



Projeto de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq

**SIMULAÇÃO DE UM EVENTO DE CONTAMINAÇÃO POR
PESTICIDA EM UMA REDE PILOTO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Aluna: Julia Pera Murasaki

Orientadora: Profa. Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro

Vigência da bolsa: 08/2019 a 09/2020

Local de Execução: UNICAMP – Limeira, SP



1. INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de água potável (SDA) é responsável por fornecer aos consumidores água em quantidade e qualidade satisfatória (SANDEEP et al, 2011). A água é de extrema importância para a sobrevivência humana possuindo diversos usos, em destaque a agricultura, o uso industrial e o consumo pessoal. A sua integridade deve estar garantida para os devidos usos, principalmente para a água de consumo humano, uma vez que é considerada veículo de doenças causadas por organismos patogênicos (GRABOW, 1996).

Para assegurar a sua qualidade, normas foram estabelecidas, indicando propriedades físicas, químicas e biológicas, de acordo com a utilização da água. Para isso, os sistemas de tratamento de água utilizam de diversos métodos de tratamento para assegurar a qualidade da água, entretanto a contaminação pode ocorrer durante a etapa de distribuição. Para evitar a ausência de patógenos, a legislação atual de potabilidade do Brasil exige que o responsável pelo fornecimento de água deve assegurar o teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L em todos os pontos de consumo, devido à alta capacidade de desinfecção e oxidação da matéria orgânica (BRASIL, 2017). Contudo é importante ressaltar que o cloro também possui um valor máximo permitido de 2 mg/L pois em altas concentrações pode ser prejudicial à saúde dos usuários, devido à possibilidade de geração de subprodutos com potencial carcinogênico, além de possuir características desagradáveis como sabor e odor (MEYER, 1994).

No caso de situações emergenciais, como contaminações acidentais ou mesmo possíveis contaminações intencionais, tidas como vandalismo ou ataques terroristas, que trazem transtornos irreversíveis e transgridem os padrões de saúde e bem-estar dos consumidores, as empresas gestoras dos sistemas ainda estão aprendendo a lidar com essas situações (SANDEEP et al, 2011). Para auxiliar no monitoramento e manutenção dos sistemas de abastecimento de água alguns simuladores hidráulicos atuam como ferramentas de pesquisa de monitoramento da qualidade de água durante o processo da distribuição. Os softwares hidráulicos e de qualidade de água são capazes de simular redes hipotéticas ou reais reproduzindo as condições hidráulicas, desse modo permitindo previsões de parâmetros físico-químicos de maneira eficaz, como por exemplo, o teor do cloro ou de um contaminante em cada nó de um sistema simulado (ROSSMAN, 2000).

O EPANET 2.0 é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição pressurizados, capaz de ajudar em análises de estratégias alternativas de gestão (ROSSMAN, 2000). É um software muito utilizado para a modelagem de sistemas de distribuição de água, mas é limitado quanto a estudos da qualidade da água, pois é capaz de analisar apenas uma espécie química. Foi criado então uma extensão para esse software, onde seria capaz de simular múltiplas espécies químicas interagindo, o EPANET-MSX, possibilitando a modelagem de sistemas mais complexos (SHANG e UBER, 2008). O EPANET-MSX considera que existam



duas fases físicas em que as reações acontecem, a fase em massa que seria a água em transporte e a fase de superfície que seria a parede da tubulação. Após a simulação, o software disponibiliza um arquivo de saída que corresponde a um relatório reportando a concentração das espécies analisadas ao longo do tempo em cada ponto da rede modelada (ROSSMAN, 2000).

Entendendo a vulnerabilidade das RDAs e considerando o fácil acesso aos agentes químicos por conta da sua grande disponibilidade, neste trabalho ampliou-se uma rede piloto de distribuição de água do laboratório de hidráulica da Faculdade de Tecnologia da Unicamp com a finalidade de conduzir uma simulação de um evento de contaminação por pesticida. Através do método de detecção de contaminação na rede a partir do monitoramento de um parâmetro de qualidade de água, utilizando como ferramentas softwares hidráulico e de qualidade de água (ROSSMAN, 2000).

