



## Monitoramento Ativo de Qualidade de Água em Redes Setorizadas de Abastecimentos de Água

Carlos H. C. Puga\*, Edevar Luvizotto Jr.

### Resumo

O monitoramento da qualidade da água distribuída diariamente pelas companhias de abastecimento não é uma tarefa simples de ser feita, principalmente pelo tamanho e complexidade da topologia das redes hidráulicas. Graças aos avanços computacionais e tecnológicos das últimas décadas, as incertezas e complexidades de se monitorar um Sistema de Distribuição de Água (SDA) têm diminuindo, possibilitando avaliar novos métodos de realizar esta tarefa. Uma das principais abordagens sendo utilizada ao redor do mundo é a setorização da rede principal em redes menores, criando sistemas mais fáceis de se controlar e monitorar. Como o monitoramento integral da rede é inviável, pode-se unir a setorização da rede com a alocação de sensores, visando a diminuição do tempo de detecção. Este projeto tem como objetivo a criação de uma metodologia para a setorização, fechamento dos tubos de fronteira entre setores alocação dos sensores de qualidade. Implementou-se três algoritmos, o *K-Means*, responsável pela setorização, o *Particle Swarm Optimization (PSO)*, para decidir quais tubos de fronteira serão fechados e o *Sensor Placement* que aloca os sensores ao longo da rede. Para simular as redes reais, foi usado a rede Exnet. As análises realizadas se encontram no texto.

**Palavras-chave:** Qualidade da água; Alocação ótima de sensores; Setorização de redes hidráulicas.

### Introdução

Nas últimas décadas, a migração de pessoas das zonas rurais para as zonas urbanas e o aumento populacional nesses grandes centros geraram crescimentos desordenados de cidades no Brasil. Com estes crescimentos, surgiram também inúmeros problemas que afetam a qualidade de vida da população como o dilema de como garantir água potável e de qualidade para toda a população (DI NARDO, *et al*, 2013).

Os problemas relacionados à distribuição de água não estão apenas relacionados com a capacidade de atender toda a população. Após a concepção de um Sistema de Distribuição de Água (SDA), deve-se realizar a sua manutenção constantemente, evitando perdas excessivas de água por vazamentos ou rupturas durante a distribuição, além de monitorar o sistema.

Como o monitoramento integral da rede não é economicamente viável e visando os problemas de monitoramento que um SDA possui, este trabalho visa a elaboração de um método computacional para a

alocação ótima de sensores, visando a diminuição do tempo de detecção de intrusivos e contaminantes.

### Materiais & Métodos

O método computacional proposto se deu através da elaboração de três algoritmos distintos, um para cada função específica da tarefa de setorização e alocação dos sensores. Três redes foram usadas para testes dos algoritmos, além da *Exnet* (Figura 1).

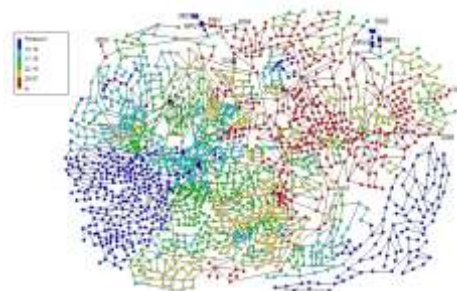


Figura 1 – Rede Exnet.

O primeiro foi o algoritmo *K-Means*, cujo funcionamento foi explicado por Novarini, *et al* (2019)



e é responsável por setorizar a rede, isto é, agrupar seus nós em função das coordenadas  $x$  e  $y$ , elevação e demanda. O resultado devolvido pelo código é uma lista contendo os nós de fronteira e seus diâmetros, com seus respectivos custos.

O segundo foi o *Particle Swarm Optimization* (*PSO*), apresentado pela primeira vez por James Kennedy e Russel Eberhart (1995), que, em função dos custos relacionados ao fechamento das tubulações, determina qual tubo ficará aberto e qual não.

Como função custo, o *PSO* usa a soma dos custos dos diâmetros dos tubos que permaneceram abertos, somada a um fator de penalização, caso aquela combinação de tubos fechados apresente pressões negativas, afastando a resposta final de uma solução com elas. O código devolve o custo final da combinação junto à lista de tubos abertos (1) e fechados (0), em combinação binária.

O terceiro e último algoritmo usado foi o *Sensor Placement* (KLISE, *et al*, 2017 e KLISE, *et al*, 2020) alocando os sensores na rede visando diminuir o menor tempo de detecção de eventos contaminantes. O código gera senários de contaminação para cada nó na rede e verifica em quais pontos a detecção se dará mais rápida. O resultado é obtido e os sensores são finalmente alocados.

## Resultados

Os principais resultados dos algoritmos *K-Means* e *Sensor Placement* serão apresentados. Como os resultados vindos do *PSO* são uma lista binária dos tubos de fronteira, contendo mais de 150 linhas, e o custo final obtido que não possui significância dado que os valores dos diâmetros usados são fictícios, eles não serão apresentados.

