

# V SEMANA DO CONHECIMENTO

**CONSTRUINDO CONHECIMENTOS  
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES**

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



**Marque a opção do tipo de trabalho que está inscrevendo:**

**Resumo**

**Relato de Caso**

## **APERFEIÇOAMENTO EM PROGRAMA PARA CÁLCULO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE FLUIDOS INCOMPRESSÍVEIS.**

**AUTOR PRINCIPAL:** Rudimar Cavalini Becker Junior.

**CO-AUTORES:** Osvaldo H. Cemin Becker e Thomas Felipe Zibetti.

**ORIENTADOR:** Luis Edson Saraiva.

**UNIVERSIDADE:** Universidade de Passo Fundo.

### **INTRODUÇÃO**

O projeto de redes de distribuição em malha para fluidos requer a solução simultânea das equações da conservação de energia para os tubos e das equações de conservação de massa para os nós (conexões entre os tubos). Tais sistemas, a depender da magnitude da rede projetada podem conter dezenas, centenas ou mesmo milhares de equações. Cattânio (2016) desenvolveu em linguagem Scilab um algoritmo para cálculo de redes de distribuição em malha para fluidos incompressíveis. Contudo, tal programa requer a escrita “manual” da matriz de coeficientes, o que limita a utilização do mesmo para redes com um pequeno número de equações, ou geraria assim um enorme trabalho. O presente trabalho se propõe a iniciar uma pesquisa com o intuito de elaborar e implementar ao trabalho de Cattânio, uma rotina computacional que automatize a linearização das equações e a montagem da matriz de coeficientes, de modo a tornar possível a solução de redes com um número ilimitado de equações.

### **DESENVOLVIMENTO:**

Para redes com vastos números de tubos e nós (1) o número de equações pode chegar na casa dos milhares, sendo que, devido a não linearidade das equações, essas formulações geradas para o sistema hidráulico, não podem ser resolvidas diretamente (3) (4).

A resolução desses sistemas se dá de forma matricial, onde um valor de solução inicial é estimado e, em seguida, de forma iterativa, o resultado vai sendo aperfeiçoado até que a diferença entre as soluções atinja a tolerância pré-definida pelo autor (4).

# V SEMANA DO CONHECIMENTO

CONSTRUINDO CONHECIMENTOS  
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



Para solução do problema proposto, algumas modificações serão feitas na equação de Bernoulli, onde após alguns ajustes, está apresentada na Equação 1, em anexo, onde encontram-se todas as outras equações presentes no trabalho.

Para facilitar os cálculos, admitiu-se que os diâmetros dos tubos não irão variar durante o percurso, que válvulas reguladoras de pressão irão manter a mesma constante, que as cotas piezométricas de entrada e saída serão iguais (tubulação toda na vertical) e que também não haja ganhos de energia no sistema. Chegou-se após a eliminação e ajustes de termos na Equação 2.

Visando a redução do tempo de análise a cada balanço, serão agrupados os termos de perda localizada ( $h_l$ ) e o termo de perdas por fricção ( $h_m$ ), como apresentado na Equação 3. Como a velocidade média é função da vazão e área, e a tubulação é considerada cilíndrica, pôde-se reescrever a Equação 3 e isolar o termo de vazão volumétrica, chegando-se na Equação 4, onde “K” é o somatório dos coeficientes de perda da rede.

Visando uma descomplexificação para escrita do algoritmo, os termos entre colchetes serão intitulados de “a”, conforme Equação 5.

Após as considerações e simplificações obtidas, no sentido arbitrado de 1 para 2, a Equação 1 pode ser reescrita conforme a Equação 6.

A solução de um sistema de equações de uma rede de distribuição é calculada de forma iterativa (2), e isso requer uma estimativa inicial de vazão para cada tubo. No caso de não haver dados para o problema, indica o uso da equação do diâmetro econômico, Equação 7, para a obtenção de valores de vazão iniciais (5).

O critério de parada, será definido em comparação a um erro de cálculo pré-definido, que quando comparado ao erro quadrático médio (eqm) do sistema, definirá assim, se as pressões e vazões calculadas são admissíveis. Para o cálculo da eqm, a vazão calculada na iteração atual é subtraída da vazão calculada na iteração anterior, mostrado na Equação 8, onde  $Q_n$  e  $Q_{na}$  são a vazão atual e a anterior, respectivamente, e  $N_{tub}$  é o número de tubos do sistema.

Um algoritmo em linguagem Scilab foi escrito utilizando as equações supracitadas e testado exitosamente, onde a rede de tubulação e os valores das variáveis de entrada são apresentados na Figura 1. O mesmo algoritmo necessitou que a montagem da matriz de coeficientes do sistema analisado fosse feita de maneira manual pelo autor e está apresentado na Figura 2. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3. As figuras estão presentes no anexo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Os resultados obtidos até o momento validam o trabalho, e com posterior desenvolvimento, pretende-se apresentar um programa computacional genérico que resolva as equações de conservação em redes de tubulações, com a automatização do

# V SEMANA DO CONHECIMENTO

**CONSTRUINDO CONHECIMENTOS  
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES**

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



sistema de conexões entre tubos e nós e sua representação matricial correspondente, não deixando que sua complexidade dificulte ou impeça sua solução.

