

## **XI-031 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA DIFERENTES PRESSÕES DISPONÍVEIS NAS ENTRADAS DAS EDIFICAÇÕES**

**Nicolle de Belmont Sabino Rocha<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (PPGEUA/UFPB).

**Moisés Menezes Salvino**

Engenheiro Civil, Bacharel em Computação, Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB, pesquisador do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento - LENHS

**Heber Pimentel Gomes**

Professor Doutor da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECA da Universidade Federal da Paraíba.

**Juan Marcos Roig**

Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

**Pedro Iglesias Rey**

Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Cairu, 136 - Cabo Branco- João Pessoa - PB - CEP: 58045-100 - Brasil - Tel: (83) 3021-1223 - e-mail: [nicollesabino@hotmail.com](mailto:nicollesabino@hotmail.com)

### **RESUMO**

Água e energia são dois recursos essenciais para a sociedade e possuem uma forte interdependência. Dentre os grandes consumidores de energia, o setor de saneamento se destaca como um dos usuários de maior demanda. A energia elétrica está entre os três principais itens de custo das companhias e, em muitos casos, representa a segunda despesa, perdendo apenas para as despesas com pessoal. Alguns estudos estimam que o consumo de energia para bombear, tratar e distribuir água para as populações urbanas representa de 2 a 3% do total de energia elétrica consumida no mundo. Diante da busca por alternativas mais eficientes, este trabalho tem como objetivo o estudo comparativo da eficiência energética de sistemas de abastecimento de água para diferentes pressões disponíveis nos pontos de entrada das edificações. Basicamente, o estudo compara os custos de implantação e operação dos sistemas de distribuição de água projetados para atender edificações com instalações abastecidas diretamente e indiretamente pela rede. No primeiro sistema, as instalações possuem reservatórios para armazenamento da água proveniente da rede de distribuição, em seguida esta é bombeada por meio de um sistema de impulsão próprio para um reservatório elevado, e daí a água chega ao consumidor final por gravidade. Enquanto o segundo sistema adota um sistema de bombeamento direto nas edificações, dispensando o uso de reservatórios domiciliares. A metodologia empregada neste trabalho adotou o dimensionamento otimizado de redes de distribuição através do método LENHSNET, que determina o dimensionamento ótimo dos sistemas e instalações, e o modelo de simulação EPANET. Posteriormente, foram calculados e avaliados os custos de implantação e operação das alternativas. Os resultados obtidos mostraram que, em termos econômicos, o sistema com bombeamento direto para as instalações é mais caro, em virtude do sistema requerer que as bombas funcionem 24 horas por dia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de Abastecimento de Água, Eficiência Energética, LENHSNET, EPANET.

### **INTRODUÇÃO**

Eficiência energética no setor de saneamento representa um conjunto de ações e procedimentos que tem como objetivo captar, tratar e fornecer água potável em quantidade suficiente, com o menor desperdício de água e energia possível. De modo geral, as ações dependem de um conjunto de diagnósticos e ações das engenharias hidráulica, mecânica e elétrica (GOMES e CARVALHO, 2012).

Em 2003, a Eletrobrás instituiu o Programa de Eficiência Energética em Saneamento Ambiental (PROCEL SANEAR), com o objetivo de promover o consumo racional de energia elétrica, a partir do combate do

desperdício de água, reduzindo os custos operacionais e evitando investimentos desnecessários no aumento da produção de água (PEREIRA e CONDURÚ, 2014).

Diante da busca por alternativas mais eficientes, este trabalho tem como objetivo o estudo comparativo da eficiência energética de sistemas de abastecimento de água para diferentes pressões disponíveis nos pontos de entrada das edificações. Basicamente, o estudo compara os custos de implantação e operação dos sistemas de distribuição de água projetados para atender edificações com instalações abastecidas diretamente e indiretamente pela rede. O primeiro sistema impõe que as instalações residenciais e prediais possuam reservatórios para armazenamento da água proveniente da rede de distribuição, posteriormente essa água é bombeada por meio de um sistema de impulsão próprio para um reservatório elevado, e daí a água chega ao consumidor final por gravidade. O segundo sistema adota um sistema de bombeamento direto nas edificações, dispensando o uso de reservatórios domiciliares.

Para o desenvolvimento do trabalho foram criados modelos de edificações com o objetivo de compor a cidade hipotética dos dois modelos de sistema de abastecimento de água. Posteriormente foi modelada a cidade hipotética e aplicada todas as características necessárias para se realizar a comparação desejada.

