

# Novo método para equilíbrio de redes malhadas compostas de distribuição de água

Paulo Afonso da Mata Machado (1)

## Resumo

Para o equilíbrio de redes malhadas de distribuição de água, sejam simples ou compostas, o método comumente adotado é o de Cross. Entretanto, embora menos utilizado, o método de Afonso (1982) não só apresenta melhor desempenho, como, também, é mais fácil para ser programado.

Em se tratando de redes compostas, o método citado não apresenta a mesma eficiência que para redes de um único anel. O presente trabalho tem por fim aperfeiçoar o método de Afonso para ser utilizado em lugar do clássico método de Cross.

## 1 O método de Afonso

Afonso (1982) apresenta um método de equilíbrio de redes malhadas de distribuição de água que pode ser resumido assim:

a) calcula-se a soma das perdas de carga no anel e chama-se esta soma de **A**;

b) arbitra-se um número **a** tal que **a** e **A** tenham sinais contrários;

c) modificam-se as vazões do anel adicionando-se a parcela **a** a cada uma delas;

d) recalcula-se a soma das perdas de carga no anel e chama-se esta soma de **B**;

e) a parcela de correção a ser aplicada às vazões originais é:

$$q = \frac{a.A}{A-B} \quad (1)$$

Este método é mais eficiente que o método de Cross pois, para redes simples, é suficiente as mais das vezes uma única iteração. Entretanto, mesmo em se tratando de redes com um único anel, o método comporta simplificações.

## 2 Melhoramento do método de Afonso

A fórmula (1) utilizada para se fazer a correção das vazões pode ser modificada como se segue.

Sabe-se que a perda de carga em condutos de água obedece a uma fórmula do tipo:

$$h = K.C.^m.D.^n.Q.^p \quad (2)$$

sendo **h** a perda de carga; **C** o coeficiente de atrito da tubulação; **D** seu diâmetro e **l** seu comprimento; **Q** é a vazão média no trecho.

Considerando que o coeficiente de atrito **C** seja constante na rede (isto é, admitindo o mesmo material dos tubos para toda a rede), a expressão de **q** pode ser reescrita como se segue:

$$q = \frac{a.\Sigma(D.^n.Q.^p)}{\Sigma(D.^n.Q.^p) - \Sigma(D.^n(Q a)^p)} \quad (3)$$

Fazendo  $M = \Sigma(D.^n.Q.^p)$  e  $N = \Sigma(D.^n(Q a)^p)$ , tem-se:

$$q = \frac{a.M}{M-N} \quad (4)$$

A expressão anterior é bem mais fácil de ser calculada que a expressão (1). Além disso, apresenta uma facilidade para programação, visto que **M** e **N** são calculados semelhantemente, distinguindo entre eles apenas a vazão. Como exemplo dessa facilidade de programação apresenta-se a seguir a listagem do programa utilizado na HP-10C para se calcular tanto **M** como **N**:

```
01 rcl 0 (1000)
02 ÷
03 rcl 1 (1,85)
04 yx
05 x↔y
06 rcl 0
07 ÷
08 rcl 2 (4,87)
09 yx
10 ÷
11 x
12 sto 3
13 Gto 00
```

O programa acima calcula cada uma das parcelas que compõem **M** ou **N**. Foram utilizados para expoentes de **D** e de **Q** os indicados pela fórmula de Hazen-Williams, respectivamente -4,87 e 1,85 (na memória 2 coloca-se o valor positivo 4,87 por razão de programação).

## 3 O método aplicado a redes malhadas compostas

Hammer (1979) introduz um aperfeiçoamento no método de Cross que pode também ser usado no método de Afonso. Segundo ele, o que faz com que sejam necessárias repetidas iterações em se tratando de redes com mais de um anel é o desequilíbrio introduzido a cada iteração devido aos trechos comuns a dois anéis. Para minimizar este desequilíbrio, o autor sugere que não se faça simultaneamente a correção de todos os anéis, mas sim anel por anel, introduzindo nos trechos comuns as correções já feitas.

Essa simplificação permite a introdução de uma outra. De fato, se os anéis forem corrigidos individualmente, pode não ser necessário, em dada iteração, fazer-se a correção de todos eles. O exemplo a seguir dá idéia dessa modificação.

## 4 Exemplo de aplicação

Martins (1976) apresenta uma rede malhada composta como exercício de aplicação do método de Cross. Na segunda iteração encontra-se parcela de correção superior a 0,5 l/s, o que prova que este método é lento em se tratando de redes malhadas compostas. Aplicando-se o método de Afonso sem os aprimoramentos introduzidos

(1) Professor em tempo integral da Faculdade de Engenharia Civil de Alfenas, MG.

