas para a gestão operacional nas redes de distribuição mediante a utilização do software EPANET em bairros de baixa renda na cidade de Salvador. A utilização do software EPANET possibilitou a pré-identificação das possíveis zonas de perdas na rede de abastecimento, subsidiando a adoção de futuras ações corretivas. Também, simularam-se cenários de melhora do sistema decorrentes de substituição de tubulações.

Os problemas de abastecimento no meio urbano são oriundos principalmente as perdas físicas (fugas na rede), ocasionando o aparecimento de zonas na rede com baixas pressões, dificultando a distribuição de água nesta zona. O trabalho está focado na identificação das perdas no sistema mediante a análise hidráulica das pressões e vazões na rede de distribuição.

SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E TIPOS DE REDE

1) Mestrando, IPH - UFRGS, Av. Bento Gonçalves 9500, caixa postal 15029. Porto Alegre. RS. vitorsouza22@bol.com.br.

2) Professor. Dep. EHR, 4 andar, Bloco I, Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos 6627, BH. MG. CEP: 31270901, jlztarqui@yahoo.com.br

Define-se como sistema de distribuição de água o conjunto de tubulações, acessórios, reservatórios, bombas etc., com o ideal de atender diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor de abastecimento com vazão e pressão devidas e dentro das condições sanitárias.

O desenho de uma rede distribuição, segundo Porto (2004), depende do comportamento da cidade a ser abastecida, bem como das características viárias e topográficas, mas no geral estão constituídos por condutos principais (aqueles de maior diâmetro) que têm por finalidade abastecer os condutos secundários, que têm a finalidade de abastecer diretamente os pontos de consumo do sistema.

As redes são classificadas como rede ramificada e rede malhada a depender do ordenamento dos condutos principais e o sentido do escoamento nas tubulações secundárias. A rede se define como ramificada quando o abastecimento se faz do reservatório, com a água, passando pela tubulação tronco (sob pressão) e a sua distribuição direta para os condutos secundários, e o sentido da vazão em qualquer trecho da rede é conhecido. As redes malhadas são constituídas por tubulações tronco que formam anéis ou malhas, nas quais há possibilidades de reversibilidade do sentido das vazões, em função das solicitações de demanda.

DESCRIÇÃO DA LOCALIDADE

O bairro do Engenho Velho da Federação está localizado na cidade do Salvador, e é considerado como de baixa renda, com 20.000 mil habitantes, consumo de 0.07 m³/s, perdas não físicas (erros de medição, fraudes, ligações Clandestinas e erros no sistema de cadastro) em torno de 10% e perdas físicas (Vazamentos ou fugas) com valor de 50%. Uma das maiores dificuldades da Concessionária é realizar as medidas para a solução dos problemas da rede de distribuição, pois a localidade encontra-se sobre altos índices de violência, dificultando o seu acesso, levando a demora na correção de vazamentos e em medidas interventivas operacionais para a melhoria da rede.

Fatores sócio-econômicos e falta de políticas de planejamento urbano levou a ocorrência de diversas ocupações não formais na cidade do Salvador, formando os bairros populares. Devido à urbanização acelerada e desordenada, geraram-se novas demandas nas redes de distribuição, as quais sofreram ramificações e extensões sem a devida análise técnica e operacional.

A rede do bairro é classificada como ramificada e se faz a partir de três tubulação ou linhas tronco, de 100 mm de ferro fundido (Ponto 5) e 110 mm (Ponto 4) e 160 mm (Ponto 3) de PVC. As linhas troncos são ramificações de outras 3 tubulações de 150, 200 e 250 localizadas na Avenida Cardeal da Silva, que sofreram reduções desde o reservatório da EMBASA. A rede do bairro também possui trechos malhados.

LEVANTAMENTO DE DADOS DA REDE

O serviço de abastecimento público de água eficiente, segundo Heller e Pádua (2006), engloba etapas de planejamento, projeto e operacional. No foco operacional, a utilização do software EPANET permite as análises hidráulicas de identificação dos problemas de abastecimento, ou seja, pressões insuficientes ou exageradas, problemas de qualidade da água na rede de distribuição, estudos de sistema de bombeamento, auxílio na identificação de perdas do sistema, análises hidráulica de pressões no sistema de distribuição na colocação de válvulas, etc. Ver Figura 1.

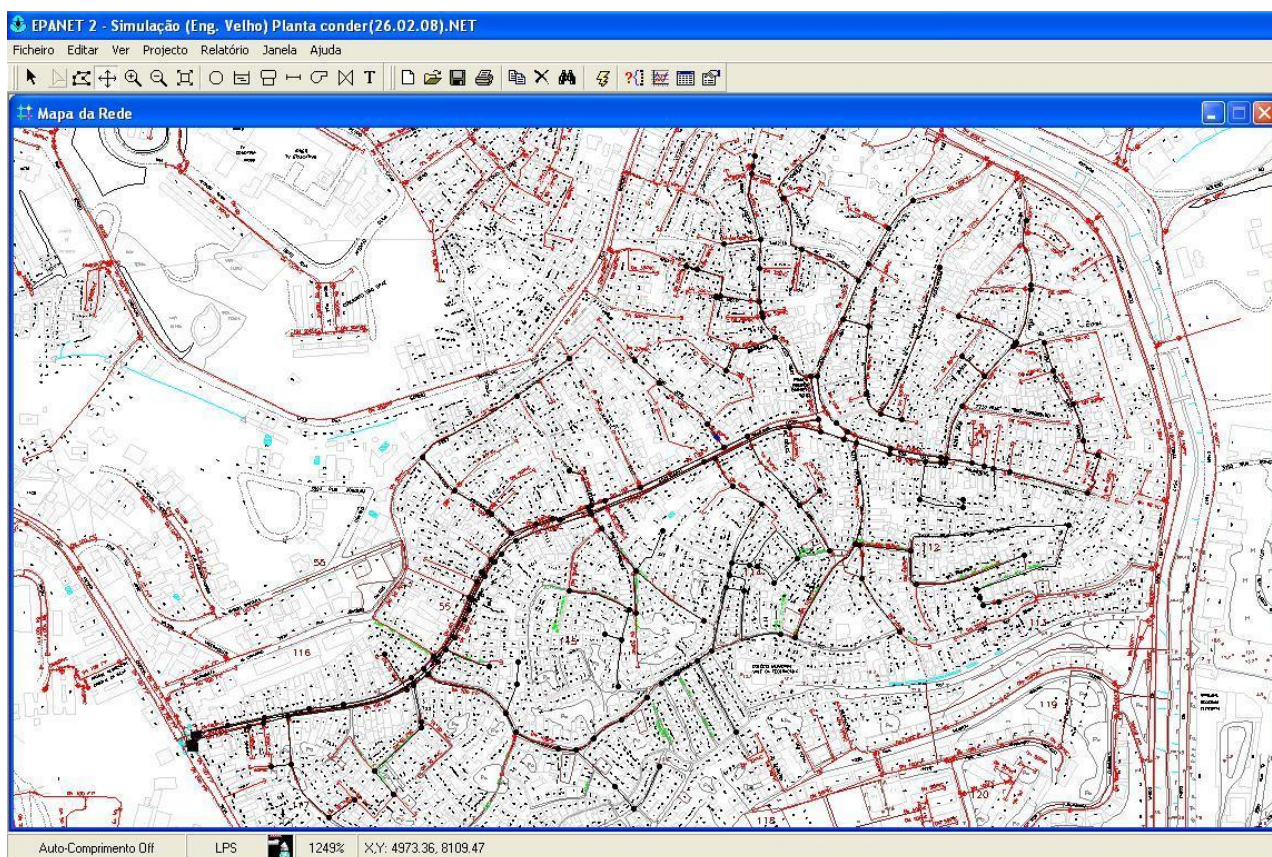


Figura 1 - Visualização do Modelo Hidráulico computacional utilizado no bairro Engenho velho da Federação, Salvador, Bahia, Brasil.