As ferramentas utilizadas neste trabalho foram o método LENHSNET para o dimensionamento ótimo das redes, e posteriormente o software EPANET, para as simulações hidráulicas, permitindo todos os ajustes necessários nos parâmetros para se obter dados suficientes para a comparação desejada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo, modelou-se no simulador hidráulico EPANET um sistema de distribuição de água para uma cidade hipotética. Foram criados 8 cenários, considerando um crescimento da verticalização da cidade, compostos por edificações de 2, 5 e 20 pavimentos. Posteriormente, foram implantados dois sistemas em cada cenário: um com pressões mínimas de 10 mca e distribuição de água por gravidade; e o outro com pressões mínimas de 25 mca e distribuição de água por bombeamento direto. As edificações, que compõe cada cenário, distribuem água para seus consumidores finais de forma semelhante ao sistema de sua cidade. Para o dimensionamento das tubulações, tanto das edificações como das redes da cidade, foi utilizado o modelo de otimização LENHSNET. Posteriormente, foram acrescentadas todas as características necessárias para fazer a simulação no EPANET, e finalmente coletar os dados desejados.

## EDIFICAÇÕES

Para a composição da cidade hipotética foram escolhidas edificações com 2, 5 e 20 pavimentos. Para o sistema de distribuição de água com pressão mínima de 10 mca, as edificações de 2 pavimentos podem ser abastecidas diretamente pela rede. As edificações de 5 e 20 pavimentos possuem instalações que tem como função armazenar a água captada da rede de distribuição em reservatórios domiciliares enterrados; posteriormente essa água é conduzida, através de um sistema de bombeamento, para um reservatório elevado, chegando ao consumidor final por gravidade. No caso onde o sistema de distribuição de água fornece uma pressão mínima de 25 mca na entrada da edificação, com alimentação direta sem reservação, não é suficiente para atender as edificações com 20 pavimentos. Nesse caso a edificação foi composta por um sistema de bombeamento próprio, *booster*.

Primeiramente foram modeladas as redes na interface do simulador EPANET, e adicionados os dados de projeto e das tubulações, com o objetivo de realizar o dimensionamento ótimo das edificações. Destacando que para fins de dimensionamento devem-se considerar os coeficientes de maior consumo diário no ano e o maior consumo horário no dia, no cálculo das vazões requeridas.

Como dado do projeto foi, primeiramente, determinado se a cota piezométrica na origem das edificações era de nível fixo ou variável. Para o caso em que a pressão mínima na entrada dos edifícios é de 10 mca, a cota foi considerada de nível fixo, com pressão mínima nos nós de 5 mca, já que neste caso existe um reservatório elevado que atende, por gravidade, todos os apartamentos. Para o caso em que a pressão mínima na entrada dos edifícios é de 25 mca, a cota foi considerada de nível variável para se otimizar o *booster* com base no valor final da altura manométrica na entrada da edificação, tendo adotado os seguintes parâmetros: vazão de projeto

de 2,08 L/s, que representa a soma de todos os consumos nos nós; pressão mínima de 5 mca; rendimento do conjunto motor bomba de 75%; alcance de projeto de 20 anos; tarifa de energia de 0,31782 R\$/kWh; taxa de juros anual de 12%; taxa de juros de energia de 6%; horas de bombeamento de 24 h/dia, já que esse sistema não possui reserva de água; cota do nível d'água na origem de 25 m; o fator de atualização (Fa) e o gradiente energético (Ge) foram calculados, resultando respectivamente em 11,13 e 929,61 R\$/m.

As tubulações escolhidas para o dimensionamento das edificações (Tabela 1) são do tipo PVC, com diâmetros variando no intervalo de 20 e 50 mm, com rugosidade de 0,0015. Essa composição das tubulações com seus respectivos materiais e custos por metro foi utilizada em todas as edificações, e o custo foi determinado a partir de dados de orçamento solicitado ao fabricante Tigre em agosto de 2013.

<b>Tabela 1 - Dados dos tubos para dimensionamento das edificações.</b>			
<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Rugosidade</b>	<b>Tipo</b>	<b>Custo (R\$/m)</b>
20	0,0015	PVC	0,91
25	0,0015	PVC	1,29
32	0,0015	PVC	2,32
40	0,0015	PVC	3,94
50	0,0015	PVC	4,78

Os dimensionamentos foram realizados com sucesso pelo método LENHSNET, porém para as simulações serem bem sucedidas e apresentarem dados reais para o estudo, foram necessários alguns ajustes em suas modelagens após o dimensionamento. Nos casos em que a pressão mínima na entrada da edificação é de 10 mca as instalações são compostas por um reservatório de nível fixo (RNF) enterrado, que capta e armazena água do sistema de abastecimento da cidade, sendo essa água posteriormente bombeada para um reservatório de nível variado (RNV) que abastece os consumidores finais por gravidade. Para que a bomba (B) possa trabalhar de forma constante com bombeamento para a parte superior do reservatório elevado, foi necessária, para fins de modelagem, a instalação de uma válvula sustentadora de pressão (V) (Figura 1 e 2). Os volumes dos reservatórios foram calculados levando em consideração sua secção como circular, e com volume suficiente para abastecer as edificações considerando a parada de bombeamento no horário de pico.

No caso da edificação de 20 pavimentos com pressão mínima na entrada da edificação de 25 mca, também se fez necessário alterações na modelagem após o dimensionamento. Acima desse quinto pavimento foi introduzida uma bomba (B), com o objetivo de oferecer pressões suficientes para atender até o vigésimo pavimento (Figura 3).

