

**[I-051] CRIAÇÃO DE PACOTE COMPUTACIONAL PARA TRAÇADO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO AUTOCAD E EPANET****Alessandro de Araújo Bezerra⁽¹⁾**

Professor Adjunto da UFPI, Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Mestre em Recursos Hídricos pela UFC e Bacharel em Engenharia Civil pela UFC.

Jordana Madeira Alaggio Ribeiro⁽²⁾

Discente de graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

Renata Shirley de Andrade Araújo⁽³⁾

Professora Adjunta da UFPI, Doutora em Recursos Hídricos pela UFC, Mestre em Recursos Hídricos pela UFC e Bacharel em Engenharia Civil pela UFC.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnologia e Saneamento Ambiental – Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Piauí. Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Ininga – Teresina – Piauí - CEP: 64049-550 - Brasil - e-mail: alessandrobezerra@ufpi.edu.br.**RESUMO:**

A rede de distribuição de água é responsável por levar a água para consumo até a casa das pessoas com qualidade e quantidade adequadas. Para isso, ela é dimensionada em cálculos que envolvem variáveis como pressão, demandas, informações topográficas, vazões, etc. Existe o programa Epanet que realiza simulações hidráulicas, mas para inserir a rede é necessário atividades repetitivas, e o AutoCAD, bastante familiar entre os projetistas. Assim, foi criado um pacote computacional no AutoCAD para interagir com o Epanet e agilizar a organização dessas informações e diminuir risco de erros. O pacote computacional foi criado utilizando as linguagens de programação AutoLISP e Visual Basics for Applications (VBA). Para inserir o desenho da tubulação, foi criada a função “Traçado da rede”, que associa uma legenda com respectivos materiais, diâmetros e comprimentos de cada trecho. Criou-se também a função de inserção de boosters, reservatórios e válvulas, que promovem a inserção e a configuração desses elementos. A função “Demanda Especial” possibilita a determinação de consumos especiais na rede, enquanto a função “Edit” disponibiliza ferramentas de edição para seus componentes. O “Default” é uma rotina que permite a configuração das propriedades físicas das tubulações, das opções gráficas de projeto e dos parâmetros de cálculo. Este último tipo de configuração existe pois foi criada a função “Exportar” que exporta a rede de distribuição de água desenhada e configurada no AutoCAD para o Epanet. Se após realizada a simulação, o usuário desejar trazer para o projeto no AutoCAD os resultados dos nós, ele pode fazer isso através da função “Resultado dos nós”. Assim, o cálculo automatizado das cotas e dos consumos nos nós, além da exportação da rede do AutoCAD pro Epanet promovem um significativo ganho produtivo no processo de simulação hidráulica com os elementos gráficos da rede de distribuição inseridos e configurados de forma rápida e dinâmica, além da padronização de projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Computacional, Rede de Distribuição de Água, Projeto**INTRODUÇÃO**

As redes de distribuição de água são responsáveis por fazer com que a água chegue até o consumo humano, com as condições de potabilidade mantidas, pressão estabelecida e em quantidade desejada (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015). Para atingir e manter essas condições é necessário passar por um criterioso dimensionamento, que se utiliza de parâmetros como: o consumo per capita, coeficientes de variação das vazões k_1 , k_2 e k_3 , coeficiente de demanda industrial, níveis de atendimento e período de projeto, além do alcance do estudo (TSUTIYA, 2006).

Existem softwares como o AutoCAD, familiar aos engenheiros, que é utilizado para elaboração de projetos técnicos, assim como o de redes, com desenho e informações necessárias para a construção. Existe o software Epanet, que com as informações da rede de distribuição, realiza simulações hidráulicas. Porém, traçar o projeto de redes de distribuição de água no Epanet, implica em atividades muito repetitivas que exigem muito esforço e cuidado por parte do projetista para inserir os parâmetros já citados, além de dados de bomba, reservatórios, trechos, entre outros.