A identificação dos trechos com possíveis perdas físicas foram é a partir da análise dos resultados da simulação da rede de distribuição no modelo, torna-se necessário a calibração do modelo com antecedência. Os dados fornecidos para o software são: informações do funcionamento, relativas as pressões de cinco pontos de monitoramento no local, informações de intervenções operacionais não cadastradas nas plantas da rede (dispositivos de controle de pressões e vazões na rede, substituição de tubulações, manobras), demandas dos usuários ao longo dos trechos, cotas topográficas nodais, e dados das configurações da rede como extensões, diâmetros e rugosidade dos trechos. A partir disso, o software gerou como dados de saída as pressões e vazões em toda a rede

de distribuição.

O mapa de fundo foi obtido com a exportação do arquivo da rede no formato “dwg” do Autocad para Metafile “wmf.” que é aceito pelo Epanet versão 2.0 em Português. Com o mapa de fundo utilizado foi escolhida a opção de atribuição dos nós e das extensões dos trechos manualmente, pois a rede de distribuição do Bairro sofreu diversas modificações e as plantas existentes não estavam totalmente atualizadas, por isso não foi escolhida a opção do arquivo utilitário do Windows DXF2EPA, que segundo o Manual do Usuário Epanet 2, pode ser utilizado para transformar um arquivo do Autocad “dxf” para um arquivo “inp” de desenho do EPANET reduzindo tempo de trabalho gasto para o lançamento do trechos e nós, mas o fato importante é que as características da rede no modelo hidráulico representem as mesmas características in loco. Então, é necessário um trabalho de consistência das informações mediante a conferência do cadastro e da atualização das plantas na rede que divergiam com as plantas da rede encontradas no Autocad.

PARÂMETROS HIDRÁULICOS DA REDE

Os valores das Extensões, Diâmetros, Cotas foram obtidos através de informações contidas nas plantas da rede no software Autocad. Ver Figura 2. Os valores das extensões foram encontradas com o comando do *Extend* no Autocad e manualmente através de plantas em escalas 1:1000 encontradas no cadastro da EMBASA.

Outra característica observada nas redes de distribuição, mencionadas por Gumier (2005), é a existência de combinações de tubulações com diferentes tipos de material e diâmetro, assentados há muitas décadas. As diversas técnicas empregadas, o tipo de material e solo podem produzir os surgimentos de fugas na rede de distribuição.

COTAS NÓDAIS

As cotas fornecidas pelas plantas com curvas de nível no Autocad com representações de seus valores de 5 em 5 metros mostram algumas divergências referentes a alguns levantamentos in loco com GPS, mais apresentam bom significado para o estudo proposto.

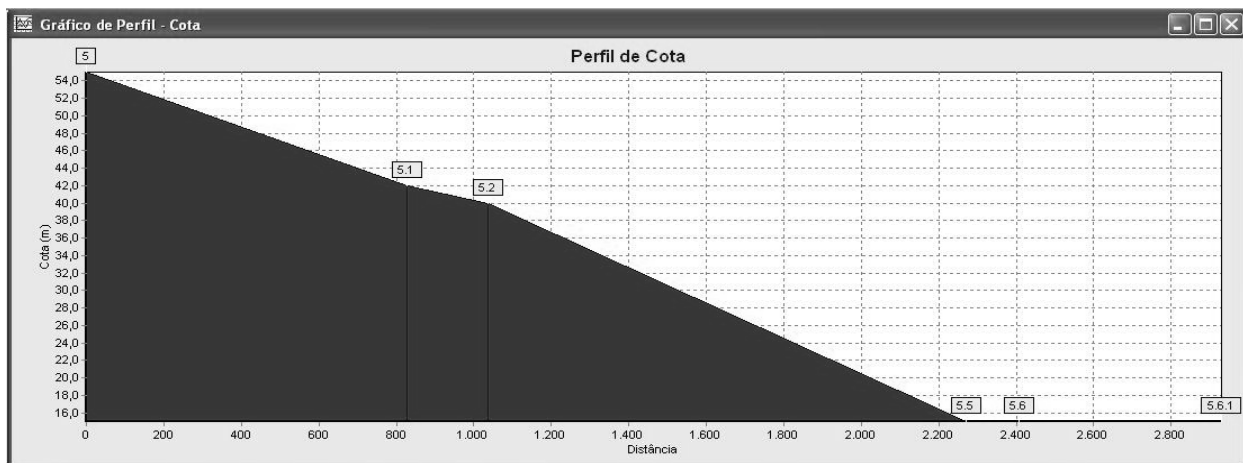


Figura 3.- Valores do Perfil do Terreno desde a entrada da Rua São Sebastião até o final do trecho.

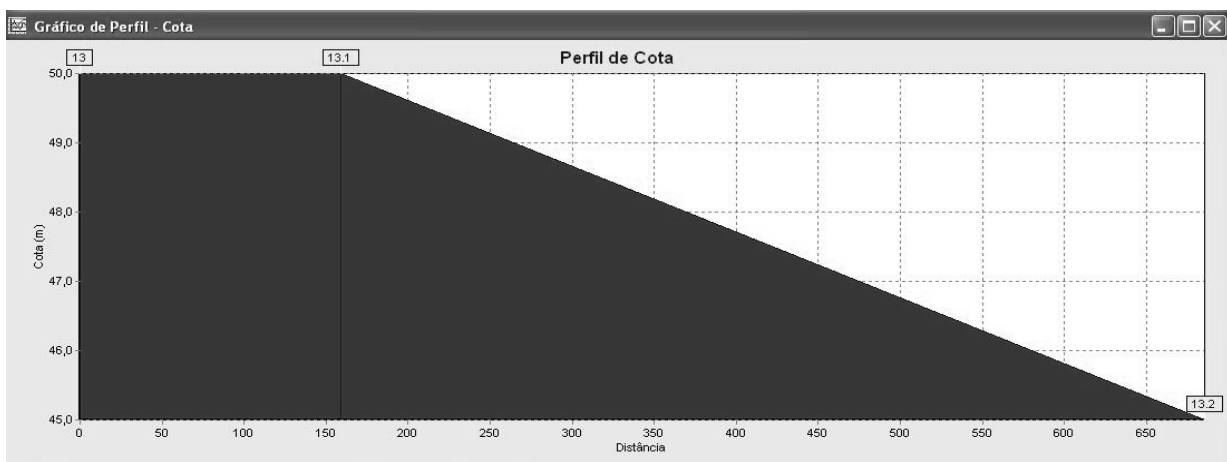


Figura 4.- Perfil do Terreno da Rua Walter Ferreira.

