

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE REDES RAMIFICADAS USANDO PROGRAMAÇÃO NÃO-LINEAR

Heber Pimentel GOMES¹, Wilson Fadlo CURI², Rossana Cavalcanti ARAÚJO³

RESUMO: Este trabalho apresenta um método alternativo para o dimensionamento otimizado de um sistema de distribuição de água. Para encontrar o menor custo do dimensionamento de uma rede ramificada, foi estabelecido um modelo de programação não-linear. A metodologia considera os diâmetros como variáveis de decisão. Tanto a função objetivo quanto as restrições do modelo são não-lineares.

PALAVRAS-CHAVE: Redes ramificadas, otimização, programação não-linear

ABSTRACT: This paper presents an alternative method for the optimal design of water distribution system. To obtain the minimum cost in the design of a branching system, it was established a nonlinear programming model. This methodology takes into account the pipe diameters as decision variables. The objective function, as well as the model constraints, are described by nonlinear equations.

KEYWORDS: Branching networks, optimization, nonlinear programming

INTRODUÇÃO: Redes de distribuição é o conjunto de tubos e peças especiais destinados a conduzir água até os pontos de consumo. As redes ramificadas são bastante empregadas em sistemas de abastecimento rurais, industriais e irrigação, pois são muito mais econômicas do que as redes malhadas, utilizadas em sistemas de abastecimento urbano. A aplicação de metodologias de otimização em dimensionamento de redes de distribuição de água tem merecido especial atenção nas últimas décadas. Atualmente, com o acelerada capacidade computacional, torna-se imprescindível a utilização de tais técnicas, não apenas no dimensionamento mas, também, na operação de tais sistemas. Segundo Waski (1995) um dos principais motivos que inibem o emprego de métodos de otimização é que não existe um problema único de dimensionamento, mas são vários problemas distintos, dificultando a utilização de determinados modelos, pela complexidade e particularidades de cada problema. No entanto, esse argumento não pode ser encarado como fator desestimulante para o estudo e implementação de novas metodologias, mas constitui um desafio, ou seja, desenvolver modelos que reflitam a realidade e sejam aplicados em sistemas reais. A aplicação da programação linear na otimização de redes ramificadas foi introduzida por Karmeli et al (1968). Este método utiliza o artifício de considerar como

¹ Professor Dr. Adjunto do Laboratório de Hidráulica, DEC/UFPB, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Caixa Postal 505, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Fone (083) 310.1157, Fax (083) 310.1388, E-mail heber@rechid.ufpb.br.

² Professor PhD Adjunto do Departamento de Física, UFPB, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Fone (083) 310.1195, Fax (083) 310.1011, E-mail wcuri@df.ufpb.br.

³ Estudante do Curso de Pós-Graduação de Engenharia Civil, DEC/UFPB, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Caixa Postal 505, CEP 58109-970, Campina Grande-PB, Fone (083) 310.1157.

variáveis de decisão os comprimentos dos tubos, pois tanto a perda de carga quanto o custo são funções lineares do comprimento, tornando possível a aplicação da programação linear (Gomes, 1994). No entanto, devido a este artifício o método torna-se bastante laborioso. Neste trabalho é apresentado um método alternativo de dimensionamento de redes ramificadas; que utiliza a técnica da programação não-linear para encontrar a solução ótima. Foi utilizado o software MATLAB (Matriz Laboratory) para se encontrar os resultados de otimização.