A automação, como sugere Castro (2004), surge então como uma alternativa para solucionar esse problema, permitindo maior economia de tempo e esforço e reduzindo significativamente o risco de erros no projeto, já que para aplicar no Epanet, é necessária uma numerosa quantidade de dados de entrada. Os objetivos deste trabalho foi desenvolver um pacote computacional para otimizar o processo de simulações hidráulicas de redes de distribuição de água no Epanet.

Assim, por o AutoCAD ser um programa presente no cotidiano dos profissionais da engenharia civil, por ter compatibilidade com outros softwares utilizados no mercado e linguagens de programação AutoLISP e Visual Basics for Applications (VBA), ele foi utilizado para desenvolver um pacote computacional que auxiliasse o traçado da rede com seus parâmetros de forma mais interativa, com rotinas de inserção de elementos da rede, traçado da rede, configuração de rede, cálculo e desenho; exportação para o Epanet e exibição de resultados da simulação hidráulica. É esperado que esse pacote promova rapidez e confiabilidade na entrada de dados e traçado da rede. Além disso, os resultados da simulação da rede no Epanet pode ser um dos fatores essenciais na elaboração de projetos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o levantamento de dados necessários para a composição do programa, como materiais utilizados em redes de distribuição de água (PVC PBA Classes 12, 15 e 20; Ferro Fundido K7 e K9; RPVC; PEAD; PVC DE FoFo e PRFV), em seguida, os respectivos diâmetros comerciais, encontrados em catálogos de fabricantes; coeficientes de Hazen-Williams e rugosidade absoluta de cada material, coeficientes de variação de vazão, encontrados no Porto (2006) e em catálogos de produtos.

Para o desenvolvimento do programa foram utilizadas as linguagens encontradas no AutoCAD (AutoLISP e VBA), assim como os recursos de design já existentes na plataforma. As rotinas podem ser acessadas por ícones em uma barra de ferramentas que pode ser carregada pelo usuário. Assim, inicialmente abre-se um arquivo “.dwg” com a planta baixa da região, onde será feita a rede de distribuição, com suas curvas de nível. A primeira etapa é a definição das propriedades de projeto e a segunda é o cálculo das cotas topográficas, a qual foi feita uma função específica aplicável a um ponto, que calcula a cota topográfica dele interpolando ou extrapolando linearmente as curvas de nível.

Foi criada a função “Traçado da Rede” que usa o comando “line” para desenhar os trechos na planta já carregada, de acordo com a preferência do projetista. Junto a cada trecho é exibido uma legenda com seu material, diâmetro e comprimento.

Em seguida, foi criada a rotina de “Booster” que insere uma bomba na rede, perguntando seu ponto de localização e qual a jusante dela, para aplicar qual o sentido que a água passa pela bomba. Em uma janela é possível inserir os dados dessa bomba, que são: curva da bomba, velocidade de rotação, numero de bombas ativas e inativas, opção de esconder a legenda ou não e as perdas localizadas, que pode ser inserido já a soma dos coeficientes “K” ou aparece uma lista de acessório mais comumente utilizados para o usuário preencher com as quantidades de cada que o programa calcula o “K”, somando o coeficiente de cada peça.

A rotina “Reservatório” insere na rede um reservatório, perguntando seu ponto de inserção. Suas configurações pedidas pelo programa são: numero de reservatórios, distancia entre o nível d’água mínimo e o terreno (fuste), distância entre o nível de agua mínimo e a tubulação de entrada, altura útil da água, sua geometria e de acordo com ela, determinar o comprimento e largura (se for retangular) ou diâmetro (se for circular). A cota do terreno do reservatório já é calculado pelo programa.