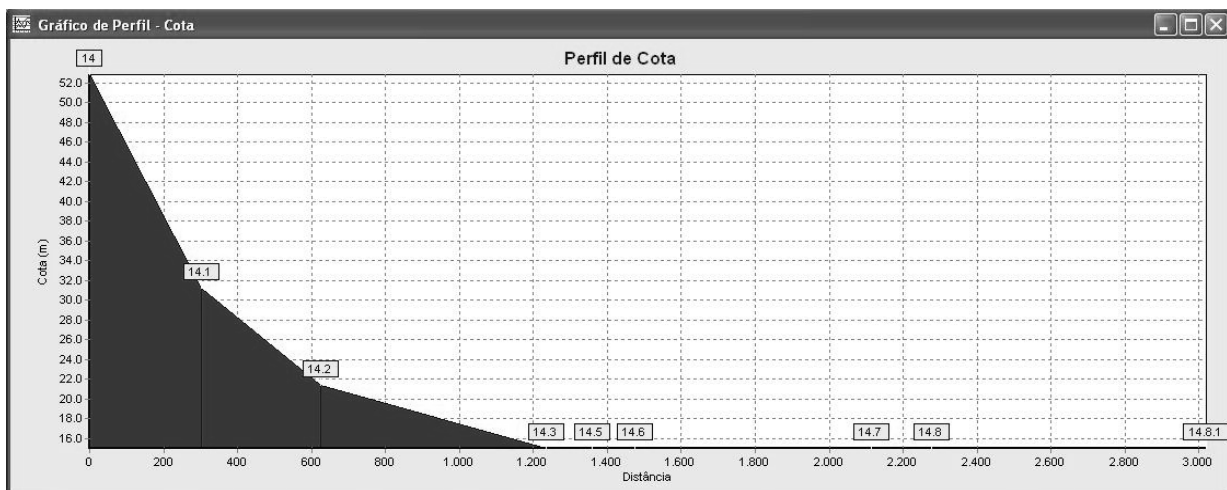


Figura 5.- Perfil do Terreno da Rua Nazaré de Maria.

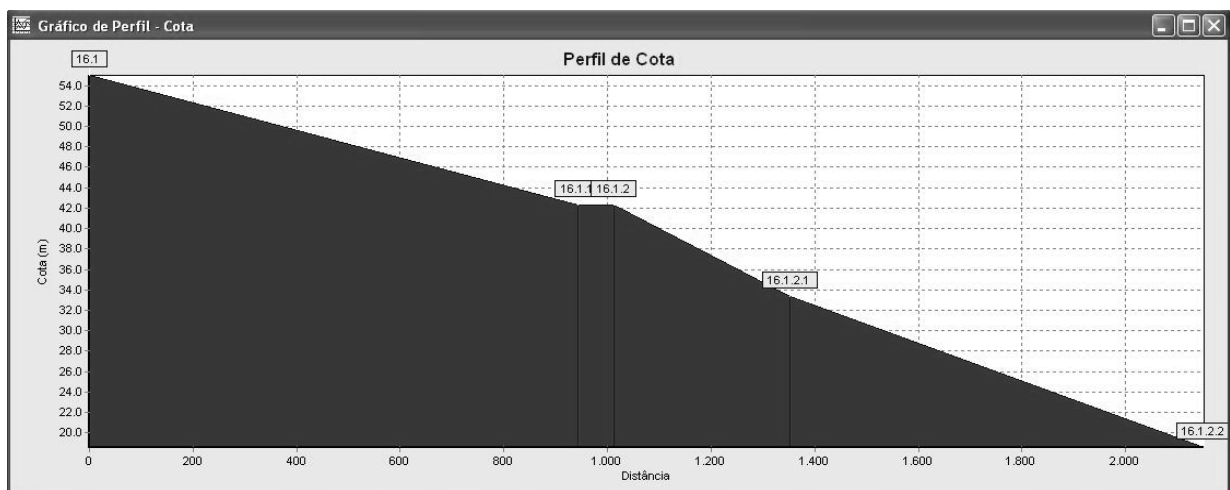


Figura 6.- Perfil do Terreno da Rua Ladeira da Paz.

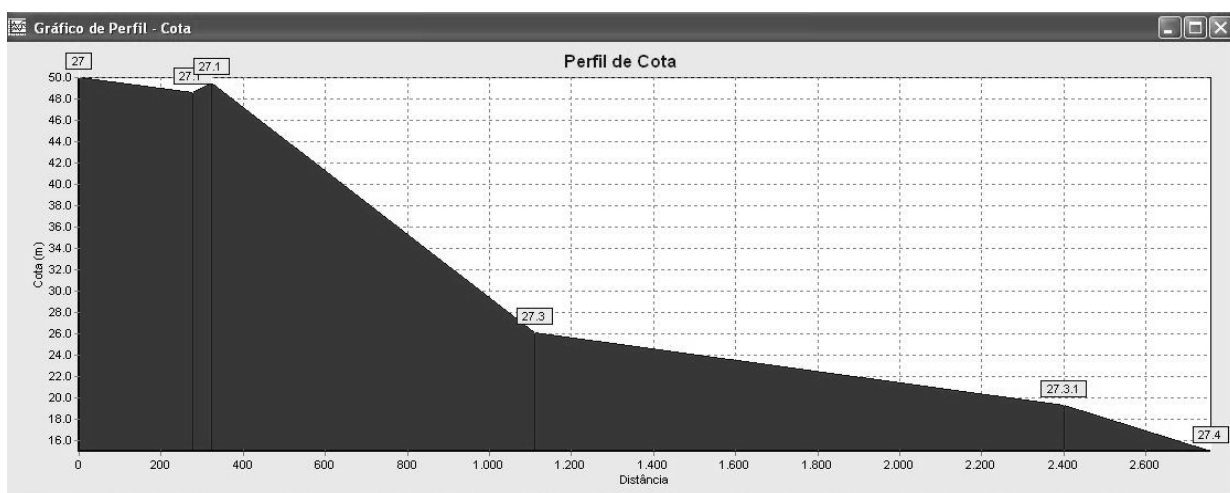


Figura 7.- Perfil da Rua Avenida Parente.

