

**XI-122 - APROXIMAÇÃO DOS RESULTADOS DE PRESSÕES EM MODELOS MATEMÁTICOS AOS DADOS DE PRESSÃO MEDIDOS EM CAMPO COM USO DA METODOLOGIA IWANA (INTELLIGENT WATER NETWORK ANALYSIS) PARA CARREGAMENTO DE DADOS DE VAZÕES DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA**

**Amazília Araújo Bruel**

Engenheira Civil pela UFPR – Universidade Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR – Universidade Federal do Paraná. Diretora Executiva da empresa Aqua Salutaris Engenharia.

**Luiz Alberto Menon de Araújo**

Engenheiro da Computação pela Universidade Positivo. Pós-graduado em Automação Industrial pela PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

**Maria Angélica Kroetz Kovalhuk**

Engenheira da Computação pela PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Pós-graduada em Gestão da Tecnologia da Informação e Comunicação pela UTFPR – Universidade Tecnológica do Paraná.

**Endereço:** Rua Alferes Poli, 978 - Bairro: Rebouças - Curitiba - Paraná - CEP: 80220-050 - Brasil - Tel:+55 (41) 3121-0415/ (41) 99951-9949 - e-mail: contato@aquasalutaris.com - www.aquasalutaris.com.

**RESUMO**

O presente trabalho descreve algumas características da metodologia IWANA (Intelligent Water Network Analysis) que levam ao aumento de precisão dos resultados obtidos no diagnóstico de redes de distribuição de água por meio da simulação hidráulica. A modelagem matemática para o estudo do comportamento dinâmico de um sistema distribuidor de água pressupõe que quanto mais próximos estiverem os dados carregados no modelo em relação aos dados observados em campo, maior será a precisão dos resultados. Para tanto optou-se por considerar diferentes comportamentos para as duas parcelas de vazão que compõem o total da vazão aduzida nos trechos da rede. A primeira parcela, correspondente à demanda, se constitui do consumo efetivo das ligações. No caso estudado 100% dos ramais prediais possuem hidrômetros instalados. A segunda parcela da vazão corresponde à perda física, que é a água presente nas tubulações que em algum momento se dissipará nos vazamentos e não chegará aos hidrômetros. Neste estudo demonstra-se que as curvas de variação dessas parcelas se comportam de maneira oposta. No carregamento simplificado, há uma única entrada para a soma das duas parcelas. Nesse caso considera-se que a variação de ambas observa o mesmo comportamento. Como na prática ocorre diferença de pressões entre os nós e nos diferentes horários do dia, as perdas serão diretamente proporcionais às pressões a que estão submetidos os trechos, essa simplificação levará a resultados tanto mais distantes daqueles obtidos por meio da metodologia IWANA quanto mais críticas forem as condições operacionais da rede, ou seja, quando a mesma for composta por numerosos trechos com altas perdas de carga e a vazão correspondente às perdas for relevante. No caso estudado foram observadas diferenças de mais de 30mca nos resultados de pressões obtidos entre a metodologia IWANA e uma metodologia intermediária, em que se considerou a parcela de perdas constante ao longo do dia. Em dois nós em que foi disponibilizada pressão medida em de campo, a diferença de resultado chegou perto de 2mca para a metodologia IWANA e mais de 30mca para a metodologia simplificada.

**PALAVRAS CHAVE:** IWANA, Carregamento de Vazões, Perdas Reais de Água, Simulação Hidráulica, Diagnóstico de Perdas.

**INTRODUÇÃO**

A importância de diagnósticos precisos de redes de distribuição se deve ao fato de ser possível definir com precisão quais os pontos da rede existente devem receber investimentos para que efetivamente ocorra a recuperação da sua capacidade hidráulica. Quanto maior o grau de certeza sobre os dados utilizados no modelo, maior domínio haverá sobre a identificação das causas de problemas. Como consequência, as decisões se tornarão mais seguras, com investimentos aplicados pontualmente nos locais críticos, levando o analista a soluções de menor custo.