Outro elemento da rede de distribuição de água que pode ser inserido é a válvula, através da rotina “Válvula”. Ao clicar no ícone de acesso a essa rotina, ele pergunta o local de inserção do elemento, somente. É necessário configurá-la em relação a seu tipo, que foram pegos do Manual do Epanet (2000), que pode ser: Válvula Redutora de Pressão (PRV), Válvula Sustentadora de Pressão (PSV), Válvula de Perda de Carga Fixa (PBV), Válvula Reguladora de Vazão (FCV), Válvula Borboleta (TCV) e Válvula Genérica (GPV). Em seguida, é pedido para preencher os parâmetros de controle, que pode ser a pressão (para PRV, PBV e PSV), vazão (FCV), perda de carga (TCV) e curva de perda de carga da válvula (GPV). Faz parte da configuração também, o seu



coeficiente de perda de carga singular (K) e o diâmetro já é reconhecido pelo programa como o mesmo do trecho no qual foi inserida.

Foi criada uma função específica para editar esses elementos da rede de distribuição de água, chamada “Edit”, que ao usar, ela abre a janela de configuração daquele elemento. E a função “Demanda Especial” que permite o usuário inserir pontos de demanda especial na rede.

A função “Default”, em uma das abas, permite a configuração das características físicas da rede, como a escolha do material, e do seu diâmetro comercial que deseja usar, o coeficiente de Hazen-Williams e a rugosidade absoluta são calculados automáticos pelo programa segundo fontes de catálogos de produtos. O usuário ainda pode colocar se a rede é projetada ou existente e qual a zona de demanda ela está, além de coeficientes de qualidade da água como o K_b e o K_w . Em outra aba, tem as configurações de cálculo, que pode-se editar o numero da população a ser considerado, os coeficientes k_1 e k_2 , que inicialmente está o valor usualmente utilizado; o consumo per capita de cada zona, sendo disponibilizado 5 zonas; e seleciona qual formula irá ser utilizada para o cálculo de perda de carga unitária (Hazen-Williams ou Darcy-Weisbach). E por fim, tem a aba de design de desenho, em que tem opções de texto e escala.

A rotina “Exportar para o Epanet” tem a função que exporta a rede para o Epanet. Os dados referentes a cada elemento da rede de distribuição são colocadas em um documento de texto no formato “.inp”, que é uma das formas permitidas pelo Epanet para entrada de dados. A rotina de exportação tem a capacidade de calcular o consumo em cada nó. O método adotado consiste na divisão da vazão de projeto, por zona de demanda, pelo comprimento total dos trechos referentes àquela zona. O valor encontrado é denominado vazão distribuída. O consumo em cada nó é então definido como o somatório das metades dos produtos do comprimento de cada trecho que tem aquele nó como extremidade, pelo valor da vazão distribuída.

Os reservatórios são diferenciados entre de nível fixo e de nível variável (conforme nomenclatura do Epanet). Em relação aos reservatórios de nível variável, os parâmetros de interesse são cota, nível inicial, nível mínimo, nível máximo e diâmetro. Para reservatórios de forma retangular, é promovido o cálculo de um diâmetro equivalente. Por fim, em relação à exportação do elemento *booster*, desenvolveu-se um mecanismo para identificar e desenhar, no Epanet, a quantidade de bombas ativas e inativas presentes na instalação. Para cada bomba, a rotina insere uma válvula no Epanet.

Após a simulação da rede no Epanet, pode-se obter documento de texto em formato “.rpt” que é o arquivo de relatório de resultados. Utilizando-se desses documentos de texto do Epanet, tem-se a função “Resultado dos nós” de leitura dos resultados dos nós, que apresenta os resultados em blocos para otimizar a sua leitura e colocá-los no seu respectivo nó da rede do projeto no AutoCAD, com dados de: número de identificação do nó, cota do terreno, pressão e cota piezométrica.