A rede setorizada em oito distritos, obtida pelo *K-Means* (Figura 2).

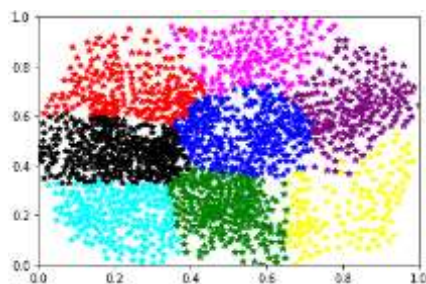


Figura 2 – Exnet setorizada

Para facilitar a análise e comparação dos resultados, usando o *Sensor Placement*, obteve-se a alocação antes e depois da setorização (Figuras 3 e 4, respectivamente). Sensores em vermelho.



Figura 3 – Sensores antes da setorização.



Figura 4 – Sensores depois da setorização.

Foram alocados 16 sensores. Além das redes com os sensores, obteve-se também um mapa da rede com os nós e seus tempos de detecção, antes e depois da setorização (Figuras 5 e 6, respectivamente).

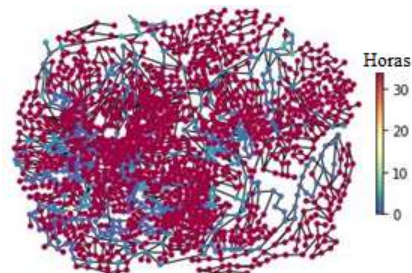


Figura 5 – Tempos de Detecção, antes.

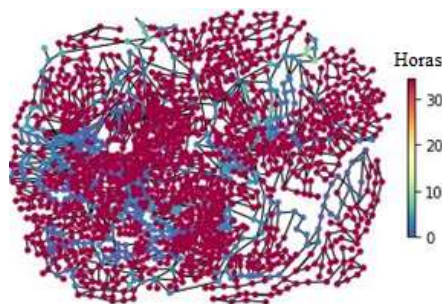


Figura 6 – Tempos de Detecção, depois.



### Discussão & Conclusões

Ao analisar os resultados obtidos em teste e os da *Exnet*, nota-se uma divergência na influência da setorização de redes para alocação de sensores de qualidade.

No caso da *Exnet*, algumas áreas tiveram seu tempo de detecção diminuídos após a setorização e outras tiveram ele aumentado. A topologia da *Exnet* permitia isso.

Porém, em algumas redes testes, houve uma considerável piora nos tempos de detecção, já que durante a setorização fora fechado tubos que melhorava o caminho da água pela rede. O mesmo ocorre nessas áreas da *Exnet* em que os tempos aumentaram.

Outro fator muito importante a ser considerado é que a alocação de sensores não contemplou todos os setores com pelo menos um sensor, entrando em contradição com a ideia inicial de se dividir a rede em distritos menores para facilitar o monitoramento.

Por último, é necessário verificar se os resultados obtidos podem ser aplicados fora da comunidade científica, no meio prático da engenharia civil. O que se notou durante a revisão bibliográfica contínua é que muitos métodos e algoritmos estão sendo desenvolvidos, porém a aplicabilidade prática deles não está sendo considerada com o peso que deveria.

Pode-se dizer que o método foi parcialmente efetivo, variando muito de rede para rede e, embora ele tenha conseguido realizar cada uma das partes em separado, a comunicação conjunta delas deve ser aprimorada em trabalhos futuros, sendo recomendado o estudo da alocação dos sensores em arquivos de setores separados, ao invés da rede toda com os tubos fechados, garantindo assim a presença de sensores em cada setor, sem esquecer-se da materialização dos resultados na prática da distribuição de água.

### Apoio e Agradecimentos

Este projeto foi fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, o CNPq.

O autor agradece todas as pessoas que ajudaram com a elaboração dos algoritmos e pela ajuda na compreensão de como a teoria se alinha com a prática

profissional de um engenheiro civil, além da orientação ao longo do projeto todo.

Muito obrigado Bruno Brentan, Edevar Luvizotto Júnior, Fabricio Bonadias Silva, Katherine Klise e Thyago Naves de Oliveira.

### Referências

DI NARDO, Armando et al. An automated tool for smart water network partitioning. **Water resources management**, v. 27, n. 13, p. 4493-4508, 2013.

KENNEDY, James; EBERHART, Russell. Particle swarm optimization. In: **Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks**. IEEE, 1995. p. 1942-1948.

KLISE, Katherine A. et al. Sensor Placement Optimization Software Applied to Site-Scale Methane-Emissions Monitoring. **Journal of Environmental Engineering**, v. 146, n. 7, p. 04020054, 2020.

KLISE, Katherine A.; NICHOLSON, Bethany; LAIRD, Carl D. Sensor placement optimization using Chama. **Number SAND2017-11472**. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 2017.

NOVARINI, Bernardo et al. Optimal pressure management in water distribution networks through district metered area creation based on machine learning. **RBRH**, v. 24, 2019.