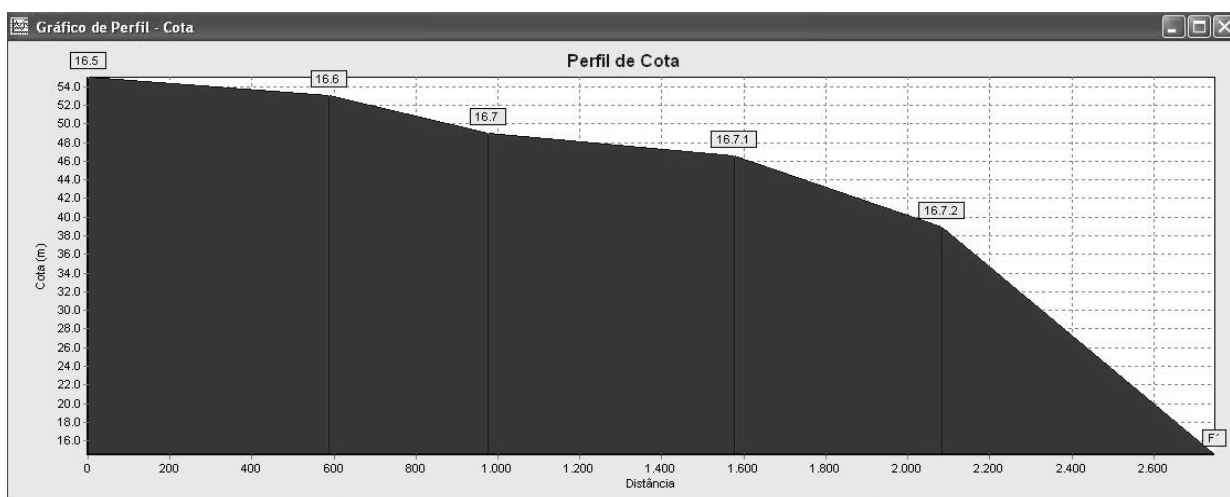


Figura 8.- Perfil da Rua da Palmeiras.

COEFICIENTE C DE HAZEN-WILLIAMS PARA OS TRECHOS

Os valores do Coeficiente (C) aplicados na equação de Hazen-Williams foram obtidos pela Tabela 2, possibilitando a estimativa do valor da rugosidade das Tubulações para diversos materiais.

Existem diversos trechos da rede segundo informações do cadastro com tubulações de Ferro Fundido com idades superiores a 30 e até mesmo 45 anos, isso leva a valores de C utilizados e observados pela Tabela 1.0 para diâmetros de 100 mm e 150 mm encontrados na rede de distribuição do Bairro de 75 e até mesmo com 60.

Tabela 1.- Valores do Coeficiente C segundo os dados analisados por Hazen-Williams. Tubos de ferro fundido sem revestimento interno. Extraído de Azevedo Netto (1998).

	D=100mm	D=150mm
Anos	C	
0	130	130
5	117	118
10	106	108
15	96	100
20	88	93
25	81	86
30	75	80
35	70	75
40	64	71
45	60	67
50	56	63

Tabela 2. - Coeficiente C de Hazen-Williams. Extraído de Azevedo Netto(1998).

MATERIAL	Coeficiente C de Hazen-Williams			
	Novos	Usados ± 10 anos	Usados ± 20 anos	
Aço galvanizado roscado	125	100	-	
Aço Rebitado (novos)	110	90	80	
Aço soldado comum (revestimento betuminoso)	125	110	90	
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115	
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120	
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105	
Plástico (PVC)	140	135	130	

A coeficiente C de Hazen-Williams das linhas tronco de 160 mm e 110 mm de PVC foram extraído das Tabelas 1. e 2., elas possuem idades de 20 anos tendo então valores de C iguais a 130.

O cálculo da demanda dos nós foram determinadas a partir do levantamento mensal dos consumos através da leitura dos micro-medidores (hidrômetros) das residências, e para cada nó da rede foram atribuídos os consumos das ligações existentes na área de influência. Ver Figura 9.

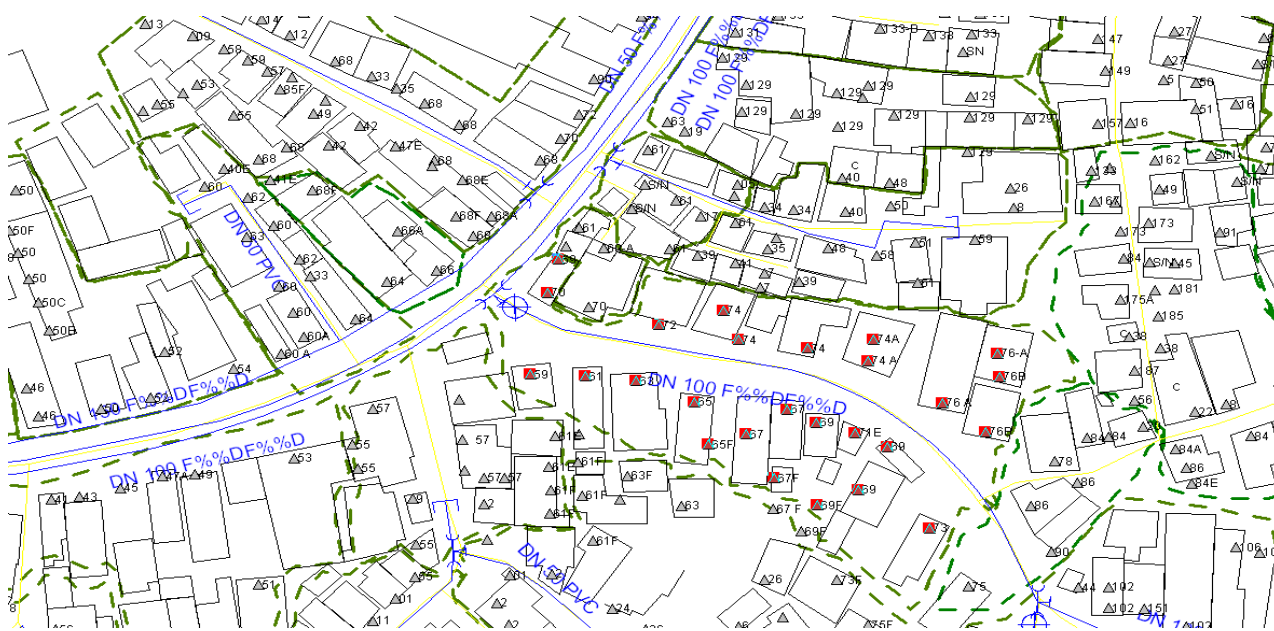


Figura 9.- Formação das áreas de influencia e coleta de dados das residências abastecidas pelo trecho ligado ao nó 5.

Tabla 3.- Dados dos consumos médio mensal de 3 meses das ligações existentes na área de influência gerado pelo software Mapinfo.

Matricula	Situação da Ligação de água	Economia	Consumo Médio [m³/mês]	Consumo Médio [l/s]
25865536	INATIVA	4	75	0,0289
28828224	INATIVA	1	25	0,0096
112535623	INATIVA	1	12	0,0046
25865544	LIGADA	1	4	0,0015
112774148	LIGADA	1	18	0,0069
25865552	LIGADA	1	10	0,0039
25864858	LIGADA	1	6	0,0023
25865560	LIGADA	2	9	0,0035
112766498	LIGADA	3	14	0,0054
25865579	LIGADA	2	16	0,0062
25865595	LIGADA	1	16	0,0062
112750788	INATIVA	1	2	0,0008
25869744	LIGADA	1	15	0,0058
25869752	LIGADA	9	79	0,0305
25869760	LIGADA	3	34	0,0131
25869779	LIGADA	3	41	0,0158
25869795	LIGADA	2	23	0,0089
25869809	LIGADA	1	17	0,0066
25869817	LIGADA	2	15	0,0058
25869574	LIGADA	1	24	0,0093
112550070	LIGADA	1	7	0,0027
28574737	LIGADA	1	3	0,0012
25869825	LIGADA	2	19	0,0073
25869833	LIGADA	2	26	0,0100
Somatório das Vazões			Vazão Nodal [l/s]	0,20

$$Consumo(l/s) = \frac{Cos.Mensal.1000}{3600.24.30} \quad (1)$$

A equação indica o valor do consumo médio nodal em litros por segundo que é obtido através da conversão do valor do consumo médio mensal transformado em litros e dividido pelo total de segundos no mês.

