

## OTIMIZAÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA (RDA) UTILIZANDO O ALGORITMO PSO (PARTICLE SWARM OPTIMIZATION) MULTI OBJETIVO

**Autores:** EDUARDO DIAS DA ROCHA, FELIPE PINHO E GODINHO, ALLYSSON STEVE MOTA LACERDA, LUIS PAULO TOLENTINO FERNANDES, ULISSES ARGILEU SOUZA E SILVA, BRENO REIMS NOGUEIRA SOUZA

### Introdução

Atualmente tem se tornado cada vez mais constantes os trabalhos relacionados à minimização dos gastos relacionados à rede de distribuição de água (RDA) devido ao crescimento populacional atrelado à escassez dos recursos hídricos que assola várias cidades do país. Desta forma, este trabalho tem como objetivo o dimensionamento e otimização de RDA levando em consideração o custo de implantação, bem como perdas por vazamento de água, redução do custo de energia elétrica por volume bombeado e a confiabilidade do sistema.

Vários são os algoritmos de otimização encontrados na literatura no que se refere à otimização de sistemas multiobjetivos. Para o desenvolvimento deste trabalho será utilizado o algoritmo PSO (Particle Swarm Optimization) multiobjetivo para encontrar a solução ótima do problema. De forma integrada também se utilizou o simulador hidráulico EPANET, um software livre desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency - EPA).

### Material e métodos

O trabalho é resultado de dois artigos que tratam da otimização de RDA. Um artigo tem como objetivo o dimensionamento e otimização de RDA. Segundo (DOUGLAS, THELMA, MAURO 2015, p. 2247): “Os resultados esperados para um dimensionamento confiável são: custo da rede em um mínimo possível, pressões adequadas nos nós, valores da perda de cargas nos arcos, e os diâmetros comerciais apropriados dos tubos, garantindo as condições requeridas pela NBR 12218/1994”. O outro artigo busca a minimização de perdas por vazamento de água, redução do custo de energia elétrica do volume bombeado e a maximização da confiabilidade do sistema em atender os padrões da demanda. Foi feita uma modelagem matemática considerando as funções objetivos dos dois artigos, assim como as restrições contidas em cada um. O próximo passo é modelar o sistema utilizando o algoritmo PSO multiobjetivo, este algoritmo de otimização é baseado no comportamento social dos pássaros dentro de um bando, e ele foi escolhido para este trabalho principalmente por sua eficiência em problemas nos quais as variáveis de decisão são números reais e por sua simplicidade, na versão original apenas um operador é utilizado para criar novas soluções diferente de muitos algoritmos evolutivos, a qual consequentemente reduz o custo computacional (SIERRA; COELLO, 2006). Após encontrar as melhores soluções devemos simulá-las no EPANET.

### Resultados e discussão

#### A. Referencial teórico

Segundo (DOUGLAS, THELMA, MAURO 2015, p. 2247): “A rede de distribuição é uma parte do sistema de abastecimento de água que faz com que esta seja efetivamente entregue ao consumidor, pronta para ser consumida de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas para o sistema e para o consumidor”. Um projeto de RDA deve seguir algumas restrições impostas pela norma brasileira NBR 12218/1994 como pressão em cada nó, velocidade mínima nos condutos, pressões estáticas dentre outras. A rede utilizada para teste do modelo foi Two Loop ilustrada na figura 1.

#### B. Modelo de representação

As funções objetivos são dadas da seguinte forma:

Minimizar custo das tubulações rede:

$$\text{Min } Z = \sum_{a=1}^M L(a)P(D(a))$$
$$P(D) = 3,5712e^{0,0081D}, \text{ em que } D \text{ é dado em mm e } P \text{ em R\$}$$

Minimizar perdas por vazamento de água:

$$FO_1 = \min [f_1]$$
$$f_1 = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^n q_{n(t)}$$

qn = CE.H? (Equação que representa os vazamentos nos nós implementada no EPANET).

Sendo CE = Coeficiente emissor; ? = expoente de vazamento; qn = vazamento (L/s) no nó n; H = carga de pressão (mca); n = número de nós e t = tempo (horas):

Reduzir o custo de energia elétrica durante a operação do sistema:

$$C_{FE} = \sum_{t=1}^{24} \left( \sum_{b=1}^{nb} \frac{\gamma \cdot Q_b \cdot H_b}{\eta_b} \cdot TC_t + \frac{TD \cdot DC}{30} + TU_t (DC_{max} - DC) \right)$$

$$FO_2 = \min [f_2]$$

$$f_2 = C_{FE}$$

Sendo CEF = custo total do fornecimento de energia elétrica (R\$); Qb = vazão bombeada (m3/s); Hb = carga hidráulica de bombeamento (mca); ? = eficiência do conjunto motor bomba; ? = peso específico da água (N/m3); nb = número de bombas funcionando na estação elevatória; TCT = tarifa unitária de consumo de energia no período de uma hora (R\$/kWh); TD = tarifa de demanda de potência contratada (R\$/kW); DC = demanda máxima de potência contratada (kW); TU = tarifa de ultrapassagem da demanda de potência contratada (R\$/kW); DCmax = demanda máxima de potência consumida (kW).

Maximizar a confiabilidade em atender as demandas de vazão e pressão dos usuários:

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^{nm} Q_i (H_i - H_{des})}{\sum_{k=1}^{nt} Q_k \cdot H_k - \sum_{i=1}^{nm} Q_i \cdot H_{des}}$$

$$FO_3 = \min [f_3]$$

$$f_3 = \sum_{t=1}^{24} R_t$$

Sendo Rt = índice de confiabilidade (resiliência) para a hora t; nm = número total de nós; Qi = demanda abastecida no nó i (L/s); Hi = carga de pressão fornecida ao nó i (mca); Hdes = carga de pressão desejada para que a demanda seja totalmente abastecida (mca); nt = número de reservatórios; Qk = vazão abastecida pelo reservatório k (L/s); Hk = carga de pressão fornecida pelo reservatório k (mca).

