



## I-302 - CALIBRAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA USO NA PREVISÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA EM REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

**Rodrigo Fernandes Junqueira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela UEM. Mestrando em Engenharia Urbana PEU/UEM e Coordenador de Saneamento Rural, Parcerias e Núcleos Habitacionais da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

**Sandro Rogério Lautenschlager<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela UEM (1997). Mestre (2000) e Doutor (2006) em Engenharia Civil pela EPUSP. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rio Tibiriçá, 174 – Jardim Novo Oásis - Maringá - PR - CEP: 87.043-580 - Brasil - Tel: (44) 3268-6739 - e-mail: [rodrigofj@sanepar.com.br](mailto:rodrigofj@sanepar.com.br)

### RESUMO

Nas redes de distribuição de água há necessidade do monitoramento constante da água, para verificar se esta atende aos parâmetros estabelecidos pelas normas de saúde, saneamento e aos parâmetros operacionais. Com o crescimento das cidades as redes de distribuição de água tornam-se complexas e as análises de monitoramento em pontos de consumo na rede podem tornar-se numerosas. O uso de modelos matemáticos para simular cenário de dosagem de produtos químicos e seu residual na rede de distribuição auxilia os gestores na operação e manutenção dos sistemas de distribuição de água. Neste trabalho calibraram-se um modelo matemático para a cidade de Maringá-PR. Os resultados indicam que o modelo hidráulico escolhido e calibrado para região tem simulado as oscilações de pressão na rede e acompanhando a demanda horária e diária para região de interesse excluído alguns dias da semana em horários específicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede de Distribuição, Otimização, Modelagem Matemática, Cloro residual.

### INTRODUÇÃO

A simulação matemática dos sistemas de abastecimento de água é uma ferramenta importante para a gestão técnica. O campo de aplicação é variado, podendo ser usado nas atividades de planejamento, de projeto, de operação e de manutenção. Destacam-se o apoio ao dimensionamento de novas redes, aos programas de reabilitação, ao controle de perdas de água, ao controle da qualidade da água nas redes ou à gestão otimizada de energia.

As redes de distribuição são infra-estruturas normalmente enterradas de difícil inspeção. Por outro lado, a capacidade de monitoramento do estado dos sistemas, através de medições de pressão, de vazão ou de concentração de parâmetros de qualidade da água, por exemplo, é insuficiente no tempo e no espaço, face à complexidade das redes, ao número de pontos de consumo e à variabilidade deste.

O comportamento de um sistema, e as suas deficiências, não é por isso facilmente perceptível de forma direta. Muitas vezes os utilizadores ou a concessionária percebem algo errado através da queda abrupta da pressão, falta de água, elevados volumes de perdas, surgimento de água à superfície do solo, coloração ou turvação da água. A caracterização e o diagnóstico detalhado da situação por inspeção direta são onerosos, o que leva à necessidade de instrumentos de apoio baseados em modelos matemáticos.

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade da água do sistema, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Os modelos permitem assim a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação, sem ser necessário interferir no sistema ou seja arriscá-lo a modos de operação em que os resultados são desconhecidos. Assim simulação do comportamento do sistema pode ser utilizada para prever a sua resposta face às grandes possibilidades de condições operacionais e ambientais. Os problemas podem ser antecipados e as soluções avaliadas antes dos investimentos serem realizados.



A calibração de um modelo é um processo iterativo cujos passos são repetidos até determinadas condições de aceitabilidade serem verificadas. A calibração de um modelo deverá sempre ser efetuada em função dos objetivos a que se destina.

O conceito básico é simples: simular o modelo e comparar os resultados com medições de campo; se a diferença for superior à tolerância de erro pré-estabelecida, introduzir ajustamentos e voltar a simular o modelo. Implica, no entanto, um procedimento sistemático que passará pelos seguintes passos:

- Identificação do uso que se pretende dar ao modelo;
- Estabelecimento de um cenário-tipo para a comparação;
- Revisão das condições operacionais e, se necessário, de outros parâmetros do modelo;
- Coleta de dados de calibração;
- Simulação inicial do processo iterativo;
- Macro-calibração;
- Análise de sensibilidade;
- Micro-calibração ou ajustamento fino.

