

# CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ALGORITMO DE AGRUPAMENTO PARA DIVISÃO DE DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE

Palavras-Chave: DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE, ALGORITMOS DE DIVISÃO, REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Autores(as):

MARIA LUIZA LACERDA PEGORINI, DRH– FECFAU

Prof. (°). Dr(°). JOSÉ GILBERTO DALFRÉ FILHO (orientador), DRH– FECFAU

Me. DANIELA BONAZZI SODEK (coorientadora), DRH– FECFAU

## INTRODUÇÃO:

O primeiro passo para o controle e diminuição das perdas é a identificação do volume extravasado e dos pontos críticos de fuga de água através do balanço hídrico. A divisão da rede em Distritos de Medição e Controle (DMC) potencializa o controle de perdas, ao averiguar a pressão e vazão através do consumo mínimo noturno, e facilitar a detecção de vazamentos localmente. Tradicionalmente e segundo a norma NBR 12218 (ABNT, 2017), a divisão do sistema de abastecimento nessas áreas menores é feita por meio da identificação de núcleos isolados da rede pela inserção de uma válvula e/ou de medidores de vazão na tubulação, com base no número de ligações de água.

Na última década, vários procedimentos foram desenvolvidos para otimizar a divisão da rede, Water Net Partitioning (WNP), em DMCs, com a aplicação de algoritmos (GIUDICIANNI et al., 2020<sup>a</sup>), a partir de modelos heurísticos e técnicas de aprendizado de máquinas. Em geral, estes métodos iniciam com a representação da rede em

Grafos utilizando a Teoria dos Grafos (*Graph Theory*), onde os nós são os vértices e os tubos e válvulas as arestas. A partir daí técnicas de agrupamento (*clustering*) são empregadas para criar os DMCs e em seguida técnicas de divisão. O fundamento do agrupamento está em encontrar um conjunto de nós que tenham mais ou melhores conexões entre eles (PERELMAN; OSTFELD, 2011). Giudicianni et al., (2020a) relaciona os quatro *principais* métodos utilizados para a divisão de sistemas: agrupamento por Grafos (*Graph clustering*), Busca por “largura e profundidade” (*breadth and depth first Search*), busca de comunidade (*Community Search*) e sistemas baseado em agente (*agent-based systems*). Já a etapa de divisão é realizada através de métodos iterativos, algoritmos de otimização ou métodos heurísticos (GIUDICIANNI et al., 2020b).

De maneira sintética, no agrupamento por Grafos as comunidades são identificadas com base na conexão entre os nós através de algoritmos como o caminho mínimo, exemplo deste é o código de Dijkstra para identificar o caminho com menor perda de carga para a

formação de DMCs. Já o agrupamento por extensão e profundidade (*Breadth and depth first Search*) é um algoritmo utilizado para percorrer um grafo. Enquanto no BFS explora-se o grafo horizontalmente (Pohl, 1969), o DFS estabelece um “root node” a partir do qual se checam sistematicamente os nós vizinhos. Quando não se tem mais nódulos adjacentes tem-se o processo de retorno e verificação da menor distância. Na busca por comunidade (*Community Search*) são detectadas similaridades entre vértices para formar comunidades através de uma abordagem hierárquica e da obtenção de informações nos núcleos de consumo. Dessa forma, a divisão se baseia na detecção de áreas nas quais os indivíduos estão fortemente relacionados (ligados). Por fim, o agrupamento de agentes se baseia, então, em encontrar uma solução otimizada na formação de *clusters* ou grupos de nós baseados na similaridade e menor distância entre eles.

De forma geral, a criação de DMCs pode ser dividida em duas etapas principais: o agrupamento e a localização das válvulas e medidores (Di Nardo et al., 2013). Este trabalho aborda apenas a etapa do agrupamento. Considerando a variedade e complexidade dos algoritmos que podem ser aplicados na divisão de DMCs, este trabalho propõe a identificação de critérios que auxiliem na escolha do algoritmo mais adequado para as particularidades do sistema de abastecimento a ser avaliado. Com base em um estudo onde um dos algoritmos é o protagonista, uma análise dos critérios-chave que caracterizam a aplicação dos algoritmos é realizada, culminando na apresentação de um fluxograma

## **METODOLOGIA:**

A fim de identificar critérios de comparação, levando em consideração a disponibilidade de ferramentas em plataformas livres, bem como a facilidade de aplicação e resultados obtidos, foram selecionados, da coletânea de trabalho revisados, artigos-referência para cada uma das metodologias. O trabalho de Scarpa, Lobba and Becciu (2016) foi selecionado como exemplo da aplicação do Agrupamento por Grafos, o trabalho de Vasilić et al. (2017) do BFS e DFS, Diao et al. (2013) da Busca por Comunidade e Hajebi et al. (2013) para o agrupamento através de sistemas multiagente. Da análise detalhada dos artigos foram identificados cinco critérios que podem ser avaliados para auxiliar a seleção adequada. Os critérios identificados são: dados de alimentação, critério de divisão, critério de parada, acessibilidade de software, dependência da análise subjetiva. Por fim, um fluxograma foi elaborado baseado na aplicação dos critérios avaliados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Baseado nos artigos selecionados os critérios foram elaborados e definidos da seguinte forma:

### **Dados de alimentação:**

São as informações necessárias para implementar o modelo proposto, sendo os principais dados identificados foram, modelo hidráulico, tamanho da rede (com muitos nós) e a predefinição do número de distritos. Dos trabalhos avaliados, foi identificado a possibilidade de divisão dos DMCs utilizando o método de Busca por Comunidade mesmo sem um modelo hidráulico. Para o Agrupamento por Grafos e

Busca por Comunidades, o número inicial de DMCs não é fixo, não existindo definição prévia do número final de setores. Por fim, a criação de DMCs utilizando o agrupamento por grafos é recomendada em redes com grande número de nós. Ainda, o agrupamento através do BFS e DFS necessita de grafos direcionados, os chamados dígrafos, onde a direção é indicada e representada em conformidade com fluxo nas tubulações, sendo determinada pela simulação hidráulica.

#### **Critério de divisão:**

As características da rede, como o número de nós, conectividade da rede e número de reservatórios impactam na eficácia do método aplicado. Por exemplo, a quantidade de reservatórios impacta o caminhamento de alimentação de cada nó; em redes com poucos reservatórios os métodos avaliados de BFS e DFS e Busca por Comunidades podem ser considerados mais adequados. Por outro lado, em redes com elevada redundância (nós com múltiplas ligações) os algoritmos de Busca por Comunidade e Multiagentes são mais vantajosos. Embora o agrupamento por grafos simplifique a análise, ela é inadequada para redes com alta redundância. Em contraste, algoritmos de Busca por Comunidade são mais eficientes para redes densas e pequenas, apesar do alto esforço computacional para determinar linhas de alimentação. Para redes onde a topografia é crucial, o método Multi-agent é mais eficaz, pois permite a revisão dos critérios de elevação na interação entre agentes.

#### **Critério de parada:**

Os critérios de parada podem ser pré-determinados pelo autor ou, ainda, pela própria simulação. Dos trabalhos avaliados, na divisão

através da Teoria dos Grafos e Multiagente o critério de parada estabelecido foi o número de distritos pré-determinados. Enquanto os algoritmos BFS e DFS e busca por comunidade utilizam como critérios de parada a vazão máxima pré-determinada do distrito, combinada com o menor número de distritos possíveis.

#### **Acessibilidade de ferramentas computacionais:**

Um ponto em comum entre os artigos revisados são as ferramentas computacionais empregadas. Em geral, os modelos são iniciados com o EPANET (software para simulações hidráulicas de redes), com a possibilidade de importar um arquivo INP (arquivo de importação do EPANET) em ambiente Python através do WNTR (pacote do Python para simulações de resiliência de redes de distribuição), sendo possível a interação direta com a biblioteca Networkx (pacote Python com classes de criação de grafos a partir de redes) que contém bibliotecas de algoritmos de agrupamento. Dentre os trabalhos avaliados, o que aplica a Busca por Comunidade não especifica as ferramentas empregadas, no entanto, algoritmos para Busca por Comunidades estão disponíveis na biblioteca Networkx. Já o trabalho com divisão através de multiagentes, não apresenta a ferramenta e não foi identificada a disponibilidade do mesmo na biblioteca Networkx, no entanto alguns autores utilizam a plataforma de programação NetoLogo que pode ser integrada com Python.

#### **Dependência de análise subjetiva:**

Informações referentes à divisão dos setores, como número de distritos esperado, pressão mínima e máxima, vazão e outras características pré-estabelecidas indicam quanto da divisão dos

distritos é automatizada ou subjetiva a escolhas do autor. Para o agrupamento por grafos e multiagente, o poder de escolha do operador se mostrou menos relevante comparado a Busca por Comunidades ou BFS e DFS.

### Fluxograma

Baseado na análise das informações avaliadas e nos critérios levantados, o fluxograma apresentado na Fig 1 foi elaborado para auxiliar a aplicação dos conceitos destes critérios na seleção do método mais apropriado dependendo de algumas das mais relevantes características da rede. Destaca-se que os critérios são relativos à facilidade da aplicação, tendo-se algumas variáveis que não são excludentes na utilização do método, apenas a tornam mais rápida ou fácil.