RESULTADOS

Mesmo com dificuldades de programação pois o modo de funcionamento das funções é diferente, sendo assim, formas diferentes de programar, as linguagens interagem bem uma com a outra e foi satisfatório a interação entre as plataformas do AutoCAD e do Epanet. O pacote computacional é uma ferramenta que foi desenvolvida para auxiliar a execução de simulações hidráulicas no Epanet, através da interface interativa do AutoCAD que fornece praticidade e rapidez no traçado das redes de distribuição de água, minimizando a chance de ocorrer erros grosseiros por parte do projetista.

O programa é constituído por um conjunto de funções executáveis no AutoCAD, cujo acesso pode ser realizado pela palheta de ícones, como mostrado na Figura 1, a seguir:



Figura 1: Palheta com ícones de acesso.

A rotina “Traçado da rede” executa o traçado da rede no AutoCAD. Simultaneamente ao desenho dos trechos, são inseridas legendas correspondentes, como mostra na figura 2, definidos os nós que os delimitam e calculadas suas respectivas cotas topográficas.

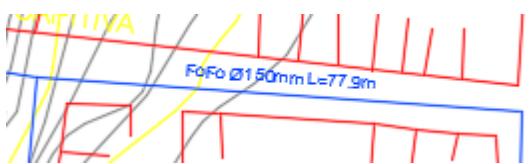


Figura 2: Legendas geradas através da rotina "Traçado da rede".

A função "Reservatório" promove a inserção e a configuração de reservatórios no projeto, como mostra na figura 3 abaixo. Através de uma caixa de diálogo, é possível selecionar as propriedades do reservatório: fuste, altura útil, distância entre o nível mínimo e a tubulação de entrada, geometria e dimensões do reservatório. Os parâmetros de entrada para as dimensões do reservatório são alterados de acordo com a geometria do mesmo. Além disso, a rotina realiza a identificação automática do elemento e o cálculo de sua cota.

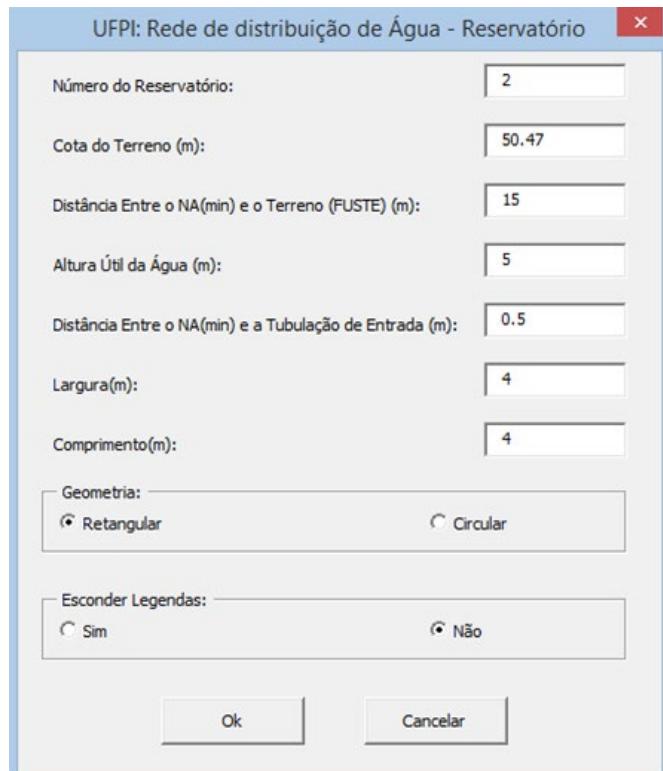


Figura 3: Janela de configuração do reservatório.

A função "Booster" desenvolvida para inserção de *booster* na rede possibilita indicar, através da própria interface do AutoCAD, o ponto do trecho em que se deseja alocar o *booster* e o sentido do escoamento que será permitido em seu interior. Através da caixa de diálogo a ser apresentada na figura 4, é possível indicar a curva da bomba, a partir da entrada de valores de pares ordenados; a velocidade de rotação da bomba; a quantidade de bombas ativas e inativas presentes na instalação.