O número de iterações necessárias para completar o processo é muito variável, dependendo da tolerância final requerida, da complexidade da rede e da qualidade dos dados do sistema. O passo seguinte do procedimento consiste na escolha do cenário-tipo para comparação dos resultados do modelo com as medições de campo. Pode optar-se por calibrar o modelo para um cenário estático, ou seja, para determinada hora do dia (p.ex., a hora de maior consumo), ou procurar uma calibração para um cenário em período alargado (por exemplo, determinado dia da semana ou semana do mês, ou mês do ano).

No caso de modelos para utilização em simulação estática, sendo possível calibrar para apenas um cenário, será sempre vantajoso verificar o modelo para vários cenários possíveis, pelo ganho de sensibilidade que tal pode trazer, por um lado, e pela confiança acrescida nos resultados do modelo, por outro. A calibração para cenários de variação no tempo corresponderá a uma maior exigência e grau de dificuldade.

A seleção do cenário de calibração depende igualmente dos objetivos do modelo e deverá contemplar o teste das condições operacionais que sejam mais significativas para a sua simulação.

A coleta de dados de calibração poderá então se dar, dentro de cada cenário de calibração, constituindo uma base grande e organizada para comparação com os resultados da modelação.

As primeiras modelações específicas desses cenários fornecerão resultados que poderão conter disparidades mais facilmente identificáveis e devidas a causas relativamente evidentes, e outras de maior dificuldade de identificação. A correção do primeiro tipo de discrepâncias é a chamada macro-calibração, que decorre iterativamente, com ajustamentos, simulações e comparações sucessivas, até as diferenças mais óbvias serem eliminadas. Durante e após essa correção, uma análise de sensibilidade sistemática permitirá estabelecer relações causa-efeito as medições de campo e os resultados das simulações.

A revisão das condições operacionais correspondentes ao cenário de calibração destina-se a garantir que, da gama de configurações identificadas e eventualmente descritas na especificação inicial do modelo, foi utilizada a combinação correta na ação de calibração.

A análise de sensibilidade deverá ser efetuada por forma a evitar que erros de natureza diferente possam se anular mutuamente, mascarando o seu efeito no resultado final. A partir dessa análise, inicia-se à micro-calibração, que consiste no ajuste mais fino dos parâmetros do modelo na procura da melhor concordância possível, dentro das restrições temporais ou de recursos disponíveis, para cumprir o grau de precisão desejado.

Este processo de tentativa e erro requer que o analista vá fornecendo ao modelo, estimativa das principais variáveis de decisão – fatores de rugosidade das tubulações e consumos, orientando o sentido das sucessivas simulações, comparando e avaliando os resultados. No caso de se tornar impossível à concordância de valores, deverá ser desenvolvida hipóteses explicativas (considerando todas as possíveis causas de erros), testadas no modelo, e o processo repetido a partir daquelas que se revelarem mais prometedoras.

Assim o objetivo deste trabalho foi calibrar um modelo matemático que simula a rede de distribuição de água e posteriormente utilizá-lo para simular a concentração de cloro na rede de distribuição.