Para efeito de dimensionamento das redes se considera a situação mais desfavorável possível, porém para simulação da rede o consumo nos nós só precisa ser calculado levando em consideração o fator k1.

Um padrão de consumo foi introduzido com a finalidade de se criar uma variação de consumo ao longo do dia, e curvas foram associadas às bombas considerando vazão e carga suficientes para atender cada uma das edificações.

Por último deve-se realizar a caracterização energética das edificações. Para as edificações de 5 e 20 pavimentos com pressão mínima na entrada da edificação de 10 mca, foram necessárias três informações na simulação. A primeira foi informar o valor de 0,31782 R\$/kWh para o preço da energia; a segunda foi associar um padrão de preço de energia à bomba, já que o custo da tarifa varia no horário de ponta, tendo sido considerada sete vezes mais elevada entre as 18 e 21 horas; e a terceira foi introduzir um controle simples que realize a parada de funcionamento da bomba durante esse horário de ponta, de maneira que as edificações sejam abastecidas nesse intervalo apenas pelo reservatório domiciliar. Já para realizar a caracterização energética da edificação de 20 pavimentos com pressão mínima na entrada da edificação de 25 mca, foi necessário apenas adicionar o preço da energia e o padrão de preço de energia da bomba, já que não há parada de bombeamento.

Todas as edificações foram simuladas com sucesso e seus dados coletados para comparação final desejada.

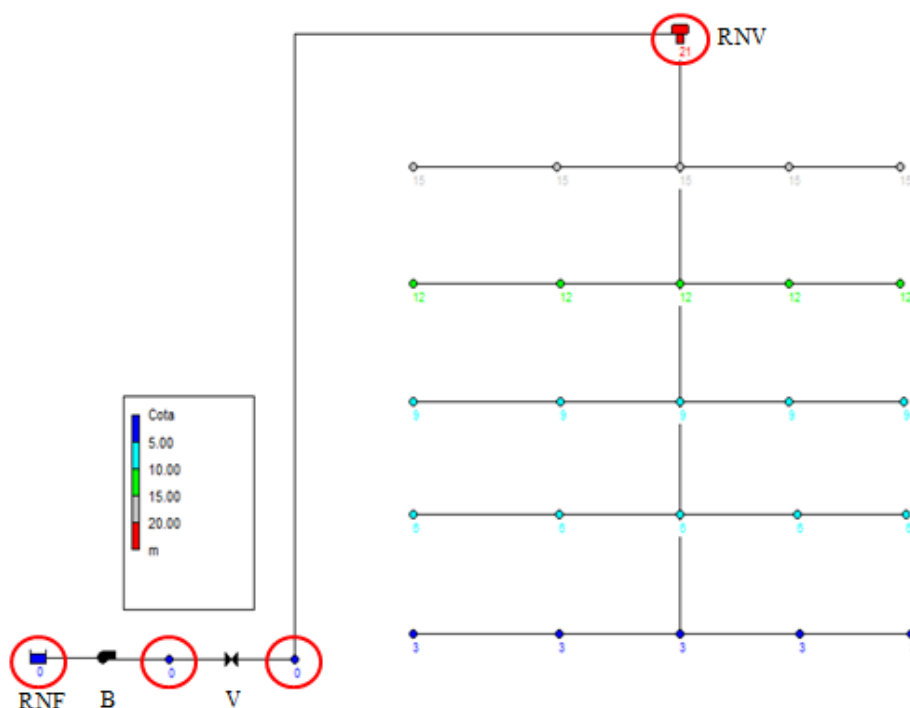


Figura 1 - Ajustes na modelagem da edificação de 5 pavimentos do sistema com pressão mínima na entrada de 10 mca.