Tabela 1 — Equilíbrio de uma rede malhada de distribuição de água apresentada na figura anexa

Anel trecho	l(m)	D(mm)	Q <sub>o</sub>	Q <sub>o</sub> +a	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> +a	Q <sub>2</sub>	Q <sub>2</sub> +a	Q <sub>3</sub>
AB	200	300	64,3	63,3	63,1	64,1	63,1		
BC(2)	400	250	48,9	47,9	46,6	47,6	46,6		
1 CD(3)	500	200	21,8	20,8	20,0	21,0	20,0		
DE(5)	500	200	-21,9	-22,9	-21,9	-20,8	-21,9		
EF(6)	200	300	-62,5	-63,5	-63,0	-62,0	-63,0		
FA	400	350	-103,2	-104,2	-104,4	-103,4	-104,4		
			305	41	-5	260			
			q = -1,2		q = 0,02				
BG	550	150	8,2	9,2	9,3	10,3	9,3		
GH	300	100	2,2	3,2	3,3	4,3	3,3		
2 HI	450	100	-2,3	-1,3	-1,2	-0,2	-1,2		
IC(3)	200	200	-17,8	-16,8	-17,3	-16,3	-17,3		
CB(1)	400	250	-47,7	-46,7	-46,6	-45,6	-46,6		
			-910	-91	-29	739			
			q = 1,1		q = 0,04				
CI(2)	200	200	16,7	17,7	17,3	16,3	17,3	17,3	17,3
IJ	400	150	10,1	11,1	10,7	9,7	10,7	9,7	10,7
3 JK	400	100	3,6	4,6	4,2	3,2	4,2	3,2	4,2
KL	400	100	-3,6	-2,6	-3,0	-4,0	-3,0	-4,0	-3,0
LD(4)	500	200	-19,4	-18,4	-18,6	-19,6	-18,2	-19,2	-18,2
DC(1)	500	200	-20,6	-19,6	-20,0	-21,0	-20,0	-21,0	-20,0
			-727	545	52	-1217	83	-1185	
			q = 0,6		q = -0,04		q = -0,07		
DL(3)	500	200	18,8	17,8	18,6	17,6	18,2	19,2	18,2
4 LM	500	150	5,2	4,2	5,0	4,0	4,6	5,6	4,6
MN	500	150	-5,1	-6,1	-5,3	-6,3	-5,7	-4,7	-5,7
ND(5)	500	150	-8,4	-9,4	-7,4	-8,4	-7,8	-6,8	-7,8
			80	-386	177	-272	-1	440	
			q = -0,2		q = -0,4		q = 0,002		
ED(1)	500	200	23,1	22,1	21,9	20,9	21,9		
5 DN(4)	500	150	8,6	7,6	7,8	6,8	7,8		
NO	500	150	-30,6	-31,6	-31,1	-32,1	-31,1		
			548	82	19	-443			
			q = -1,2		q = -0,04				
FE(1)	200	300	63,7	62,7	63,0	62,0	63,0		
EO(5)	500	250	31,8	30,8	31,1	30,1	31,1		
6 OP	600	150	8,6	7,6	7,9	6,9	7,9		
PQ(7)	600	150	-8,5	-9,5	-9,1	-10,1	-9,1		
QF	500	250	-34,2	-35,2	-34,9	-35,9	-34,9		
			347	-151	19	-477			
			q = -0,7		q = -0,04				
QP(6)	600	150	9,2	8,2	9,1	8,1	9,1		
7 PS	500	100	4,9	3,9	4,8	3,8	4,8		
ST	600	100	-4,8	-5,8	-4,9	-5,9	-4,9		
TQ	500	200	-14,5	-15,5	-14,6	-15,6	-14,6		
			246	-1660	56	-1851			
			q = -0,1		q = -0,03				

no item 3 deste trabalho obtém-se, também, um equilíbrio demorado.

A tabela anexa dá idéia de como se resolve um exercício como este. As quatro primeiras colunas referem-se à identificação do anel, do trecho, do comprimento e do diâmetro. A coluna seguinte mostra as vazões iniciais. Estas vazões podem ser verificadas no desenho. Note-se que já estão introduzidas as modificações sugeridas por Hammer. Embaixo dos valores das vazões está colocado o valor de *M* correspondente.

Para a escolha de *a*, por questão de simplicidade (e como o autor não faz nenhuma exigência em contrário), foram adotados os valores de -1 quando *M* é positivo e de 1 quando é negativo.

Na coluna seguinte estão colocados os valores de *Q<sub>o</sub> + a*, também, os valores de *N* em cada anel. De posse dos valores de *M*, *N* e *a*, é possível calcular-se o valor de *q*.

## 5 Análise dos resultados

É curioso observar que, na segunda iteração, seis anéis já apresentam valores de *q* abaixo de 0,1 l/h (em módulo), limite mínimo de correção.