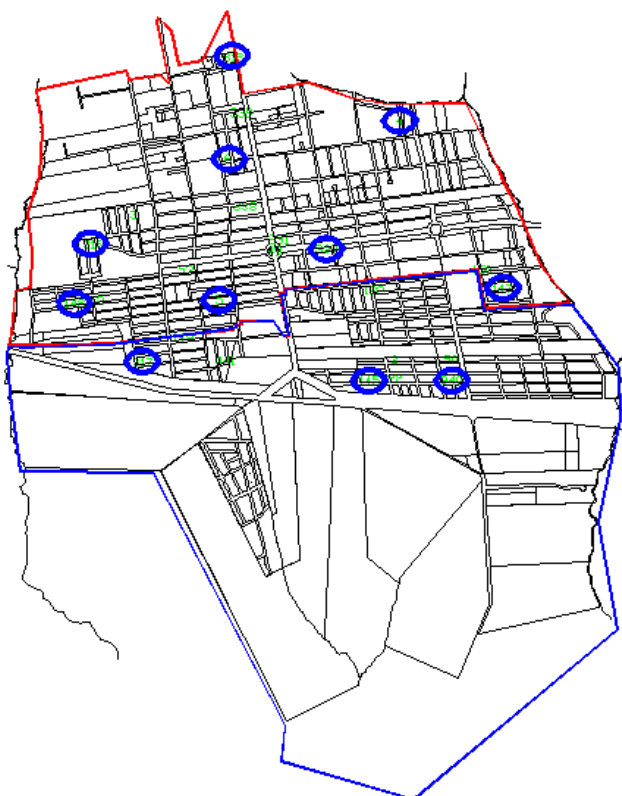
O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para este trabalho foram instalados 11 Dataloggers da Metrolog (Figura 1) em cavaletes de ligações prediais de água, escolhidos entre os 24 pontos de monitoramento de qualidade da água dentro da área de estudo procurando selecionar os maiores diâmetros e os pontos finais da rede para monitoramento da pressão no ponto. Na tabela 1, têm-se os endereços das instalações dos loggers para obtenção de dados de pressão, bem como as cotas medidas. Na figura 2 tem-se a localização no mapa da área de estudo. O período de monitoramento da pressão foi de: 18/04/2008 a 26/06/2008 totalizando 69 dias de medição horária de pressão.



**Figura 1: Datalogger da Metrolog instalado em cavalete de residencial para medição da pressão.**

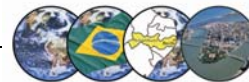


**Figura 2: Localização dos pontos de instalação dos Dataloggers (círculos azuis).**

**Tabela 1: Localização dos Loggers instalados.**

PTO DE COLETA	Nº DO LOGGER	COTA MEDIDA	ENDEREÇO	BAIRRO
Ponto 6	85219	571,795	Rua Pion. Domingos Salgueiro, 1592	Jd. Guaporé
Ponto 5	44703	550,265	Rua dos Ipês, 373	Cj. Borba Gato
Ponto 4	44704	505,365	Rua 22 de Maio, 68	Jd. Bety
Ponto 340	44706	534,335	Rua Galáxias, 346	Jd. Universo
Ponto 337	35550	552,437	Avenida Nildo Ribeiro da Rocha, 4449	Jd. Higienópolis
Ponto 318	35548	549,474	Avenida Carlos Borges, 666	Zona 04
Ponto 317	78819	531,409	Rua Rosa Angeloni Zequim, 426	Jd. Santa Rosa
Ponto 316	85224	538,483	Rua 44002, 8 (Ferroviário)	Jd. Verônica
Ponto 148	35002	506,634	Rua das Sibipirunas, 1350	Cj. Borba Gato
Ponto 145	35551	530,581	Rua das Galáxias, 207	Jd. Universo
Ponto 147	26905	494,329	Rua Geraldo P. Fonseca, 50	Jd. Botânico

Para simulação da rede utilizou-se um micro computador pessoal com o sistema operacional Windows-XP e o pacote de simulação WaterCad fornecido pela Haestad Methods.



## RESULTADOS

Na figura 3, encontra-se o perfil de consumo médio para região de estudo para o mês de abril de 2008. Este perfil foi utilizado no modelo matemático para simulação em tempo estendido.

Na figura 4 encontram-se os resultados da simulação e os dados registrados no datalogger instalado na rua dos Ipês. Observa-se uma boa concordância entre os valores de pressão simulado e observado embora para a sexta-feira e segunda-feira os resultados do modelo não concordem com os dados observados para um intervalo de tempo de aproximadamente de duas horas. Supõe-se que as diferenças para estes dois dias estejam associadas a um alto consumo instantâneo. Novos dados de monitoramento serão obtidos e poderão colaborar para explicar a oscilação brusca verificada neste período do dia.