Preliminarmente, sugere-se priorizar o uso da metodologia IWANA em sistemas caracterizados por elevadas perdas de carga e altos valores de vazão mínima noturna (MNF - Minimum Night Flow), ou seja, altas perdas reais (RL - Real Losses) de água. Partindo-se da premissa que pode ser considerada relevante uma RL superior a 20% da vazão média e como alta a perda de carga cujos coeficientes sejam superiores a 5m/km, a rede de distribuição de água em estudo se enquadra nessa condição. Para esse modelo especificamente, os resultados obtidos a partir de simulações hidráulicas realizadas conforme a metodologia simplificada de carregamento de dados, em que o carregamento de vazões é realizado com valores únicos nos nós, não havendo separação de vazões referentes a perdas e a demanda, não produziu resultados satisfatórios, com distorções suficientemente grandes para inviabilizar a calibração do modelo. No confronto dos resultados observados no modelo com os dados reais, medidos em campo, verificou-se que as distorções ocorreram porque a maioria dos trechos da rede possuíam diâmetros subdimensionados para as vazões observadas, condição esta aliada a RL altas. Como os gradientes de perda de carga se tornam muito elevados em tubos submetidos a tal situação crítica, buscou-se melhorar os resultados da simulação, com a aproximação das condições dos fluxos do modelo às condições reais. Primeiramente, a distribuição de vazões de consumo e as vazões de perdas foram isoladas e carregadas separadamente, segundo critérios distintos de distribuição e de comportamento. Num cenário preliminar de simulação, as vazões de consumo variaram conforme a curva de consumo local, e as vazões de perdas foram consideradas constantes ao longo do dia. Ainda assim as diferenças observadas entre as medições de campo e os resultados do modelo persistiram. Por isso, desenvolveu-se a metodologia proposta, a qual denominou-se IWANA (Intelligent Water Network Analysis), em que o carregamento de vazões se realiza separadamente, em nós específicos para cada tipo de vazão, quais sejam: as referentes às perdas reais na distribuição e as referentes ao consumo efetivo medido nas ligações. Pelo método IWANA as simplificações na inserção de dados no modelo são evitadas. Neste último, tanto o critério de distribuição espacial, como o comportamento das variações durante o dia ocorrem de modos distintos para cada parcela de vazão: perdas e consumo. Adotou-se a variação da vazão de consumo conforme a curva de consumo registrada nos macromedidores instalados na localidade; e para a variação das vazões de perdas adotou-se a formulação FAVAD (Fixed and Variable Area Discharges), em que se pressupõe que as vazões nos vazamentos são diretamente proporcionais à pressão a que a rede estiver submetida. Como esperado, os resultados tenderam a se aproximar do verificado em campo na medida em que igualmente as inserções de dados de vazão e de rede no modelo se aproximaram daqueles observados em campo.

## **OBJETIVO DO TRABALHO**

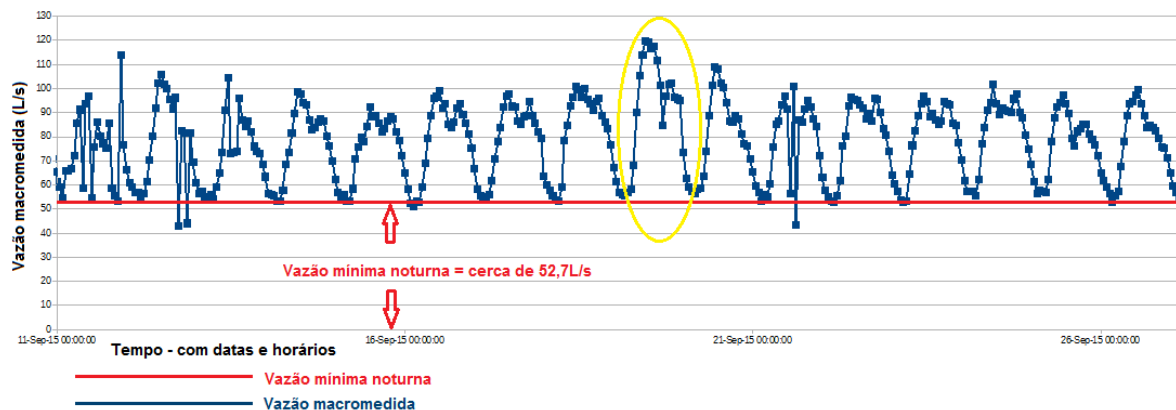
O objetivo do trabalho é aperfeiçoar o modo de carregamento de vazões no modelo matemático para que os resultados se aproximem mais dos observados em campo.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