2. OBJETIVO

Devido aos acontecimentos decorrentes da pandemia causada pela COVID-19, o objetivo deste trabalho precisou ser adaptado. Este trabalho tem como objetivo principal simular um evento de contaminação em uma rede real utilizando um pesticida e detectar a presença do contaminante através do monitoramento de um parâmetro de qualidade de água.

3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu na ampliação da rede presente no laboratório de hidráulica da UNICAMP de uma rede utilizada para a pesquisa, uma rede real experimental que possui 281,57 m de comprimento dividida em quatro setores ligados em série. É composta por um reservatório com capacidade de 220 L, um tubo venturi, uma bomba hidráulica, 1 hidrômetro e 9 pontos de monitoramento contendo um manômetro em cada.

Inseriu-se no software os dados da rede real como a cota de cada ponto, comprimento de cada setor e as especificações da bomba. Fez-se testes hidráulicos medindo vazão e pressão em cada ponto, e utilizou-se a fórmula de Hazen-Williams para calcular a perda de carga nos tubos, e assim calibrou-se a rede EVA1.net para então ser modelada no EPANET 2.0.

Definiu-se as duas espécies a serem analisadas através do EPANET-MSX, o cloro como indicador de contaminante e o malation como o contaminante. O malation é um pesticida pertencente à família dos organofosforados, é comumente utilizado para controle de espécies como besouros e pulgões que atacam frutas e vegetais. Por ser um pesticida muito comum o seu acesso é facilitado.

O arquivo de entrada MSX é definido através das reações químicas baseadas no trabalho de Stephen et al. (2009), que descreve as reações estequiométricas para organofosforados (OP) e



seus correspondentes subprodutos (OPO e OPH) que surgem da interação com o cloro (Cl), representadas pelas equações 1, 2, 3 e 4.

$$\frac{d[HOCl]_T}{dt} = -5k_{HOCl,OP}[HOCl][OP] - k_{OCl,OP}[OCl^-][OP] - k_{OCl,OPO}[OCl^-][OPO] \quad (01)$$

$$\frac{d[OP]_T}{dt} = -k_{HOCl,OP}[HOCl][OP] - k_{h,OP}[OP] - k_{OCl,PO}[OCl^-][OP] \quad (02)$$

$$\frac{d[OPO]_T}{dt} = k_{HOCl,OP}[HOCl][OP] - k_{h,OPO}[OPO] - k_{OCl,OPO}[OCl^-][OPO] \quad (03)$$

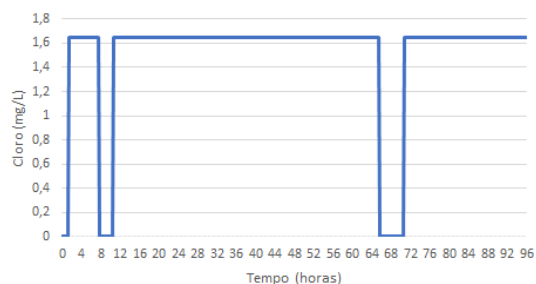
$$\frac{d[OPH]_T}{dt} = k_{h,OP}[HOCl][OP] + k_{OCl,OP}[OCl^-][OP] + k_{h,OPO}[OPO] + k_{OCl,OPO}[OCl^-][OPO] \quad (04)$$

4. RESULTADOS

Simulou-se dois eventos de contaminação, introduzindo malation. Definiu-se no EPANET-MSX a simulação com um período de 4 dias (96 horas). Definiu-se também, introdução constante de cloro no reservatório a uma concentração de 2 mg/L, atendendo a legislação (BRASIL,2011). O primeiro evento simulado ocorre no primeiro dia, iniciando na hora 7 com duração de 3 horas. O segundo evento ocorre no terceiro dia, na hora 65 com duração de 5 horas. O malation nos dois casos é introduzido a uma concentração constante de 148 mg/L no nó S31 da rede. A concentração do malation corresponde ao valor da solubilidade em água a 20 °C, esse valor foi adotado por representar a maior concentração do contaminante de modo que permanecesse imperceptível na água. A visibilidade do composto na água em um evento de contaminação intencional é relevante, pois poderia ser facilmente detectada, logo a água não seria consumida, contrariando os supostos objetivos maliciosos de uma contaminação maliciosa (NCBI, 2020).