Na figura 5 encontram-se os resultados da simulação e os dados registrados no datalogger instalado na Avenida Nildo Ribeiro da Rocha. Para este ponto observa-se uma boa concordância entre os valores simulados e os valores observados excluindo novamente a sexta-feira por volta do meio dia.

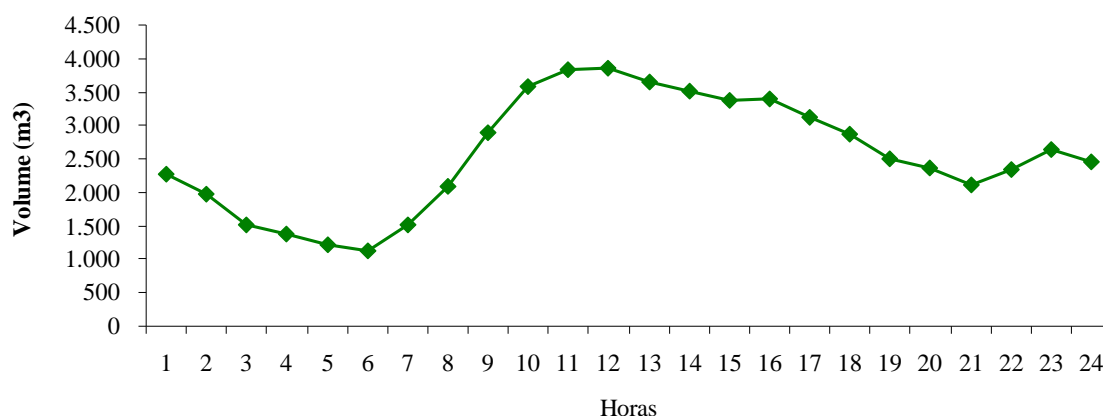


Figura 3: Perfil de consumo para a área de interesse.

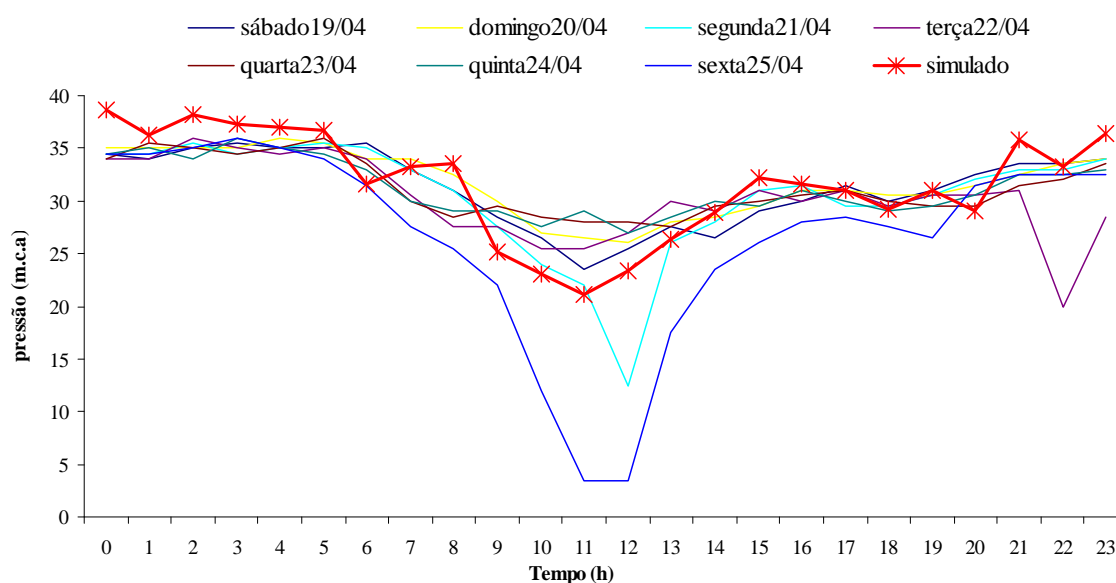


Figura 4: Resultado para Pressão (Rua dos Ipês).