A fim de desenvolver o estudo, foram utilizados dados de um sistema abastecido por gravidade a partir de um reservatório existente. O sistema em estudo se caracteriza por possuir grande parte dos trechos da rede com altas perdas de carga, devido aos diâmetros subdimensionados para as vazões nele observadas. A MNF corresponde a mais de 50% da vazão máxima diária (média diária do dia de maior consumo) observada. Dessa constatação, se conclui que a perda real é elevada e as diferenças nos resultados devido a simplificações serão relevantes. Para fins de simulação, considerou-se que a perda real de água na rede correspondente a cerca de 90% da MNF. O aplicativo de simulação hidráulica usado foi o Watercad, comercializado atualmente pela empresa Bentley. É importante destacar que a metodologia exposta é aplicável se o aplicativo de simulação possuir uma ferramenta que permita selecionar determinados nós para que os mesmos assumam a variação de sua vazão inicialmente carregada conforme a pressão a que cada nó esteja submetido, em relação a uma pressão de referência. No caso do Watercad, a ferramenta chama-se Load Builder, com modo de carregamento Pressure Dependent Demand. Portanto, julgou-se conveniente, além dos nós lançados inicialmente no modelo, intercalar outros nos pontos medianos de todos os tubos, a fim de receberem as vazões correspondentes às perdas reais. Para alcançar o nível de precisão desejado, procurou-se usar os dados reais distribuídos espacialmente no modelo com base em todas as informações disponíveis, que nesse caso, correspondem a dados de vazão micromedida por ligação, em pontos georreferenciados.

Foi analisado o histórico de um ano da variação instantânea da MNF, sendo possível avaliar e constatar que ela se manifestou relativamente uniforme durante o período, com valores sempre próximos a 52,7 L/s. Para uso no modelo, foram adotados os dados da curva do dia de maior consumo do ano, referente ao dia 20 de

setembro de 2015. Nesse sábado, em que a temperatura máxima local foi de 27°C, o consumo foi maior do que nos dias subsequentes, quando as temperaturas chegaram a 33°C. Nesse dia a vazão média (corresponde à vazão máxima diária) foi de 89,55L/s. A figura 1 a seguir mostra a variação de vazões nas semanas anterior e posterior ao dia de maior consumo do ano, circundada em amarelo na Figura 1 a seguir. As falhas na medição foram desprezadas.



**Figura 1: Curvas de vazão coletadas em macromedidores instalados permanentemente no sistema.**

O carregamento de dados de vazão foi realizado através da ferramenta Load Builder do aplicativo Watercad, seguindo a sequência abaixo:

- 1- Identificação das curvas de vazão obtidas por macromedidores instalados no local;
- 2- Adoção do critério de que a vazão de RL corresponde a aproximadamente 90% da MNF, no caso estudado, cerca de 47,4L/s.
- 3- Para fins de carregamento, admitiu-se um valor constante de RL para o período de 24 horas;
- 4- Subtraindo-se a constante de vazão considerada como a parcela de RL, admitiu-se que a curva de consumo correspondesse à diferença do valor da medição;
- 5- A distribuição de vazões de consumo foi realizada em função da posição cadastral de cada ligação, sendo o consumo medido individual dividido entre os dois nós da tubulação mais próxima em proporções inversas à distância.
- 6- A distribuição das vazões de RL foi realizada proporcionalmente às extensões da rede, a uma taxa constante para todos os trechos.