Na tabela 1.0 se observa que os valores dos consumos dos nós possuem no seu somatório parcelas de contribuições nos trechos de vazões de ligações existentes medidas e faturadas (ligada) e não faturadas (inativa) pela concessionária, não havendo nessas parcelas a adição das perdas físicas (fugas na rede) e das perdas não físicas (ligações clandestinas).

A concessionária não possuía macro-medidores (hidrômetros) na entrada da rede, a sua colocação não foi possível devido a perdas de energia ou perdas de cargas localizadas que geram os hidrômetros quando instalados nas tubulações que poderiam resultar na redução das pressões nas zonas de pressões insuficientes. Isso levou a mesma a criar distritos no interior do bairro permitindo a medição do consumo na entrada e comparar os resultados das medições com os resultados de cálculo, mas não foi possível colocar hidrômetros em todos os distritos, isso levou à consideração nos cálculos dos consumos nodais a soma de parcelas de perdas físicas e não físicas mais o aumento da demanda com valores estimados pela própria concessionária.

PONTOS MONITORADOS

Foram coletados os valores das pressões em 5 pontos monitorados ao longo da rede de distribuição do Engenho Velho da Federação, e foram atribuídos a 3 desses pontos o funcionamento de reservatórios de nível fixo nas três linhas tronco com diâmetros nominais de 100 mm de ferro fundido (Ponto 5), 110 mm (Ponto 4) e 160 mm (Ponto 3) de PVC, ver Figura 10. A linha de ferro fundido que está ligada ao ponto de pressão P5 (Ponto cinco), devido ao seu estado de envelhecimento o Gestor da unidade propôs o seu funcionamento para abastecimento de poucas residências com a substituição dos ramais residenciais para as linhas de 110 mm e 160 mm com previsão para de desativação da linha de 100 mm, mas a linha de 100 mm apresenta influencia por contribuir no abastecimento por estarem ligada as outras duas linhas em trechos importantes apesar do seu estado.

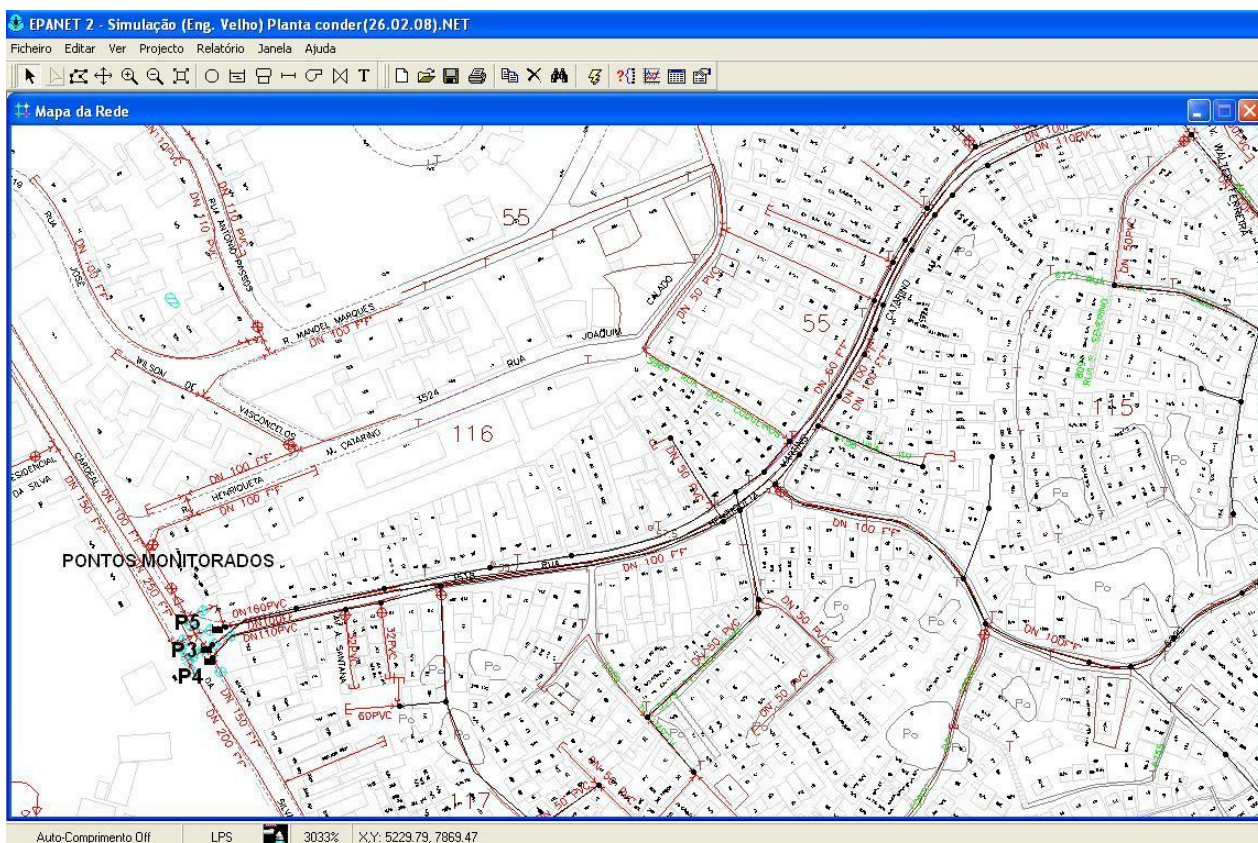


Figura 10.- Pontos Monitorados na entrada da rede do Engenho Velho da Federação.

Os outros dois pontos estão localizados em trechos denominados de São Sebastião (Ponto 2), ver Figura 11, e na Rua das Palmeiras (Ponto 1) que é o trecho com problemas de pressão insuficiente, ver Figura 12.