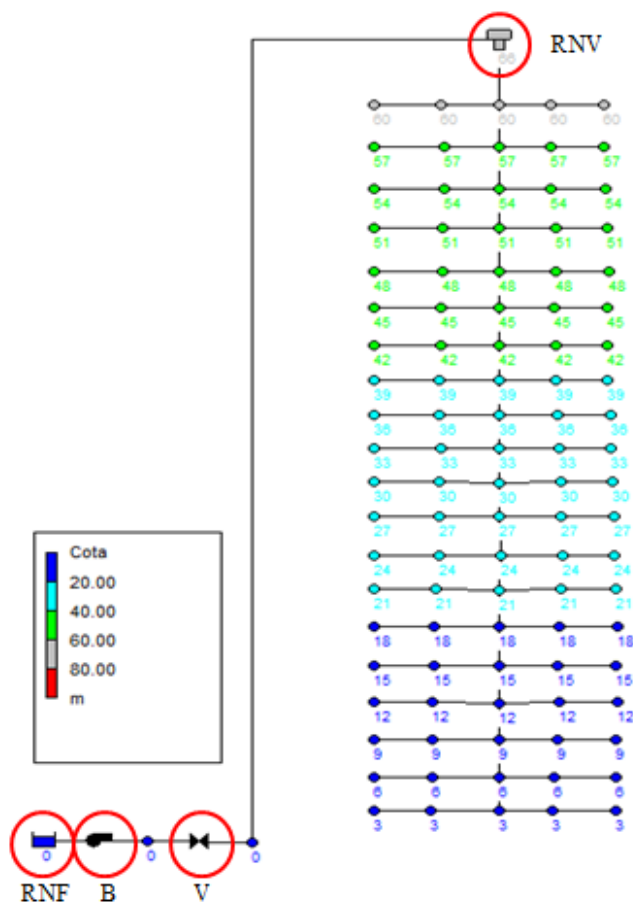


Figura 2 - Ajustes na modelagem da edificação de 20 pavimentos do sistema com pressão mínima na entrada de 10 mca.

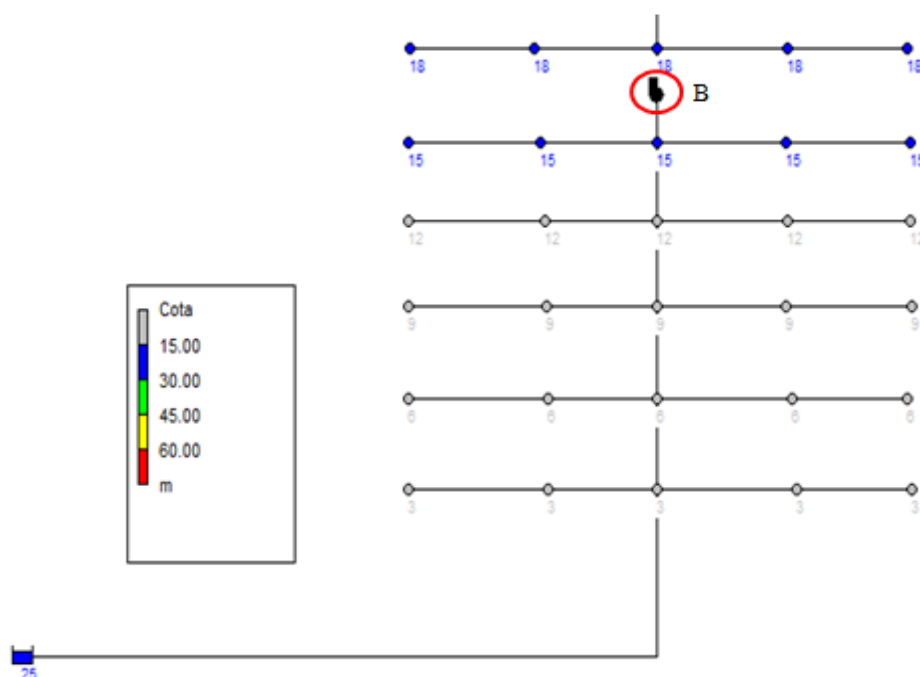


Figura 3 - Ajustes na modelagem da edificação de 20 pavimentos do sistema com pressão mínima na rede de 25 mca.

### CIDADE HIPOTÉTICA

Para esse estudo foi adotada a cidade hipotética, desenvolvida no trabalho de Gomes et al. (2013). Essa cidade foi importada para o simulador EPANET e, posteriormente, foram implantados dois sistemas; sendo um com pressão mínima na rede de 10 mca onde a água é fornecida por gravidade; e o outro com pressão mínima na rede de 25 mca onde a água é fornecida por bombeamento direto.

Foram distribuídas 132 edificações em cada cenário. Para quantificar cada tipo de edificação foram realizadas combinações considerando frações de 1/3, 2/3, 3/3 do número total de edificações, considerando, também, populações maiores a cada combinação subsequente. Essas combinações resultaram em oito cenários possíveis, e em cada cenário os tipos de edificações quantificados foram distribuídos aleatoriamente na rede (Tabela 2).

Tabela 2 - Número de edificações dos cenários simulados.

Cenário	Combinação de número de edificações			
	2 pav.	5 pav.	20 pav.	TOTAL
1	132	0	0	132
2	88	44	0	132
3	44	88	0	132
4	0	132	0	132
5	44	44	44	132
6	0	88	44	132
7	0	44	88	132
8	0	0	132	132

Para um dimensionamento bem sucedido, se fez necessário acrescentar, em sua modelagem, um RNF no início da rede. Além disso, foram inseridos, para cada um dos cenários dos dois sistemas, o consumo-base dos nós, os dados de projeto e os dados das tubulações. Lembrando que para efeito de dimensionamento, assim como foi calculado nas edificações, foi considerado a situação mais desfavorável possível para se determinar os consumos dos nós, ou seja, para o cálculo se considerou os coeficientes k1 e k2. Esse cálculo resultou em

consumos de 0,21 L/s para edificações de 2 pavimentos, 0,52 L/s para edificações de 5 pavimentos e 2,08 L/s para edificações de 20 pavimentos.