Foram elaborados dois cenários de variação das vazões.

O primeiro, em que a parcela de perdas foi mantido constante ao longo do dia, ou seja, a vazão de 47,4 L/s se manteve constante e os coeficientes de variação foram aplicados somente na vazão dos nós referentes ao consumo efetivo.

No segundo cenário, a parcela de perdas variou em função da pressão a que cada nó estava submetido, pela fórmula:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1} \quad \text{equação (1)}$$

em que

$Q_1$  = Volume do vazamento final (m<sup>3</sup>/dia)

$Q_0$  = Volume do vazamento inicial (m<sup>3</sup>/dia)

$P_1$  = Pressão final (mH<sub>2</sub>O)

$P_0$  = Pressão inicial (mH<sub>2</sub>O)

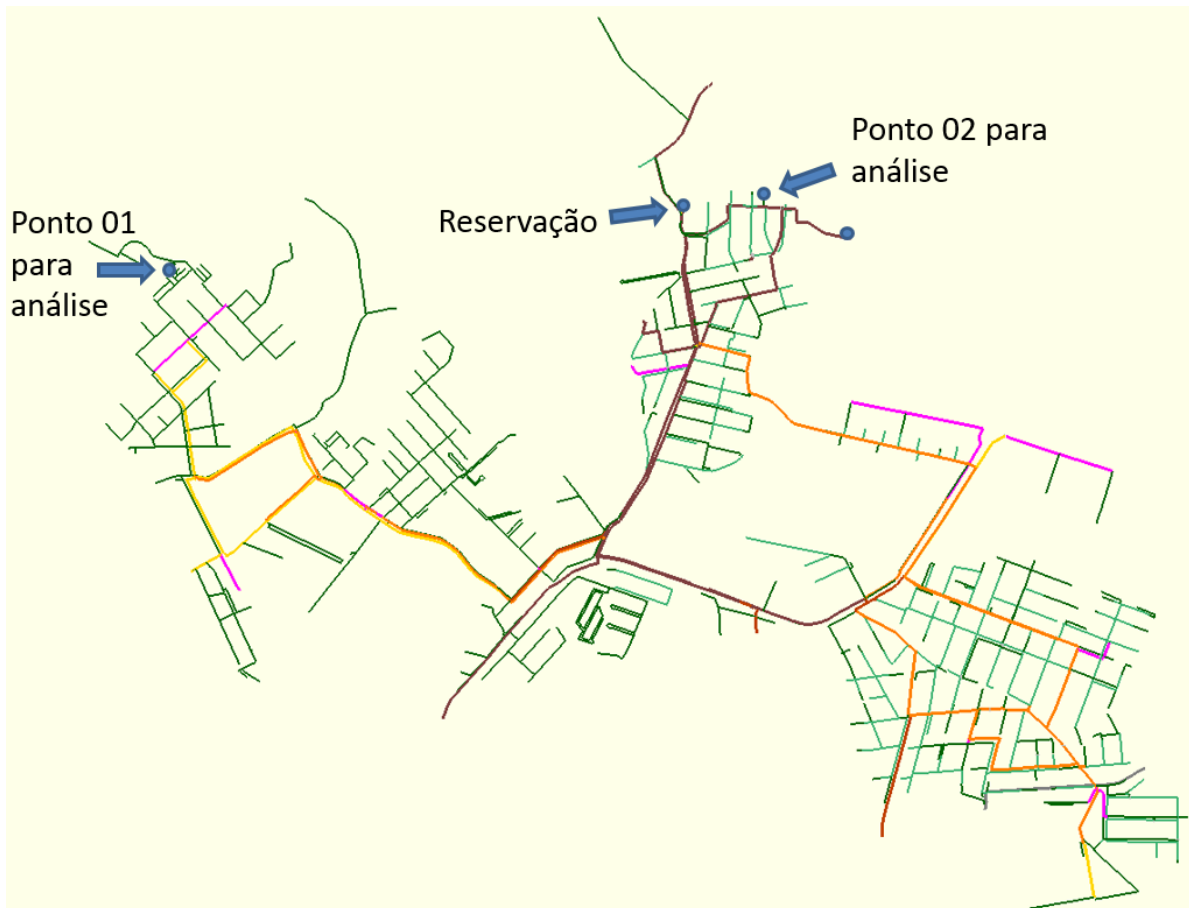
$N_1$  = Coeficiente da relação pressão x vazamento

A pressão de referência ( $P_0$ ) utilizada foi a pressão média de toda a rede no horário de MNF.