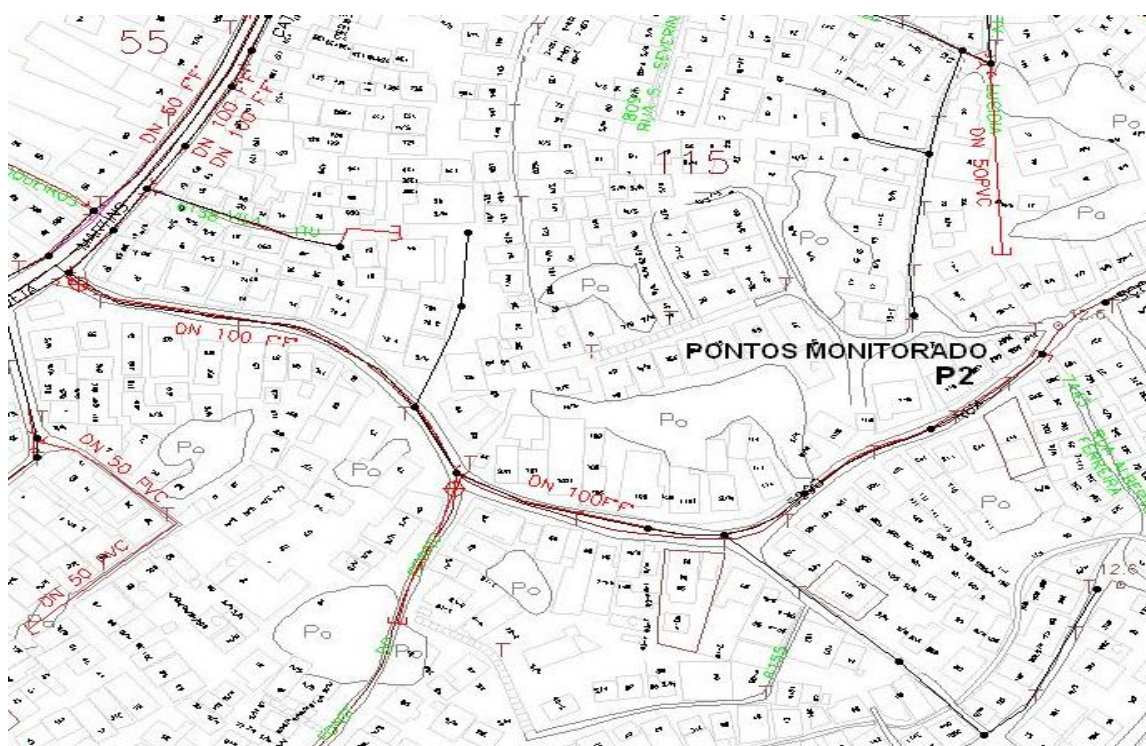


Figura 11.- Visualização do Ponto Monitorado P2(Rua São Sebastião).

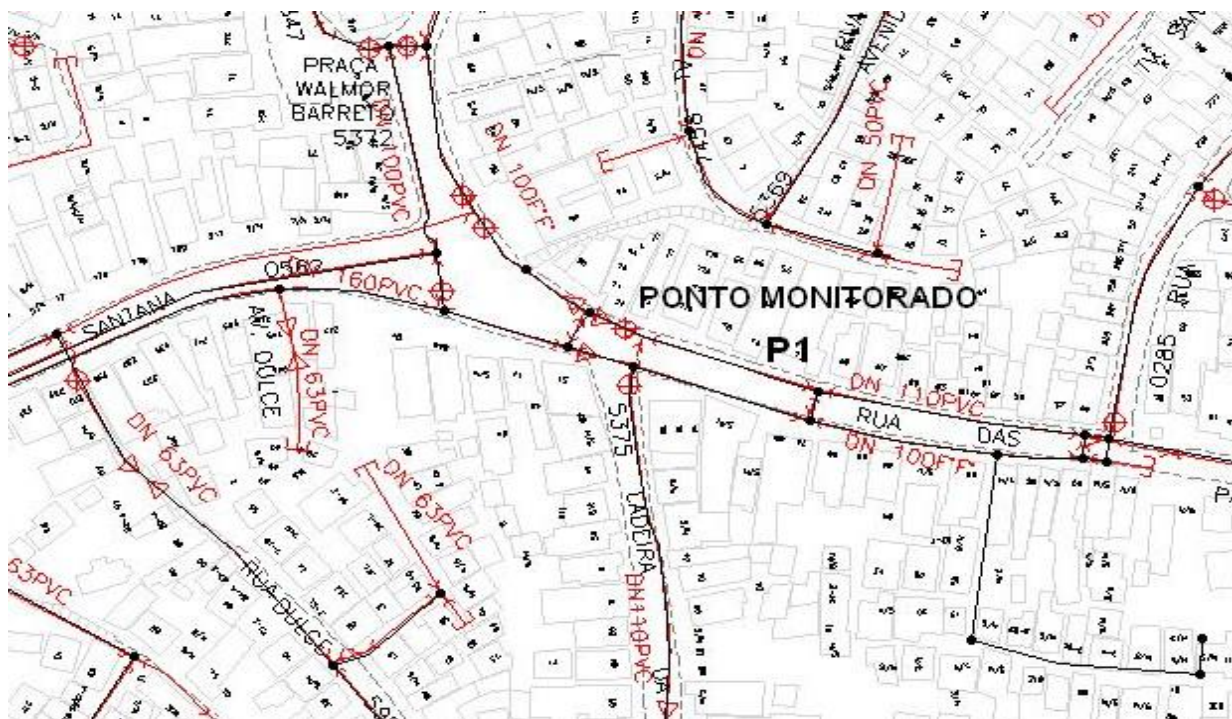


Figura 12.- Visualização do Ponto Monitorado P1(Rua das Palmeiras).

As pressões medidas nos pontos monitorados P4 foram de 10,2 m.c.a, P3 de 11,2 m.c.a e no ponto problemático P1 de 1,4 m.c.a, podem ser visualizadas nas Tabelas 4 para pressões medidas na terça-feira. As pressão do P5 foi feita em campo mostrando valores de 8 m.c.a para as 15 horas, enquanto que no Ponto P2 no mesmo horário possui pressões de 23 m.c.a. As pressões nos pontos P3, P4 e P5 são consideradas boas para o abastecimento dos trechos com cotas nodais baixas, mas não sendo o mesmo para os trechos próximos ao ponto P1. Referente à figura 13, pode ser observado que para um intervalo de 13 às 21 horas, ao longo de uma semana, as pressões no Ponto monitorado 1 variam de 1,0 a 1,4 m.c.a. Isso mostrou que para um aumento de demanda horária e mais as perdas existentes ocorre uma perda de carga considerável ao longo das linhas tronco com reduções de pressões até a zona problemática. Enquanto o Gráfico 14 mostra para duas medições na terça-feira uma permanência das baixas pressões de 6 às 24 horas, mostrando na possibilidade de consumos excessivos e perdas na rede de distribuição.