UFPI: Rede de Distribuição de Água - Booster

Curva de Bomba:	Velocidade de Rotação (rpm):
Q (l/s)	Hm (m)
0	50.6
6	49
12	46.3
18	42.4
24	39.2

Perdas Localizadas:	1750
<input type="radio"/> Soma dos coeficientes "K":	9.1
<input checked="" type="radio"/> Acessórios	<input type="button" value="Calcular"/>
Esconder Legenda:	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
Diâmetro (mm):	50
Material:	PVC

Número de Bombas Ativas: 1 Número de Bombas Inativas: 0

Acessórios

Cotovelo 90° raio curto:	2	Registro de gaveta aberto:	1
Cotovelo 90° raio longo:		Registro de ângulo aberto:	
Cotovelo 45°:		Registro de globo aberto:	
Curva 90° R/D = 1:		Válvula de pé com crivo:	
Curva 45°:		Válvula de retenção leve:	
Tê 90° passagem direta:	3	Curva de retorno 180°:	2
Tê 90° saída lateral:		Válvula de boia:	

Figura 4: Exemplo de aplicação da função “Booster”.

Em relação aos acessórios que compõem a instalação do *booster* e que provocam perda de carga localizada, é oferecida a opção de definir as quantidades dos acessórios disponíveis na caixa de diálogo e em seguida o programa realiza o cálculo da soma dos coeficientes K, ou de entrar diretamente com essa soma, para situações nas quais existam acessórios na instalação que não estejam presentes nas opções disponíveis ou quando já se tem o valor da soma dos coeficientes.

Assim como a função "Reservatório", esta promove a identificação automática dos elementos e o cálculo de suas cotas. Concluídas as configurações, um bloco representativo do *booster* é inserido no desenho, no ponto indicado. Também é inserida uma legenda, informando o identificador do *booster*.

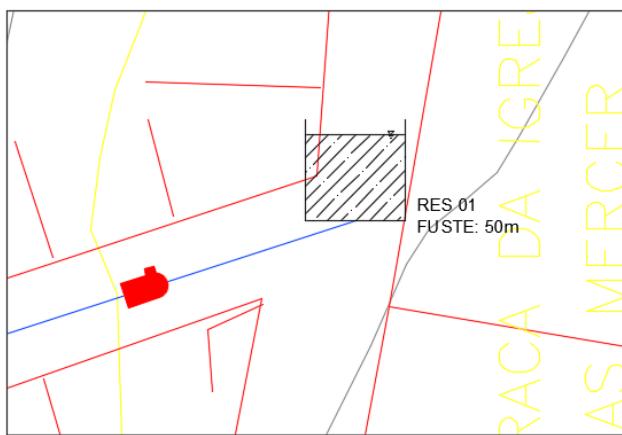


Figura 5: Representação do reservatório e da bomba na rede de distribuição de água no AutoCAD.

A função “Válvula” que insere uma válvula na rede pede inicialmente para indicar o ponto de inserção da válvula na rede e em seguida aparece a caixa de diálogo apresentada na figura 6, que é a configuração inicial de preenchimento de informações da válvula que o usuário deseja inserir.



Inserção de Válvula

Diâmetro (mm):

Tipo:

Pressão:

Coefficiente de Perda de Carga Singular (K):

Figura 6: Exemplo de aplicação da função “Válvula” e função “Resultado dos nós”.

Seu diâmetro é de acordo com o diâmetro do trecho no qual foi inserida. O usuário pode escolher qual o tipo de válvula e preencher os campos de parâmetro de controle, que muda de acordo com o tipo de válvula escolhida podendo aparecer: pressão(PRV, PSV, PBV), vazão(FCV), coeficiente de perda de carga singular (TCV) e espaços para inserir pares ordenados da curva de perda de carga (GPV); e preencher o coeficiente de carga singular.