## RESULTADOS OBTIDOS

Para fins de comparação foram escolhidos dois nós do sistema, distantes entre si, com características operacionais bem diferentes, a fim de serem confrontados resultados entre os dois cenários.

A figura 2 a seguir mostra a localização dos pontos.



**Figura 2: Localização dos pontos submetidos à comparação dos resultados da simulação hidráulica.**

O ponto 01 situa-se cerca de 3 km do reservatório. A distância e as condições de perda de carga alta levam a alterações de pressões importantes durante o dia.

Como mostra a figura 3 a seguir, no cenário em que as vazões de perda não tiveram variação ao longo do dia, os resultados de pressão verificados no ponto 01 variaram de 38mca a 22mca.

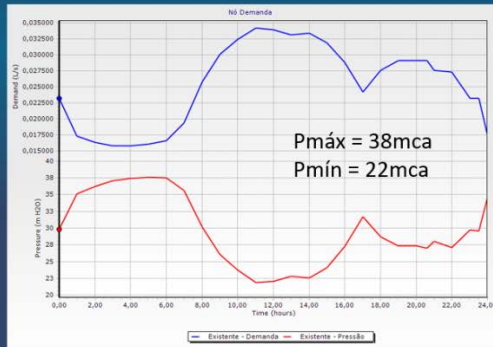
Porém, no cenário em que foram consideradas as variações das vazões dos vazamentos proporcionalmente às pressões, para o mesmo ponto variaram de 39,5mca a 29mca.

O ponto 02 situa-se a uma distância de cerca de 500m do reservatório.

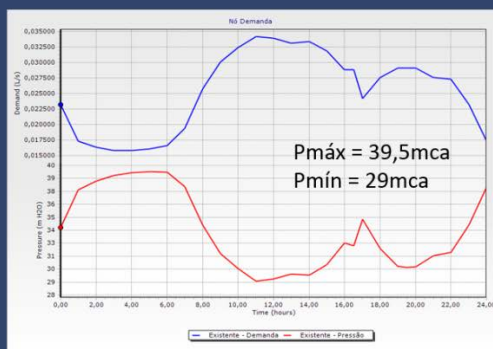
A figura 4 a seguir, mostra que no cenário em que as vazões de perda não tiveram variação ao longo do dia, os resultados de pressão verificados no ponto 02 variaram de 11mca a 26mca negativos.

No cenário em que foram consideradas as variações das vazões dos vazamentos proporcionalmente às pressões, para o mesmo ponto 02 as pressões variaram de 33mca a 13mca.

## Sistema Existente – Ponto 01



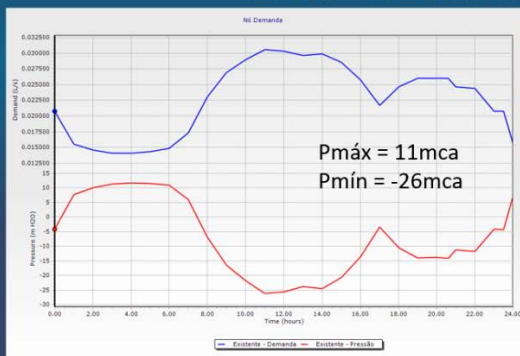
Perdas Constantes



Perdas Variando com Pressão

Figura 3: Variação de Pressão no ponto 01 - perdas constantes, acima e variação FAVAD abaixo.