Tabela 4. – Leitura das Pressões na tubulação em PVC para terça-feira

Entrada da Apolinário Santana (P4) Diâmetro de 110mm				Entrada da Apolinário Santana (P3) Diâmetro de 160mm				Rua das Palmeiras (P1) Diâmetro de 110mm			
Tempo [h]	Pressão [m.c.a]	Tempo [h]	Pressão [m.c.a]	Tempo [h]	Pressão [m.c.a]	Tempo [h]	Pressão [m.c.a]	Tempo [h]	Pressão [m.c.a]	Tempo [h]	Pressão [m.c.a]
00:00	10,7	12:00	14,1	00:00	14,5	12:00	10,3	00:00	1,6	12:00	1,6
01:00	11,3	13:00	9,4	01:00	16,3	13:00	11,2	01:00	2,2	13:00	1,5
02:00	13,8	14:00	9,5	02:00	17,6	14:00	11,2	02:00	2,5	14:00	1,4
03:00	14,8	15:00	10,2	03:00	18,8	15:00	11,2	03:00	3,3	15:00	1,4
04:00	15,5	16:00	10	04:00	19,7	16:00	11,3	04:00	3,4	16:00	1,3
05:00	15,7	17:00	8,8	05:00	19,7	17:00	7,6	05:00	3,6	17:00	1,3
06:00	14,9	18:00	6,9	06:00	17,5	18:00	7,1	06:00	2,7	18:00	1,3
07:00	11,3	19:00	6,9	07:00	15,1	19:00	6,4	07:00	1,7	19:00	1,4
08:00	11,2	20:00	6,2	08:00	12,8	20:00	5,6	08:00	1,7	20:00	1,4
09:00	8,8	21:00	7,2	09:00	12,1	21:00	6,7	09:00	1,6	21:00	1,4
10:00	14,3	22:00	7,3	10:00	0,7	22:00	9,6	10:00	1,6	22:00	1,4
11:00	14,3	23:00	9,9	11:00	9,2	23:00	12,8	11:00	1,6	23:00	1,6

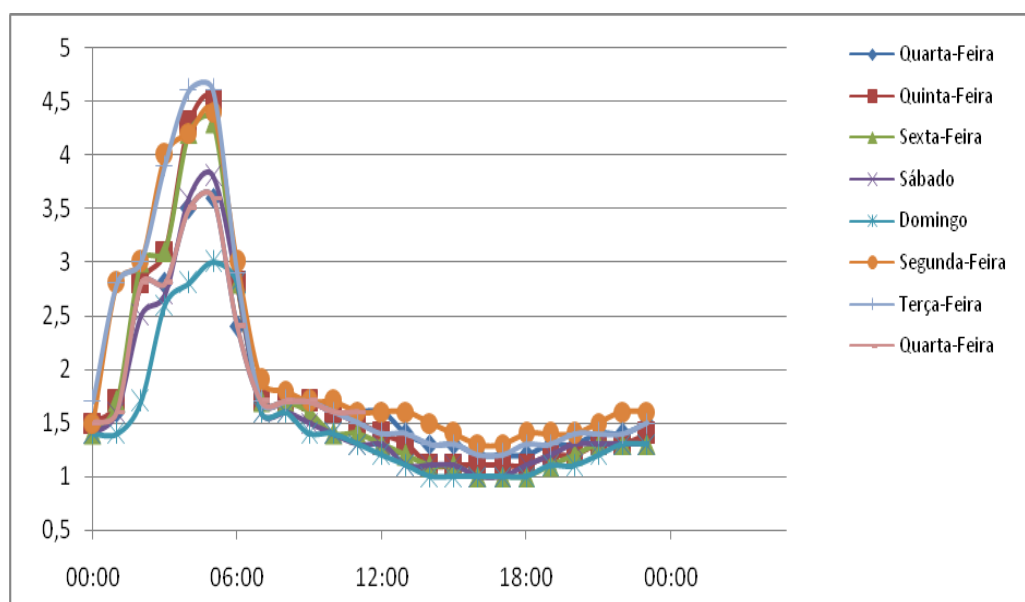
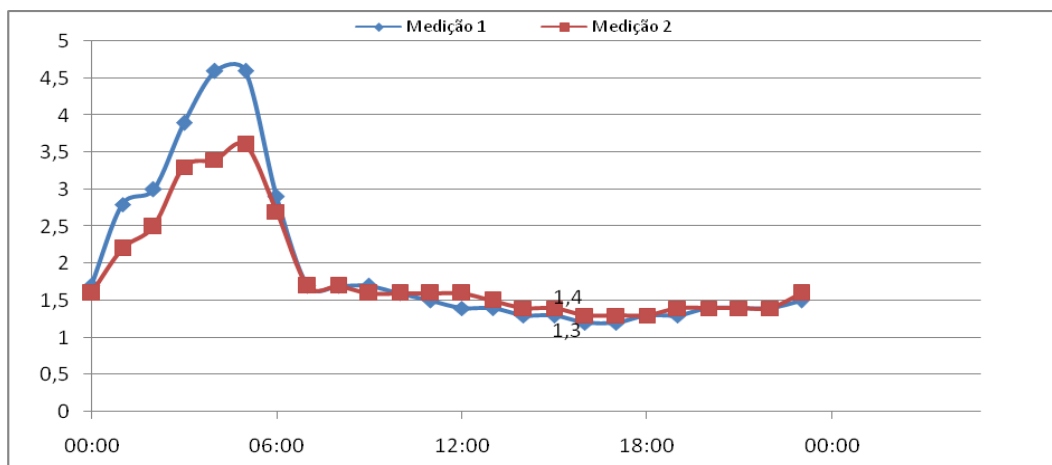


Figura 13. - Medidas de Pressões no intervalo de uma semana na Rua das Palmeiras (P1).



Baseado em simulações feitas pelo EPANET foi identificado diversos trechos da rede onde as pressões apresentavam valores de 25 à 45 m.c.a suspeitos a possíveis perdas por fugas, ver Figuras 15, e que alguns pontos monitorados obtiveram valores bem menores comparados ao do programa, e constataram-se em campo o surgimento algumas fugas oriundas das elevadas pressões, sendo que esses trechos apresentam histórico de rompimento das tubulações. A utilização do software possibilitou uma pré-identificação das perdas físicas e que a empresa Concessionária pudesse geofonar os trechos específicos identificando alguns vazamentos, e definir futuras estratégias de combate as perdas, mediante a colocação de válvulas redutoras de pressão nos trechos da rede indicado pelo software sem a necessidade de estudos em campo, que geralmente, encontram pouca acessibilidade para a entrada de operários e técnicos nesses locais.

Primeiramente foi feito uma simulação estática do modelo com o funcionamento da rede sem a consideração das fugas de água mais considerando o aumento do consumo dos nós e das ligações existentes e não faturadas (inativas), encontrou-se pressões no ponto monitorado 1, localizado na Rua das Palmeiras, com 8 m.c.a, ver Figura 15, com valores próximos ao das medições feitas quando a gestão operacional tinha feito planos de ação para a formação de distritos e geofonado todos os trechos, corrigindo vazamentos, o valor no ponto estava com 7.5 m.c.a. Visualizando o ponto monitorado 2, localizado na Rua São Sebastião, ver Figura 15, o software forneceu pressões de 43.46 m.c.a e com medidas históricas neste local de 23 m.c.a, apresentando valores divergentes, além disso, o ponto está na cota de 15 m, sendo a sua diferença de nível em relação a rua principal denominada de Apolinário Santana de 40 m.c.a..

A segunda simulação estática foi feita com a adição do volume das perdas físicas estimada, com a adição de parcelas de proporções iguais para cada nó da rede de distribuição a partir dos padrões de consumo. O padrão de consumo é um recurso do software EPANET que permite fazer variações nas demandas dos nós ao longo do tempo permitindo visualizar a modificação das vazões e pressões.