Como dado do projeto foi, primeiramente, determinado a cota piezométrica na origem como variável. Sendo assim necessárias algumas informações para possibilitar o dimensionamento: pressão mínima de acordo com o sistema; vazão de projeto (soma de todos os consumos dos nós para cada cenário); rendimento do conjunto motor bomba de 75%; alcance de projeto de 20 anos; tarifa de energia de 0,31782 R\$/kWh; taxa de juros anual de 12%; taxa de juros de energia de 6%; horas de bombeamento de 24 h/dia para o sistema que não possui reserva de água, no caso o de pressão mínima de 25 mca; e 21 h/dia para o sistema que possui parada de bombeamento, no caso o de pressão mínima de 10 mca; cota do nível d'água na origem igual a 0 m; o fator de atualização (Fa) e o gradiente energético (Ge) foram calculados.

As tubulações escolhidas para o dimensionamento de todos os cenários estão na Tabela 3, com os diâmetros dos tubos, tipo PVC, variando entre 50 mm e 500 mm, e rugosidade 0,0015. Essa tabela foi baseada em dados fornecidos pela Caixa Econômica Federal (CAIXA, 2013) e pelo Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (SINAP, 2013). Para os dados de diâmetros dos tubos que não foram obtidos nessas fontes, foi realizada uma projeção através da ferramenta linha de tendência do programa Excel.

**Tabela 3 - Custo para implantação de tubulações.**

Diâmetro (mm)	Custo (R\$/m)			
	Tubo	Assentamento	Escavação/Reaterro	Total
50	15,20	0,82	11,62	27,64
75	27,63	1,10	11,36	40,09
100	44,10	1,38	12,35	57,83
150	89,54	1,65	18,08	109,27
200	152,39	1,93	28,81	183,13
250	231,88	2,21	44,54	278,63
300	327,98	2,76	65,27	396,01
350	444,83	3,04	91,00	538,87
400	575,94	4,39	121,73	702,06
500	889,15	4,86	198,19	1092,20

Os dimensionamentos foram realizados com sucesso pelo método LENHSNET, porém para as simulações serem bem sucedidas e apresentarem dados reais para o estudo, foram necessários alguns ajustes em suas modelagens após o dimensionamento.

Primeiramente, o consumo base dos nós foi recalculado considerando apenas o fato k1, porque só se faz necessário considerar a situação mais desfavorável no dimensionamento. Os novos consumos encontrados foram de 0,14 L/s para edificações de 2 pavimentos, 0,35 L/s para edificações de 5 pavimentos e 1,39 L/s para edificações de 20 pavimentos. Após essa mudança, os casos dos dois sistemas foram simulados para obtenção das vazões de projeto. Posteriormente, foi adicionado nos nós o mesmo padrão de consumo, que representa a variação no consumo de água ao longo do dia, utilizado nas simulações das edificações.

Nos cenários do sistema com pressão mínima na rede de 10 mca, foi inserida, após o RNF, uma bomba (B) que conduz a água para um RNV, que por sua vez distribui, por gravidade, para todos os pontos de consumo da cidade hipotética. Após o dimensionamento, o LENHSNET calculou uma cota para o RNF inicial conforme metodologia de dimensionamento de cota variável, porém para a simulação o valor dessa cota é transferido para a cota do RNV já que esse valor representa a carga hidráulica necessária para atender a rede com a pressão mínima especificada, e posteriormente a cota do RNF foi zerada para a inclusão do sistema de bombeamento (Figura 4). Para o cálculo do diâmetro desse reservatório, foi necessário levar em consideração que o RNV é cilíndrico, sendo seu volume total de reserva igual a 1/3 do volume distribuído no dia de consumo máximo (TSUTIYA, 2006). Foi introduzida também a curva da bomba, considerando a vazão como a de projeto e a carga como a soma da cota do RNV e sua altura.



Nos cenários do sistema com bombeamento direto, foi introduzida uma bomba entre o RNF e a rede (Figura 5). A vazão de projeto calculada após a mudança dos consumos foi utilizada como vazão da curva da bomba, e a altura manométrica de bombeamento fornecida pelo LENHSNET após o dimensionamento foi considerada como a carga da curva da bomba. Na Figura 5 podemos observar que a cota do reservatório de nível fixo é zerada para simular a captação do sistema de bombeamento direto.