Para a definição de consumos especiais na rede, a rotina "Demanda Especial" possibilita a determinação do nó que apresenta essa característica e o valor do consumo, representado no desenho através de uma seta. Foram desenvolvidas ferramentas que permitem a edição dos componentes da rede (trechos, reservatórios, *boosters* e válvulas). A edição ocorre a partir de caixas de diálogo que possibilitam a visualização das propriedades do elemento selecionado e sua alteração.

O "Default" é uma rotina que permite a configuração das propriedades físicas das tubulações, das opções gráficas do projeto da rede e dos parâmetros de cálculo para as simulações hidráulicas. A rotina é constituída por uma caixa de diálogo, possuindo uma interface de simples interpretação através da qual é possível dar sequência à seleção das características, como apresentado na figura 7, é possível modificar os dados dos trechos, incluindo detalhes como tipo de rede, zona demanda e coeficientes de qualidade da água.

É possível na aba de “Cálculo da função “Default”, a ser mostrada na figura 8 abaixo, modificar dados de cálculos como equação a ser utilizada, número da população, coeficientes k1(vazão no dia de pico) e k2 (vazão na hora de pico), os consumos das zonas de demanda, entre outros.



UFPI: Rede de distribuição de água - Default

X

Rede	Cálculo	Geral
Material:	PVC PBA CL 12	
Coeficiente C de Hazen-Williams:	150	
Rugosidade Absoluta ϵ da Fórmula de Darcy-Weisbach (mm):	.06	
Diâmetro (mm):	50	
Tipo de Rede:	Projetada	
Zona de Demanda:	A	
Coeficiente K_b (1/s):	0	
Coeficiente K_w (m/s):	0	

Ok Cancelar

Figura 7: Caixa de diálogo da função "Default" na aba "Rede".

UFPI: Rede de distribuição de água - Default

X

Rede Cálculo Geral

População de Projeto (hab):	5000
Coeficiente k_1 :	1.2
Coeficiente k_2 :	1.5
Consumo Per Capta da Zona A (L / hab · dia):	150
Consumo Per Capta da Zona B (L / hab · dia):	150
Consumo Per Capta da Zona C (L / hab · dia):	150
Consumo Per Capta da Zona D (L / hab · dia):	150
Consumo Per Capta da Zona E (L / hab · dia):	150

Perda de Carga Unitária

Hazen-Williams

Darcy-Weisbach

Ok Cancelar

Figura 8: Caixa de diálogo da função "Default" na aba "Cálculo".



A exportação da rede de distribuição de água desenhada e configurada no AutoCAD para o Epanet é realizada através da função "Exportar", cuja aplicação é apresentada na figura 9. Essa função se utiliza do documento de texto no formato ".inp" como documento de entrada de rede no Epanet.

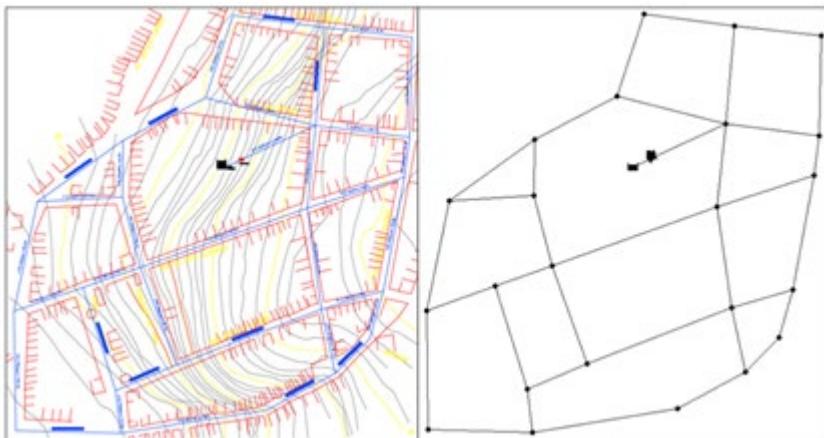


Figura 9: Traçado de uma rede de distribuição fictícia realizado com o "UFPI-CT1" (à esquerda) e exportado para o Epanet (à direita).