DESCRIÇÃO DO MODELO: De forma geral, o problema consiste em otimizar uma função objetivo que representa o custo de uma rede ramificada, respeitando um conjunto de restrições. A solução ótima é aquela que dimensiona o sistema com o custo mínimo. O primeiro passo para formular o modelo é definir as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do problema físico proposto (Gomes, 1994). Neste caso, o objetivo principal é o dimensionamento de uma rede ramificada, com o menor custo, ou seja, encontrar os diâmetros para cada trecho da rede, que forneçam o custo mínimo do sistema e que atendam aos requerimentos hidráulicos. Os diâmetros dos trechos e a altura de bombeamento são as variáveis do problema. Verifica-se uma dependência econômica entre estas duas variáveis, pois o aumento da altura de bombeamento implica na diminuição dos diâmetros dos tubos, acarretando uma diminuição do custo da rede, em troca de um incremento do custo de bombeamento. Ao contrário, com a diminuição da altura de bombeamento haverá uma diminuição do consumo de energia, e um aumento no custo de investimento da rede. Portanto, deve-se encontrar o equilíbrio entre ambos custos para se obter um projeto ótimo. Inicialmente é verificado qual o tipo de função é a mais adequada para representar a variação do preço da tubulação com o diâmetro. Para isso utiliza-se um programa computacional de ajuste de equações. Com este dado, parte-se para elaboração do modelo propriamente dito, ou seja:

$$\text{Função Objetivo:} \quad \text{Min } C_t = C_h \cdot H_a + \sum L_i \cdot C(D_i) \quad (1)$$

$$\text{Conjunto de Restrições: } D_i \geq D_{\min} \quad (2)$$

$$H_a + H_c - H_k - \sum J_j \geq P_{\min k} \quad (3)$$

$$H_a, D_i \geq 0 \quad (4)$$

onde: $C(D)$ - função que relaciona o preço do tubo com o diâmetro;

C_h - custo unitário da energia;

H_a - altura manométrica de impulsão na cabeceira da rede;

L_i - comprimento do trecho i ;

D_i - diâmetro do tubo no trecho i ;

H_c - cota geométrica de cabeceira;

H_k - cota geométrica no nó k ;

$\sum J_j$ - perda de carga na artéria j ;

$P_{\min k}$ - pressão mínima requerida no nó k .

Os diâmetros encontrados como solução ótima são variáveis contínuas, ou seja, os valores obtidos não são encontrados comercialmente. Uma forma de realizar o ajuste é desdobrar o diâmetro teórico em dois diâmetros comerciais: um imediatamente superior e outro imediatamente inferior. Em seguida, para encontrar os comprimentos dos diâmetros no trecho, de forma que a perda de carga seja equivalente a do diâmetro fictício, calculam-se a

perda de carga unitária dos diâmetros comerciais adotados. Então, tem-se as seguintes relações:

$$L_1 = \frac{L(j - j_2)}{j_1 - j_2} \quad e \quad (5)$$

$$L_2 = L - L_1 \quad (6)$$

Onde: L - comprimento total do trecho;

L₁ - comprimento correspondente ao diâmetro comercial imediatamente inferior;

L₂ - comprimento correspondente ao diâmetro comercial imediatamente superior;

j - perda de carga unitária referente ao diâmetro fictício;

j₁ - perda de carga unitária referente ao diâmetro imediatamente inferior;

j₂ - perda de carga unitária referente ao diâmetro imediatamente superior.

Saad (1993) aconselha o emprego da programação linear para determinar os comprimentos de cada trecho da rede. O método é formulado supondo que cada trecho possui dois diâmetros, previamente definidos como no caso anterior, e que cada um deles ocupa um comprimento parcial. O objetivo é encontrar os comprimentos para cada trecho que forneçam o custo mínimo da rede de distribuição. O emprego da programação linear torna-se possível pois tanto a perda de carga quanto o custo são funções lineares do comprimento. Em testes comparativos realizados com estes dois procedimentos foram consideradas desprezíveis as diferenças dos resultados.

CONCLUSÕES: Neste artigo foi apresentado um método de dimensionamento de redes ramificadas de distribuição de água, com a utilização de técnicas de programação não-linear. Os resultados foram considerados bastante satisfatórios, em relação aos encontrados por outras metodologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

GOMES, Heber Pimentel. Engenharia de irrigação: **hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994. 344 p.

SAAD, João Carlos Cury. **Otimização do dimensionamento e operação de sistemas de irrigação por microaspersão utilizando programação não-linear**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz" da USP, 1993. 114 p. (Tese, Doutorado em Agronomia)

WASKI, Thomas M. **Optimization and pipe-sizing decisions**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 121, n. 4, p. 340-343, jun./ag. 1995.