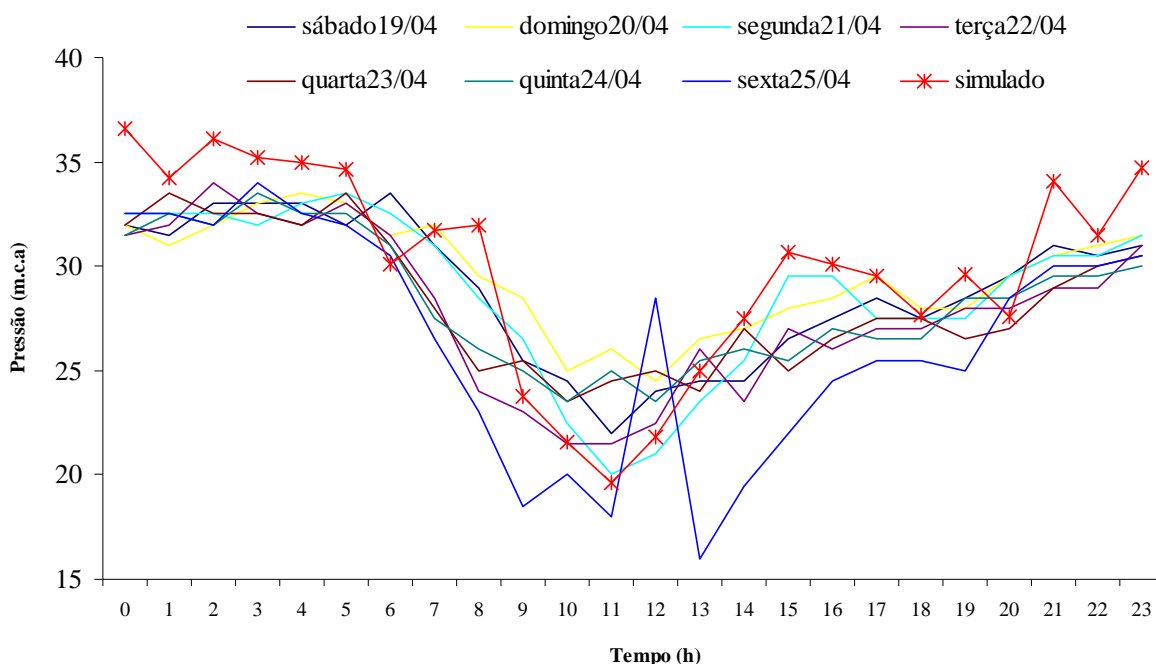


Figura 4: Resultado para Pressão (Rua Nildo Ribeiro)

## CONCLUSÕES

Os resultados até o momento indicam que o modelo hidráulico escolhido e calibrado para região tem simulado as oscilações de pressão na rede e acompanhando a demanda horária e diária para região de interesse excluído alguns dias da semana em horários específicos.

Um período de simulação e coleta de dados maior esta sendo realizado de maneira que a variação mensal no consumo de água possa ser previsto e testado no modelo.

A simulação da concentração de cloro para o período a qual o modelo hidráulico foi calibrado será realizada e comparada com os dados observados em campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COELHO S.T., LOUREIRO D., ALEGRE H. - Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água – GT4 IRAR/LENEC – Portugal, 2006;
2. COLOMBO F. - Calibração de Modelos Hidráulicos de Redes de Abastecimento de Água de Sistemas Reais Admitindo Vazamentos – Tese de Mestrado apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.
3. DA SILVA K. R. G. - Modelagem Matemática de Cloro Residual em Redes de Distribuição de Água – Estudo de Caso na Zona de Pressão Recalque Campo Comprido em Curitiba – Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2002.
4. WU, W. et al. Research of Water Quality Models in Water Distribution Systems. Water Suply, Madrid, v.16, n. 1-2, p. 356-359,1998.