Concluída a simulação o software disponibiliza um arquivo resposta com um relatório de monitoramento a cada 20 minutos, reportando a concentração de cloro e malation para cada ponto da rede modelada. A partir dos resultados, adotou-se o nó S42 como ponto de monitoramento, nota-se através da Figura 1, que quando o contaminante é introduzido a concentração do cloro cai significativamente para um valor muito próximo a zero, $9,74 \times 10^{-13}$ mg/L, esse valor representa o consumo do cloro ao reagir com o contaminante.

Figura 1: Comportamento do cloro frente a contaminação química.
Cloro - S42



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2020.



Este decaimento abrupto é o indício de uma contaminação, esse mesmo comportamento pode ser observado em outros estudos como o de Ohar, Lahav e Ostfeld (2015), Oliveira (2018) e Cardoso (2019).

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados é possível concluir que o monitoramento da concentração do cloro é um indicativo da qualidade da água durante a distribuição em uma RDA, assim como afirmado em outras pesquisas. A queda drástica na sua concentração, saindo dos padrões já conhecidos de decaimento em função das reações internas nas tubulações, é um fator indicativo da presença de um contaminante. O monitoramento de cloro portanto, é uma forma de detectar possíveis contaminações acidentais ou intencionais a partir de pesticidas organofosforados. A utilização da ferramenta EPANET-MSX é relevante para estudos do contexto de qualidade de água e pode ser aplicada para o monitoramento e segurança da distribuição de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Portaria de Consolidação N 95, de setembro de 2017**. Ministério da Saúde. 2017.

CARDOSO, Sandra. **Alocação ótima de sensores de qualidade de água em redes de abastecimento com emprego de otimização multiobjetivo**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, São Paulo. 2019. 1 Recurso online. 101 p.

GRABOW, Wok. **Waterbone diseases: update on water quality assessment and control**. Water S.A. 1996. 22:192-202p.

OLIVEIRA, Eva et al. **Detection of chemical intrusion compounds in water distribution networks by quality sensors data mining**. 1st International WDSA / CCWI 2018 Joint Conference, Kingston, Ontario, Canada – July 23-25, 2018.

MEYER, Sheyla. **O uso de cloro na desinfecção de águas a formação de Trihalometanos e os riscos potenciais a saúde pública**. Rio de Janeiro: Cad.SaudePubl. 1994. 110p.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOG INFORMATION (NCBI). **Malathion, CID=4004** PubChem Database. (2020).

OHAR, Ziv. LAHAV, Ori. OSTFELD, Avi. **Optimal early warning for detecting organophosphate intrusions into water distribution systems**. Water Research, Elsevier, v. 73, 2015, 193-203 p.

ROSSMAN, Lewis. **EPANET 2 user's manual**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-00/057, 2000.

SANDEEP, Kumar., RAKESH, Khosa. **CLIPS based decision support system for water**. Drinking Water Engineering and Science. doi: 10.5194/dwes-4-37-2011. 37–50 p.

SUSE, Roberto. YOSHIIAWA, Andréa Manami. LUVIZOTTO JUNIOR, Edevar. **Simulação da qualidade de água em redes de distribuição empregando o EPANET-MSX** Revista DAE, 2014.

SHANG, Feng, UBER, James. **EPANET MULTI-SPECIES EXTENSION user's manual** U.S.Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-00/057, 2008.