As restrições são as seguintes:

$$\sum Q_{entrada}(i) - Q_{saida}(i) = demanda(i) \quad \forall \text{ nó} \quad R(1)$$

$$h(a) = 10,6792 \frac{|Q(a)|Q(a)^{0,852}}{C(a)^{1,852}D(a)^{4,87}} L(a) \quad \forall \text{ arco} \quad R(2)$$

$$\sum h(a) = 0 \quad \forall \text{ circuitos} \quad R(3)$$

$$v(a) = \frac{4|Q(a)|}{\pi D(a)^2} \quad \forall \text{ arco} \quad R(4)$$

$$D(a) = \frac{2 \sqrt{4|Q(a)|}}{\pi v(a)} \quad \forall \text{ arco} \quad R(5)$$

$$P(j) = p(i) - h(a) + z(i) - z(j) \quad \forall \text{ nó} \quad R(6)$$

$$v(a) \leq v_{max} \quad \forall \text{ arco} \quad R(7)$$

$$v(a) \geq v_{min} \quad \forall \text{ arco} \quad R(8)$$

$$p(i) \geq p_{min} \quad \forall \text{ nó} \quad R(9)$$

$$D_{min} \leq D(a) \leq D_{max} \quad \forall \text{ arco} \quad R(10)$$

R(1): faz o balanço do fluxo de massa; R(2): calcula a perda de carga em cada arco através da fórmula de Hazen-Williams; R(3): representa o balanço de energia em cada anel ou circuito; D(a): demanda em cada arco em m3/s; (mca): metros por coluna d'água.

### C. Resultados esperados

Após os testes espera-se não apenas uma rede com um ótimo dimensionamento, mas também que ela apresente um baixo consumo de energia na sua manutenção, confiabilidade e eficiência, de modo que consiga atender os padrões da demanda de forma satisfatória.

### Considerações



Este trabalho está não apenas contribuindo para o estudo de uma rede de distribuição de água, mas também para o desenvolvimento acadêmico de seus atores, sendo um projeto da iniciação científica voluntária que será tema de trabalho de conclusão de curso (TCC).

### Agradecimentos

Ao orientador deste trabalho que nos deu a oportunidade de participar deste projeto de Iniciação Científica Voluntária (ICV), ofertado pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), e aos colegas que direta ou indiretamente contribuem para este trabalho.

### Referências bibliográficas

SURCO, D. F.; VECCHI, T. P. B.; RAVAGNANI, M. A. S. S. Otimização de um sistema de rede de distribuição de água usando técnicas e programação não-linear com solvers tipo DNLP. **XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Porto de Galinhas, p. 2246-2257, Ago. 2015.

SOUSA, A. C.; SOARES, A. K. Modelo para otimização da operação de sistemas de distribuição de água utilizando o algoritmo genético multiobjectivo SPEA. **Exacta**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 313-324, 2014.

SIERRA, M. R.; COELLO, C. A. C. Multi-Objective particle swarm optimizers: A survey of the state-of-the-art. **International Journal of Computational Intelligence Research**, v. 2, n. 3, p. 287-308, 2006.

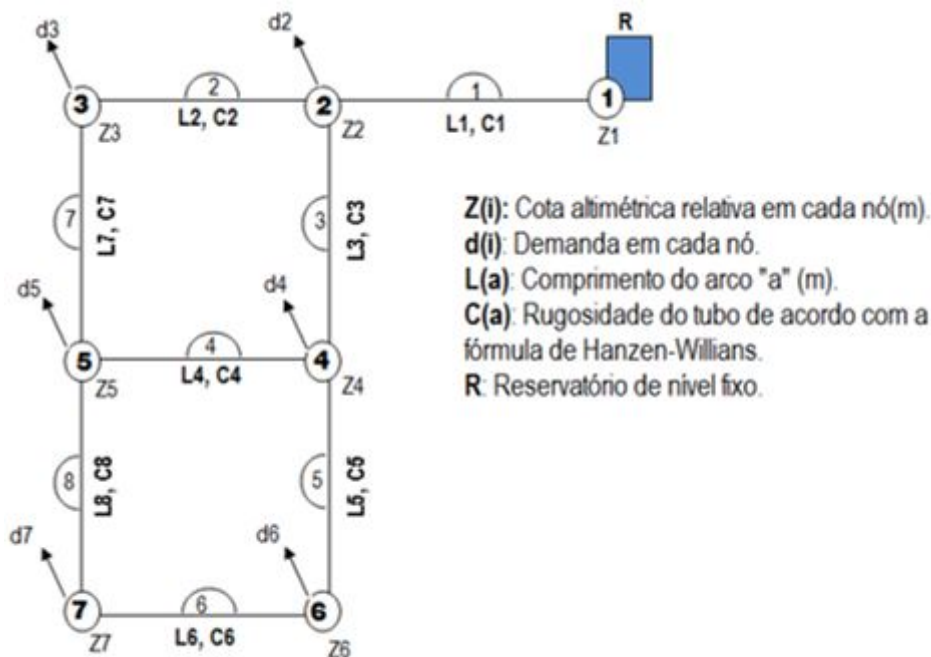


Figura 1. Numeração dos nós e arcos com os dados necessários de uma rede