## REFERÊNCIAS

- (1) ATEŞ, S. **Hydraulic modelling of closed pipes in loop equations of water distribution networks.** *Flow Measurement and Instrumentation*, 2015. v. 53, p. 243–260.
- (2) CATTÂNIO, L. H. **Desenvolvimento de um programa computacional para cálculo de uma rede de distribuição de um fluido incompressível.** Passo Fundo, 2016.
- (3) ELLIS, David J.. **The Behaviour of Pipe Network Analysis Solution Techniques.** 2001. 298 f. Tese (Pós - Doutorado) - Curso de Civil and Environmental Engineering, The Universidade Of Adelaide, Adelaide, 2001.
- (4) HAESTAD METHODS. **Advanced Water Distribution Modeling and Management.** 5a Edition. Waterbury: Haestad Press, 2003.
- (5) SINNOTT, R K. **Chemical Engineering Design.** Dallas: Butterworth-Heinemann, 2005.

**NÚMERO DA APROVAÇÃO CEP OU CEUA (para trabalhos de pesquisa):** Número da aprovação.

# V SEMANA DO CONHECIMENTO

## CONSTRUINDO CONHECIMENTOS PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



### ANEXOS

Equações:

$$(P_1 - P_2) + \frac{\rho g}{2g}(V_1^2 - V_2^2) + \rho g(Z_1 - Z_2) + \rho g \sum h_p - \rho g \sum h_i - \rho g \sum h_m = 0 \quad (1)$$

$$(P_1 - P_2) - \rho g \sum h_i - \rho g \sum h_m = 0 \quad (2)$$

$$h_i + h_m = \left( \frac{\rho g f L V^2}{2 D g} + \frac{\rho g K V^2}{2 g} \right) \quad (3)$$

$$h_i + h_m = Q \left[ \frac{8 \rho Q}{\pi^2 D^4} \left( \frac{f L}{D} + K \right) \right] \quad (4)$$

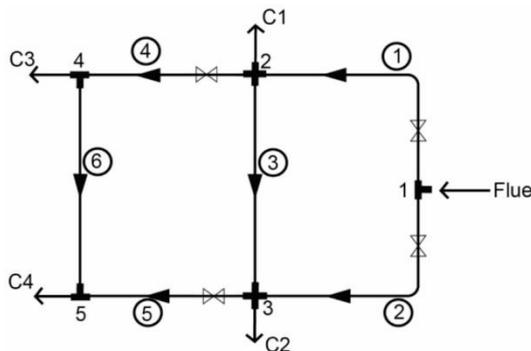
$$h_i + h_m = Q a \quad (5)$$

$$P_1 - P_2 - Q_{12} a_{12} = 0 \quad (6)$$

$$Q_{ini} = 10,137 D^{1,89} \rho^{-0,302} \quad (7)$$

$$eqm = \frac{\sqrt{(Q_1 - Q_{1a})^2 + (Q_2 - Q_{2a})^2 + \dots + (Q_n - Q_{na})^2}}{N_{tub}} \quad (8)$$

Figura 1 – Sistema analisado e variáveis e entrada      Figura 2 – Matriz do sistema



$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & a_{12} & -a_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_{023} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_{24} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{23} \\ Q_{24} \\ Q_{35} \\ Q_{45} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ Flu_e \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{bmatrix}$$

$$Flu_e = 4000 \text{ (cm}^3/\text{s)} \quad P_1 = 200000 \text{ (kPa)}$$

$$C_1 = 1000 \text{ (cm}^3/\text{s)} \quad C_3 = 900 \text{ (cm}^3/\text{s)}$$

$$C_2 = 800 \text{ (cm}^3/\text{s)} \quad C_4 = 1300 \text{ (cm}^3/\text{s)}$$

Figura 3 – Resultados obtidos com o algoritmo.

Varição no consumo=0, logo o programa é valido;

Número de iterações realizadas=77

Vazão tubo 1=0.0200165 m<sup>3</sup>/s;

Vazão tubo 2=0.0199835 m<sup>3</sup>/s;

Vazão tubo 3=0.0200165 m<sup>3</sup>/s;

Vazão tubo 4=0.0199835 m<sup>3</sup>/s;

Vazão tubo 5=0.00338478 m<sup>3</sup>/s;

Vazão tubo 6=0.00436713 m<sup>3</sup>/s;

Pressão nó 2=109432 Mpa;

Pressão nó 3=109723 Mpa;

Pressão nó 4=18863.1 Mpa;

Pressão nó 5=14243.6 Mpa;