No Epanet, são desenhadas as quantidades de bombas ativas e inativas que foram definidas no momento da configuração do *booster*, e para cada bomba é inserida uma válvula do tipo borboleta, a fim de controlar sua abertura e fechamento.

Após a simulação no Epanet, com a função “Resultado dos nós”, se utilizando do relatório completo da simulação disponibilizado pelo programa em um documento de texto em formato “.rpt”, é possível associar a cada nó da rede, seus dados de acordo com a figura 8. Dentro do círculo o número do nó, na parte superior da linha tem-se a cota do terreno do nó, na parte inferior, a cota piezométrica e à direta da linha, tem a pressão do nó.

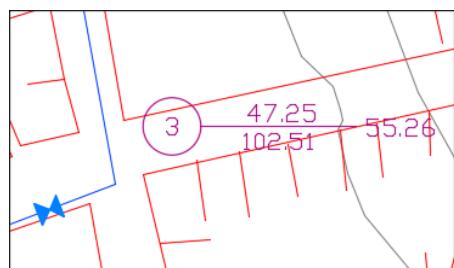


Figura 8: Exemplo de como é apresentado a função “Resultado dos nós” e a representação da válvula.



CONCLUSÕES

A ferramenta computacional desenvolvida e apresentada neste trabalho possui uma interface simples, de fácil interpretação, que facilita a interação entre os softwares AutoCAD e Epanet, oferecendo maior praticidade quanto à elaboração do traçado de redes, minimizando a ocorrência de erros grosseiros cometidos por parte do projetista. Os elementos gráficos da rede de distribuição, trechos, reservatórios, *boosters* e válvulas, são inseridos e configurados de forma rápida e dinâmica, promovendo a padronização do projeto.

Ao realizar o cálculo automatizado das cotas dos componentes da rede e dos consumos nos nós, o programa elimina a entrada manual desses dados em cada ponto da rede, dispensando assim a etapa de cálculo do consumo para o dimensionamento. Isso economiza tempo e torna o desenvolvimento do projeto mais eficiente, quando comparada à execução dessas atividades de forma manual. Além disso, com o resultado dos nós apresentado de forma padronizada e simples, facilita a análise sobre a rede e a comparação dos resultados do projeto com o funcionamento da rede na fase de operação.

Como uma ferramenta tecnológica, a interação das plataformas utilizadas nesse trabalho, foi elaborada de forma a tornar possíveis atualizações futuras demonstrando um grande potencial de desenvolvimento, como dimensionamento e calibração de redes de distribuição de água. De forma que é possível alterar os componentes da rede de forma fácil e simples, por exemplo, material e diâmetro da tubulação, aumentar ou diminuir a pressão com a utilização de boosters e válvulas para atender a zonas de pressão ou planejar uma mudança no reservatório, se possível ou necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). NBR 12218: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro - RJ.
2. AZEVEDO NETTO, J.M. de; FERNANDEZ, M. F. y. Manual de Hidráulica. 9 ed. São Paulo: Blucher, 2015.
3. CASTRO, M. A. H. (2004). "Uso conjunto do autocad e do epanet para projeto, simulação e dimensionamento de redes de abastecimento de água" in Anais Eletrônicos do IV Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, Nov. 2004. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/4serea/artigos/uso_conjunto_do_autocad_co.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.
4. GOMES, H. P. (1997). "Dimensionamento de sistemas de abastecimento urbano de água a partir de técnicas de otimização econômica" in Anais Eletrônicos do XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, pp. 1037-1048. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/otimizacion.pdf>>. Acesso em: 14. out 2019.
5. ROSSMAN, L. A. (2000). Epanet 2: Users Manual. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati - OH. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf>. Acesso em: 16 out. 19.
6. TSUTIYA, Milton T. Abastecimento de água. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.