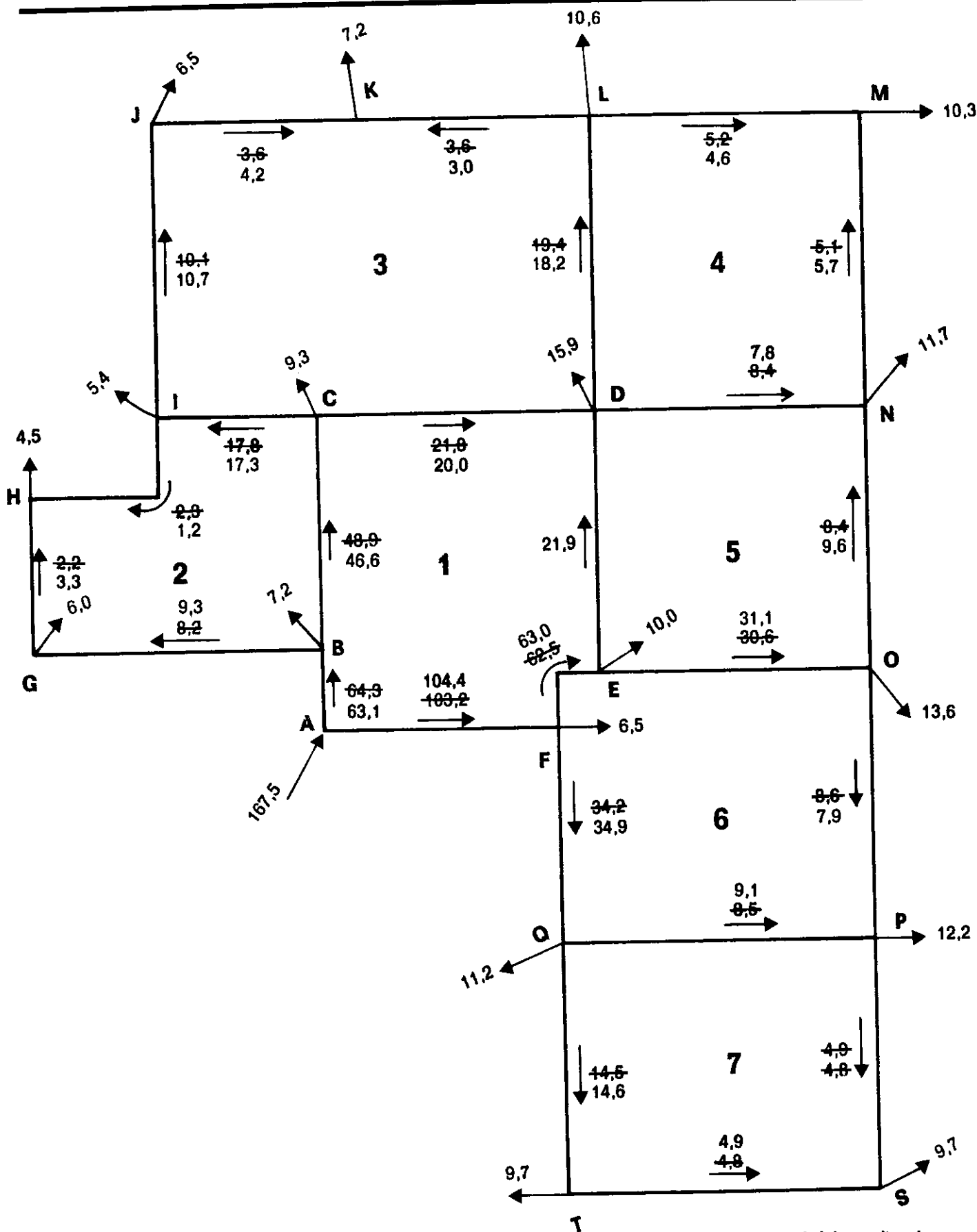
Sendo o anel 4 o único que apresentou *q* (em módulo) não inferior a 0,1 l/s, a correção desse anel afetará os anéis 3 e 5. Quanto a este último, seu ajuste foi feito ainda na segunda iteração, mas o anel 3, juntamente com o 4, precisou de mais uma. Dessa vez acusaram valores de *q* abaixo do limite mínimo.

Portanto, com três iterações incompletas, usando-se o método descrito, conseguiu-se o equilíbrio da rede, o que não aconteceria com o uso dos outros métodos citados.

## 6 Conclusão

O presente trabalho tem um duplo objetivo: o primeiro é o de divulgar o método de Afonso, indiscutivelmente superior ao de Cross, embora este seja o mais adotado.

O segundo objetivo é aperfeiçoar o próprio método de Afonso, para torná-lo com maior eficiência quando for utilizado para redes malhadas com mais de um anel.



Rede molhada proposta por Martins (1976). São mostradas as vazões iniciais, propostas pelo autor, e as vazões finais, calculadas no item 4

## Bibliografia

1. AFONSO, Armando da Silva, "Um novo método para o cálculo de redes malhadas de distribuição de água", Revista DAE, n.º 131 (1982).
2. HAMMER, Mark J., "Sistemas de abastecimento de água e esgotos" — tradução de Sérgio A. S. Almeida — Livros Técnicos e Científicos — Editora S. A. — Rio de Janeiro — 1979.
3. MARTINS, José A., "Redes de distribuição de água — Técnica de abastecimento e tratamento de água" — Cetesb — 2.a edição — segundo volume — São Paulo — 1976.