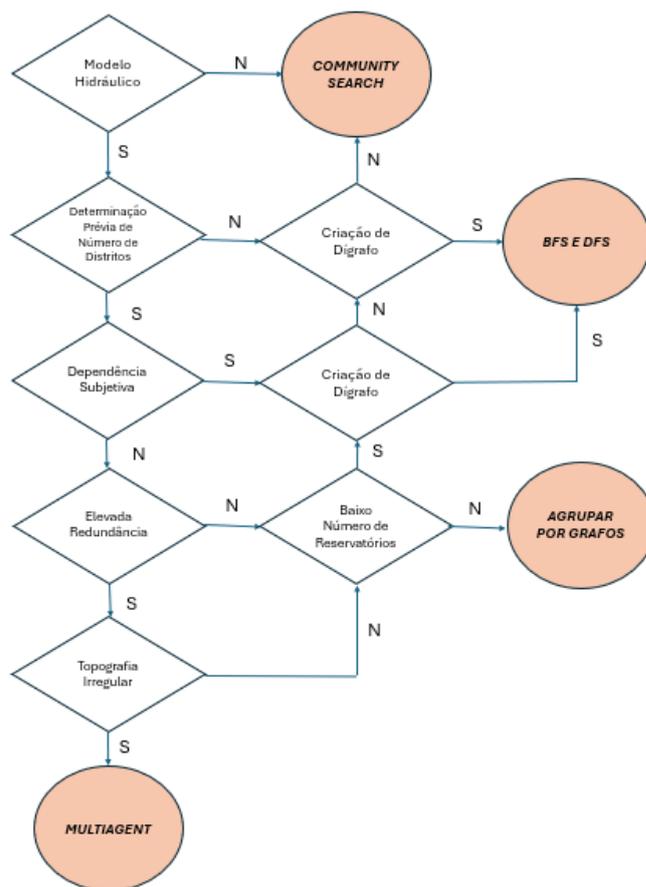


Fig1: Fluxograma para seleção de método de divisão

### CONCLUSÕES:

Ainda que utópica a existência de um sistema com perdas nulas, deve-se buscar soluções que tornem as grandezas desses volumes perdidos aceitáveis do ponto de vista econômico, operacional e ambiental. O controle de perdas inicia-se com o balanço hídrico, sendo que, para identificar os pontos críticos de perdas a divisão do sistema de abastecimento em distritos de medição e controle é essencial.

Através da revisão bibliográfica dos diferentes métodos de divisão de rede em DMCs foram identificados critérios de comparação da eficiência e aplicabilidade de cada um. Por fim, foi-se elaborado um fluxograma de forma a auxiliar a visualização destes critérios para escolha mais adequada da metodologia a ser empregada.

### BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento (Water distribution network design for public supply - procedure) in portuguese** Rio de Janeiro Associação Brasileira de Normas Técnicas 2017.

BRENTAN, B. et al. **Social Network Community Detection and Hybrid Optimization for Dividing Water Supply into District Metered Areas** Journal of Water Resources Planning and Management, 2018.

DEUERLEIN, J. W. Decomposition Model of a General Water Supply Network Graph. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 134, n. 6, p. 822–832, 2008.

DI NARDO, A. et al. Water Network Sectorization Based on Graph Theory and Energy Performance Indices. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 140, n. 5, p. 620–629, 2014.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M. A heuristic design support methodology based on graph theory for district metering of water supply networks. **Engineering Optimization**, v. 43, n. 2, p. 193–211, 2011.

DI NARDO, Armando; DI NATALE, Michele; DI MAURO, Anna. **Water supply network district metering: Theory and case study**. Springer Science & Business Media, 2013.

DI NARDO, Armando et al. Water network sectorization based on a genetic algorithm and minimum dissipated power paths. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, p. 951-957, 2013.

DI NARDO, Armando et al. Water network protection from intentional contamination by sectorization. **Water resources management**, v. 27, p. 1837-1850, 2013.

DIAO, K. et al. Automated Creation of District Metered Area Boundaries in Water Distribution Systems. v. 139, n. April, p. 184–190, 2013.

FARLEY, Malcolm et al. **Leakage management and control: a best practice training manual**. World Health Organization, 2001.

GIUDICIANNI, C. et al. Overview of Energy Management and Leakage Control Systems for Smart Water Grids and Digital Water. **Modeling**, v. 1, n. 2, p. 134–155, 2020a.

GIUDICIANNI, C. et al. Automatic Multiscale Approach for Water Networks Partitioning into Dynamic District Metered Areas. **Water Resources Management**, v. 34, n. 2, p. 835–848, 2020b.

HAJEBI, S. et al. Multi-agent simulation to support water distribution network partitioning. **Modelling and Simulation 2013 - European Simulation and Modelling Conference, ESM 2013**, n. 2013, p. 163–168, 2013.

ILAYA-AYZA, A. E. et al. Implementation of DMAs in Intermittentwater supply networks based on equity criteria. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 11, 2017.

IZQUIERDO, J. et al. Agent-based division of water distribution systems into district metered areas. **ICSOFT 2009 - 4th International Conference on Software and Data Technologies, Proceedings**, v. 2, p. 83–90, 2009.

PERELMAN, L.; OSTFELD, A. Topological clustering for water distribution systems analysis. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 7, p. 969–972, 2011.

SAVIĆ, D.; FERRARI, G. J. P. E. Design and performance of district metering areas in water distribution systems. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1136-1143, 2014.

SCARPA, F.; LOBBA, A.; BECCIU, G. Elementary DMA Design of Looped Water Distribution Networks with Multiple Sources. v. 142, n. 6, p. 1–9, 2016.

TZATCHKOV, Velitchko G.; ALCOCER-YAMANAKA, Victor H.; BOURGUETT ORTÍZ, Víctor. Graph theory based algorithms for water distribution network sectorization projects. In: **Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006**. 2008. p. 1-15.