## Sistema Existente – Ponto 02



Perdas Constantes



Perdas Variando com a Pressão

Figura 4: Variação de Pressão no ponto 02 - perdas constantes, acima e variação FAVAD abaixo.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi possível observar que as condições críticas de determinados sistemas de distribuição, quais sejam: perdas de carga elevadas durante as horas de maior consumo aliadas a vazão de perdas reais elevada, podem descaracterizar resultados de simulações hidráulicas em que os dados de vazões sejam carregados de modo simplificado. No caso estudado, os pontos submetidos a comparação de resultados de pressão apresentaram diferenças que comprometem absolutamente o diagnóstico do sistema, não sendo possível realizar análise crítica confiável.

No ponto 01, mais distante do reservatório, a pressão máxima (na MNF) apresentou diferença de apenas 1,5mca (39,5mca -38mca) entre os resultados dos dois cenários simulados. Todavia, a pressão mínima apresentou diferença de 7mca (29mca-22mca), já demonstrando a fragilidade do modelo matemático.

No ponto 02, distante cerca de 500m do reservatório, a simplificação inviabilizou totalmente qualquer análise para o diagnóstico, pois a pressão máxima apresentou diferença de 22mca (33mca -11mca) entre os resultados dos dois cenários simulados e de mais de 39mca [13mca-(-26mca)] na pressão mínima do nó. Esses resultados demonstram que os procedimentos de carregamento de dados deve ser reavaliada e se aproximar o máximo possível das condições que efetivamente ocorrem em campo.

No caso do ponto 01, a diferença entre o resultado da simulação e o valor da pressão mínima observada em campo foi da ordem de 2mca e para o ponto 02, da ordem de 3mca, o que demonstra que apesar de ainda haver uma certa imprecisão, os resultados se aproximaram com forte convergência aos dados medidos em campo.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados deste trabalho foi dado prosseguimento aos estudos da rede de distribuição objeto deste artigo e constataram-se ainda outros benefícios da aplicação da metodologia IWANA. O principal é que depois de realizada a simulação com as propostas de intervenções para melhorias na rede, foi possível observar em cada trecho a redução da vazão das RL em função da diminuição das pressões pelos dispositivos previstos, tais como válvula de controle e inversores de frequência. O maior tempo gasto para o estudo pormenorizado da rede em relação às simulações hidráulicas simplificadas é fortemente recompensado pela precisão dos resultados do modelo, que oferecem maior segurança na definição de investimentos, com a possibilidade de se realizar previsões precisas acerca das reduções de perda, dos gastos com energia e de quais trechos da rede efetivamente necessitam de aumento de capacidade. No caso estudado, o tempo de preparação dos dados antes do carregamento dobrou em relação ao modo simplificado, porém na realização do estudo completo, o aumento de tempo nesta fase não corresponde a mais do que 30%. Os resultados implicam em uma qualidade superior de diagnóstico, o que vai convergir fatalmente para decisões mais precisas e seguras sobre os investimentos necessários para eventuais melhorias no sistema. Como recomendação pode-se citar a investigação sobre outras ferramentas de simulação que eventualmente possam ser utilizadas para obter resultados mais próximos dos reais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FAERGERMANN, H., SCHRÖDER, R. - *Project sponsors of European Commission – EU Reference Document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM, Main Report*, v. 1, p. 77-88, Jan. 2015.
2. ZANTA, V. M., JUCÁ, J.F.T., GOMES, H.P., HOLANDA DE CASTRO, M.A., Abastecimento de água: Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento, guia do profissional em treinamento nível 2, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA p.32-62, 2008.
3. GONÇALVES, R.F. (coordenação), Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2009
4. PIECHNICKI, A.S., KOVALESKI, J.L. SOUZA, M.V., PIECHNICKI, F., BARAN, L.R. Utilização da metodologia de análise e solução de problemas na redução de perdas de água: um estudo de caso na SANEPAR. Revista de Engenharia e Tecnologia. Volume 3 nº 2 agosto/2011.
5. PALO, P. R, Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnósticos de perdas de água. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo/SP, 2010.