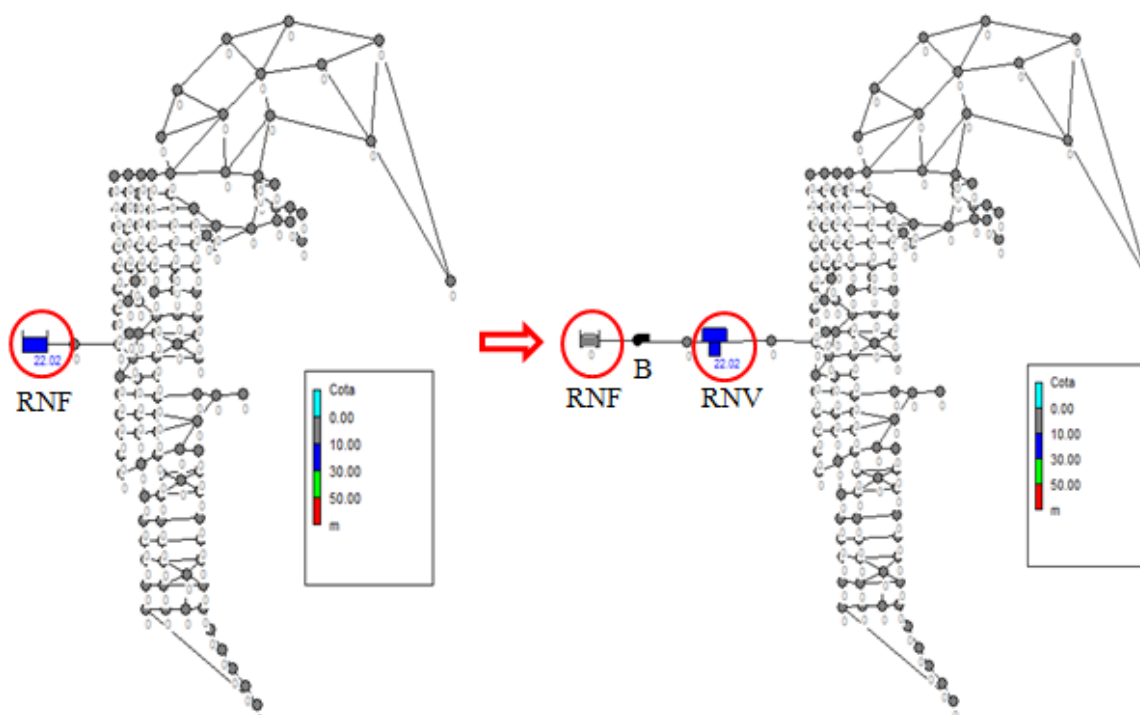


Figura 4 - Ajustes na modelagem da cidade hipotética para os cenários com pressão mínima na rede de 10 mca.

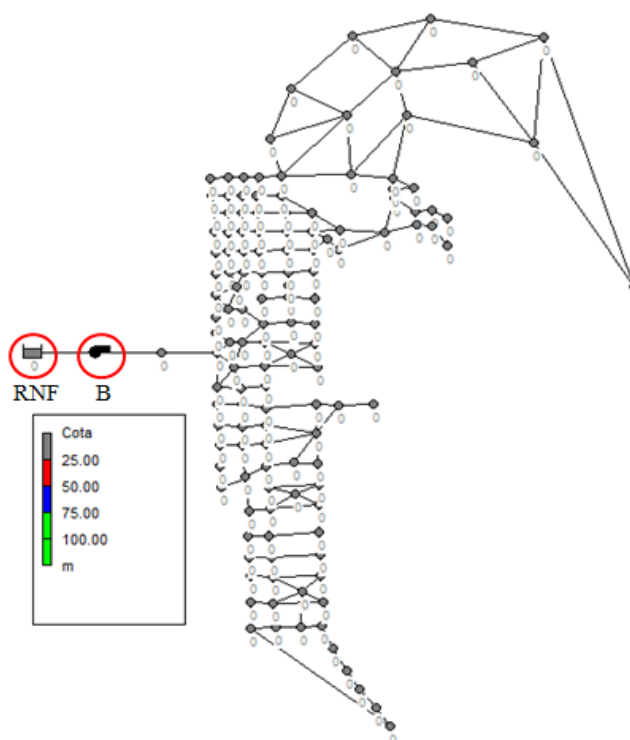


Figura 5 - Ajustes na modelagem da cidade hipotética para os cenários com pressão mínima na rede de 25 mca.

Para a caracterização energética de cada sistema foi necessário introduzir o valor do preço de energia de 0,31782 R\$/kWh, e o padrão de preço de energia associado à bomba, já que o custo da tarifa varia no horário de ponta, tendo sido considerada sete vezes mais elevada entre as 18 e 21 horas. Lembrando que para os cenários do sistema com pressão mínima de 10 mca, que possui reservação de água, foi determinado um controle simples de horário de parada de bombeamento, já que o sistema para de bombear no horário de ponta, onde o custo da energia é mais elevado.

## RESULTADOS

Depois de realizadas as etapas necessárias para as simulações bem sucedidas dos dois sistemas a serem comparados, pôde-se verificar os dados resultantes das mesmas, e se certificar que os parâmetros desejados foram atendidos e representaram adequadamente cada situação.

Primeiramente foram verificadas as pressões nos pontos mais desfavoráveis das edificações, posteriormente foram verificadas as vazões ao longo do dia, tanto consumidas quanto produzidas, para garantir o fornecimento de água adequado, dentro dos parâmetros adotados.

Depois de verificados esses parâmetros, foram calculados os custos de energia por edificação considerando o fator de atualização.