Os resultado emitidos pelo software mostraram pressões no ponto monitorado 1, ver Figura 15, com valores de 1.30 m.c.a para a simulação estática ocorrendo à 15 horas, sendo esse valor próximo á média dos valores encontrados nessa localidade no mesmo horário ao longo da semana. Na lógica essas pressões seriam razoáveis para o abastecimento de reservatórios inferiores com referencial de nível próximos ao da rede, mas a realidade dos bairros populares é bastante diferente. Devido aos custos e cuidados que se deve ter na execução de reservatórios inferiores, as pessoas de baixa renda optam pelo sistema indireto sem bombeamento, segundo Carvalho (2007). Esse sistema é adotado quando as pressões na rede pública são suficientes para alimentar o reservatório superior. O problema é devido que a rede só tem pressões suficientes da 0 às 6 h da manhã, além disso, a capacidade de armazenamento dos reservatórios são as vezes inferiores a 1 m³ e estão posicionados no topo de edificações de 3 pavimentos.

O Engenho Velho da Federação é abastecido pela Concessionária por décadas e o número de habitantes tem crescido bastante, como a quantidade de vazamentos, tudo isso gerou um subdimensionamento das redes principais, onde estão localizados os outros pontos de pressão monitorados, principalmente na linha tronco de 110 mm de diâmetro, a linha mais ramificada e que alimenta a maior parte dos vazamentos. Simulando uma modificação da linha tronca, para uma tubulação com 200 mm, observou-se a diminuição da perda de carga e melhorando a pressão no ponto crítico passando de 1,30 para 7.04 m.c.a.

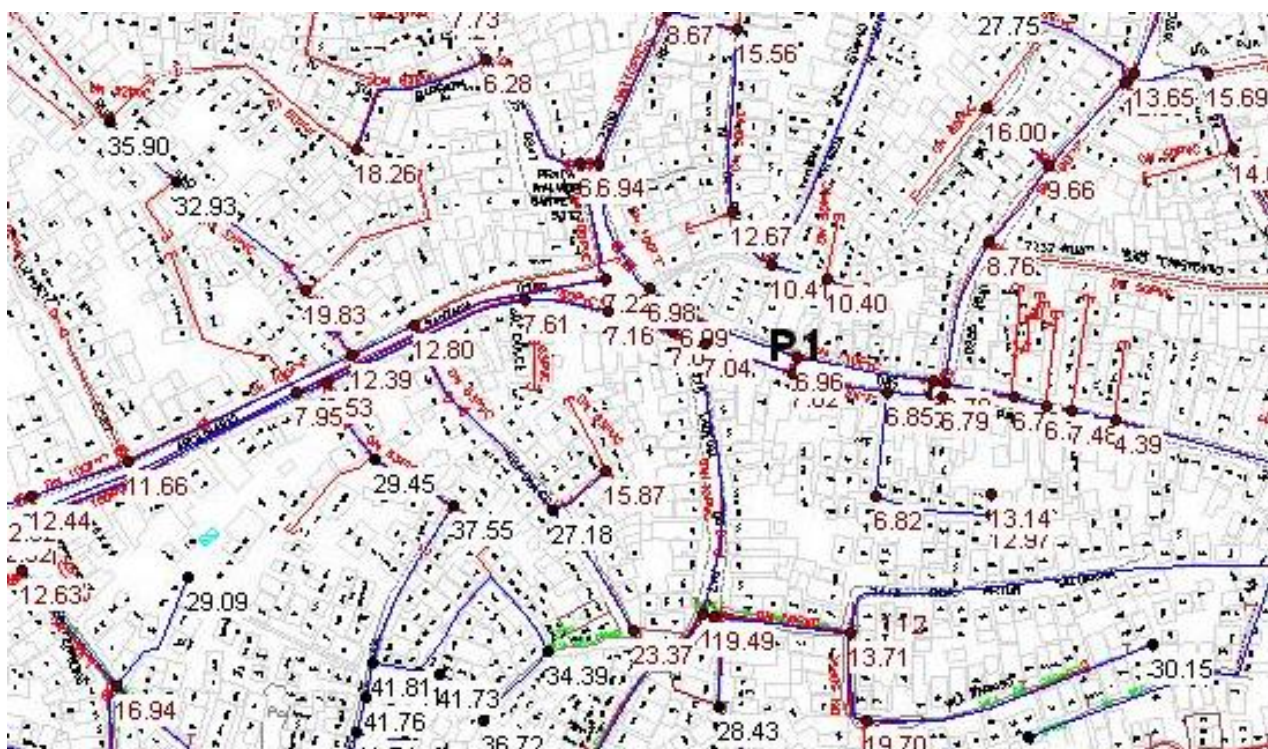


Figura 16 – Visualização da melhoria do Ponto Crítico 1 (P1) devido a substituição das duas tubulações tronco.

ANÁLISES E RECOMENDAÇÕES

Na fase de projeto devem observa-se algumas condições hidráulicas limitantes, como pressões, velocidades e diâmetros, nem sempre em razão do aumento da demanda dos bairros populares e da existência das perdas no sistema a rede possui o comportamento esperado. Segundo Porto (2004) a topografia do terreno é o fator determinante no projeto de uma rede, e como os comprimentos das tubulações são razoáveis, as perdas de carga distribuídas propiciam uma diminuição nas cotas piezométricas dos nós e, em consequência, nas pressões disponíveis. A topografia do bairro há diferenças de cotas topográficas superiores a 30 m, O controle das pressões mínima e máxima pode ser feito através da instalação válvulas redutoras de pressão com ideal de diminuir as perdas nas juntas das tubulações. Enquanto que existem outros trechos da rede com pressões baixas, a norma Brasileira recomenda que a rede deva contemplar cargas de pressão dinâmica mínima de 15 m.c.a e uma carga de pressão estática máxima de 50 m.c.a. Simulações foram feitas com a substituição das três linhas para diâmetros maiores e mostraram perdas de carga unitária nas tubulações menores isso levaria a melhoria do sistema nos pontos críticos, mas a concessionária optou pela colocação de um Booster no sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HELLER, L. e PÁDUA, V. L. (2006). *Abastecimento de água para o consumo humano*, Editora UFMG, Belo Horizonte, 859 p, Brasil.

CARVALHO JÚNIOR, R. (2007). *Instalações hidráulicas e o projeto arquitetônico*, Editora BLUCHER, São Paulo, 223 p, Brasil.

GURMIER, C.C. (2005). *Aplicação de modelo matemático de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento*. Dissertação de mestrado, Biblioteca da UNICAMP, São Paulo.

EPANET 2, *Manual do Usuário, Simulação hidráulica e de Parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água*, tradução e adaptação para o português do Brasil, ENHS, Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade da Paraíba.

AZEVEDO NETTO, J. M., FERNANDEZ, F. M., ARAÚJO R.& ITO, E. A. *Manual de Hidráulica*, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 8ª ed. 1998, 679p.

PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*, Editora São Carlos, São Paulo, 3ª ed. 2004, 504 p.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) pelo suporte e ajuda na realização da pesquisa.