Na Tabela 4 podem-se comparar os custos energéticos atualizados, para o alcance de projeto de 20 anos, das edificações com diferentes pressões disponíveis nas suas entradas. Observa-se que as edificações de 2 pavimentos das duas situações não apresentam custos, já que as pressões mínimas disponíveis são suficientes. No caso das edificações de 5 pavimentos, apenas a edificação com pressão mínima disponível na entrada de 10 mca é insuficiente, fazendo necessário o sistema complementar para atender todos seus pontos com pressão suficiente, apresentando assim um custo energético. A pressão é insuficiente nas edificações de 20 pavimentos, para os dois casos, observando que o sistema com reserva de água e parada no bombeamento representa maior custo do que o com bombeamento direto.

Esses custos mais elevados nas edificações, com pressão mínima disponível na entrada de 10 mca, ocorrem porque quando a água capitada da rede é armazenada em um reservatório enterrado, sua pressão é zerada, havendo assim um desperdício da energia. Já nas edificações com pressão mínima disponível na entrada de 25 mca, elas aproveitam a pressão disponível da rede e adicionam energia de pressão aos pontos mais elevados das instalações.

<b>Tabela 4 - Custo energético atualizado das edificações.</b>		
<b>Número de pavimentos</b>	<b>Custo energético atualizado (R\$)</b>	
	<b>Pressão mín. 10 mca</b>	<b>Pressão mín. 25 mca</b>
<b>2</b>	0,00	0,00
<b>5</b>	3.371,83	0,00
<b>20</b>	39.446,39	35.505,81

Lembrando que foram analisadas duas redes aplicadas no mesmo modelo de cidade. Sendo uma rede abastecida por gravidade e possui pressões mínimas disponíveis de 10 mca, já a outra rede abastecida por bombeamento direto e possui pressões mínimas disponíveis de 25 mca. Foram verificadas as pressões mínimas requeridas em cada sistema no ponto mais desfavorável, como pode ser visto na Tabela 5 e 6.



**Tabela 5 - Pressões mínimas e máximas no N1 para os cenários do sistema com pressão mínima de 10 mca.**

Cenário	Pressão	
	mínima (mca)	máxima (mca)
1	12,66	24,39
2	12,80	31,19
3	12,92	25,76
4	12,84	28,86
5	13,09	24,02
6	13,06	25,12
7	13,20	20,05
8	13,24	22,11

**Tabela 6 - Pressões mínimas e máximas no N1 para os cenários do sistema com pressão mínima de 25 mca.**

Cenário	Pressão	
	mínima (mca)	máxima (mca)
1	25,04	47,06
2	25,00	56,04
3	25,00	48,11
4	25,00	53,08
5	25,10	46,22
6	25,00	47,13
7	25,08	40,41
8	25,17	42,26

Assim como nas edificações, foram verificadas as vazões ao longo do dia, tanto consumidas quanto produzidas, para garantir o fornecimento de água adequado, de acordo com os parâmetros adotados. Após verificados esses parâmetros, foram calculados os custos energéticos atualizados, para o alcance de projeto de 20 anos, dos oito cenários para os sistemas com pressões mínimas de 10 mca e 25 mca (Tabela 7). Observa-se que os custos de bombeamento dos cenários com pressão mínima de 25 mca são bem mais elevados, porque como sua pressão mínima é bem superior ao outro sistema, a carga manométrica de bombeamento dos cenários serão bem maiores, levando a maiores gastos de energia no bombeamento.

**Tabela 7 - Pressões mínimas e máximas no N1 para os cenários do sistema com pressão mínima de 25 mca.**

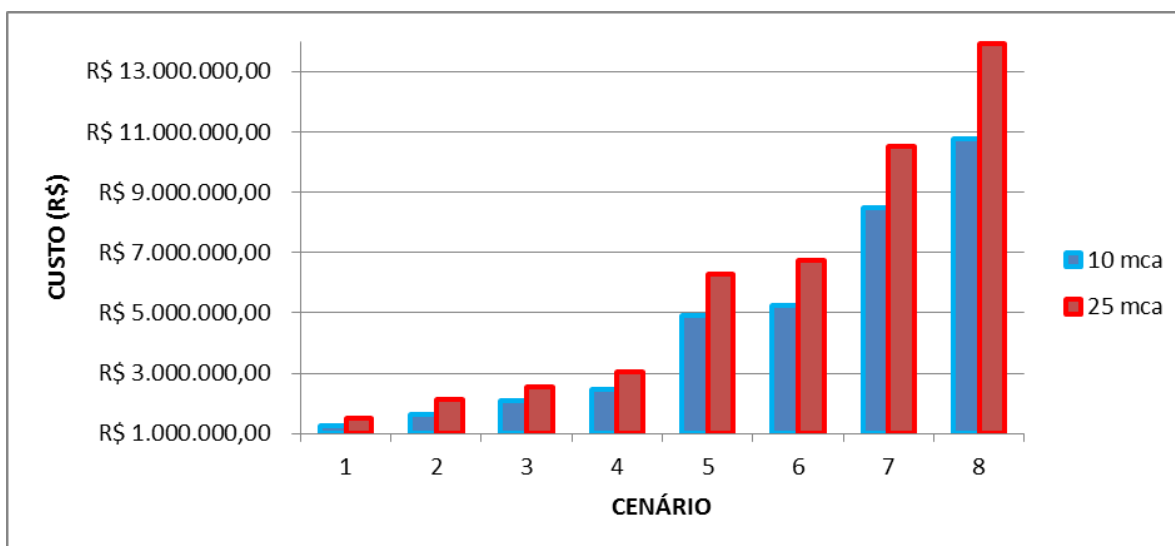
Cenário	Custo energético da cidade atualizado (R\$)	
	Pressão mín. 10 mca	Pressão mín. 25 mca
1	180.210,28	427.857,23
2	336.005,24	995.625,25
3	367.732,97	1.133.911,04
4	516.784,26	1.567.090,09
5	764.390,59	2.440.638,71
6	890.164,04	2.766.731,57
7	1.051.280,81	3.537.297,09
8	1.552.505,89	4.938.354,85

Para a comparação dos sistemas foi considerado o custo total que é a soma do custo de implantação e operação da rede da cidade mais o custo energético do total de edificações. O custo de implantação das edificações foi desprezado, pois foram consideradas as mesmas instalações prediais para os sistemas com pressões mínimas de 10 mca e 25 mca.

Na Tabela 8 pode-se verificar o custo total de cada cenário para cada sistema. Observa-se que o sistema com pressão mínima de 25 mca e bombeamento direto representa maior custo em todos os cenários estudados. Na Figura 6, no primeiro cenário os custos estão próximos e a medida que a cidade cresce, pelo processo de verticalização, essa diferença aumenta. Os crescimentos foram mais acentuados quando as edificações de 20 pavimentos foram incrementadas no modelo. Em síntese, para todos os casos, o sistema de distribuição com bombeamento direto e pressões mínimas de 25 mca sempre ficou acima do sistema com reservação nas edificações e com pressões mínimas de 10 mca.

**Tabela 8 - Custo total dos cenários com sistemas de abastecimento com pressão mínima de 10 mca e 25 mca.**

Cenário	Custo total de sistemas (R\$)	
	Pressão mínima 10 mca	Pressão mínima 25 mca
1	1.258.568,98	1.519.475,63
2	1.627.735,46	2.146.982,85
3	2.077.645,37	2.566.346,69
4	2.453.390,79	3.063.539,84
5	4.930.348,80	6.293.071,33
6	5.255.400,73	6.724.183,70
7	8.477.182,96	10.511.903,93
8	10.774.747,66	13.927.172,16



**Figura 6 - Gráfico de comparação do custo total dos cenários com sistemas de abastecimento com pressão mínima de 10 mca e 25 mca.**

## CONCLUSÕES

O estudo considerou como custos totais, a soma do custo de implantação e operação das redes de cada cenário, somado com a parcela do custo energético das instalações hidráulicas das edificações. Os custos de implantação de todos os cenários com pressão mínima de 25 mca foram mais elevados, pois maiores pressões exigidas resultaram em custos mais elevados com as tubulações. O custo energético do total das edificações de cada cenário do sistema com pressão mínima de 10 mca e distribuição de água por gravidade foram mais elevados, pois essa pressão mínima só foi suficiente para atender as edificações de 2 pavimentos, precisando de acréscimo energético para os edifícios de 5 e 20 pavimentos. Já o custo energético dos cenários da cidade hipotética com pressão mínima de 25 mca foram mais elevados, porque como sua pressão mínima é superior ao outro sistema, a carga manométrica de bombeamento dos cenários foram maiores, o que levou a maiores gastos de energia no bombeamento. Com a soma das parcelas dos custos, foi verificado que o sistema com pressão mínima de 25 mca e bombeamento direto representa maior custo total em todos os cenários estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética. João Pessoa: UFPB, 2012. 189 p.
2. GOMES, H. P.; ROIG, J. M.; REY, P. L. I.; ROCHA, N. B. S.; SALVINO, M. M. Eficiência energética de sistemas de abastecimento de água para diferentes pressões nas entradas das edificações. In: Simpósio Iberoamericano sobre Planificación de Sistemas de Abastecimiento y Drenaje, 12, 2013, Buenos Aires.
3. PEREIRA, J. A. R.; CONDURÚ, M. T. Abastecimento De Água: Informação para Eficiência Hidroenergética. João Pessoa: UFPB, 2014. 127 p.
4. PROGRAMA NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SANEMANTO AMBIENTAL (PROCEL SANEAR). Plano de Ação PROCEL SANEAR 2006/2007. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2005. 65 p.
5. SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAP). Preços de insumos. João Pessoa: novembro de 2013. Disponível em: <[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programa\\_des\\_urbano/SINAPI/relatorio\\_insumos.as](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/relatorio_insumos.as)>. Acesso em: 8 nov. 2013, 15:00.
6. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.