



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL
CENTRO DE ENGENHARIAS - CENG
DISCIPLINA: SISTEMAS URBANOS DE ÁGUA

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

PARTE 2

Prof. Hugo Alexandre Soares Guedes
E-mail: hugo.guedes@ufpel.edu.br
Website: wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/

2º semestre de 2018

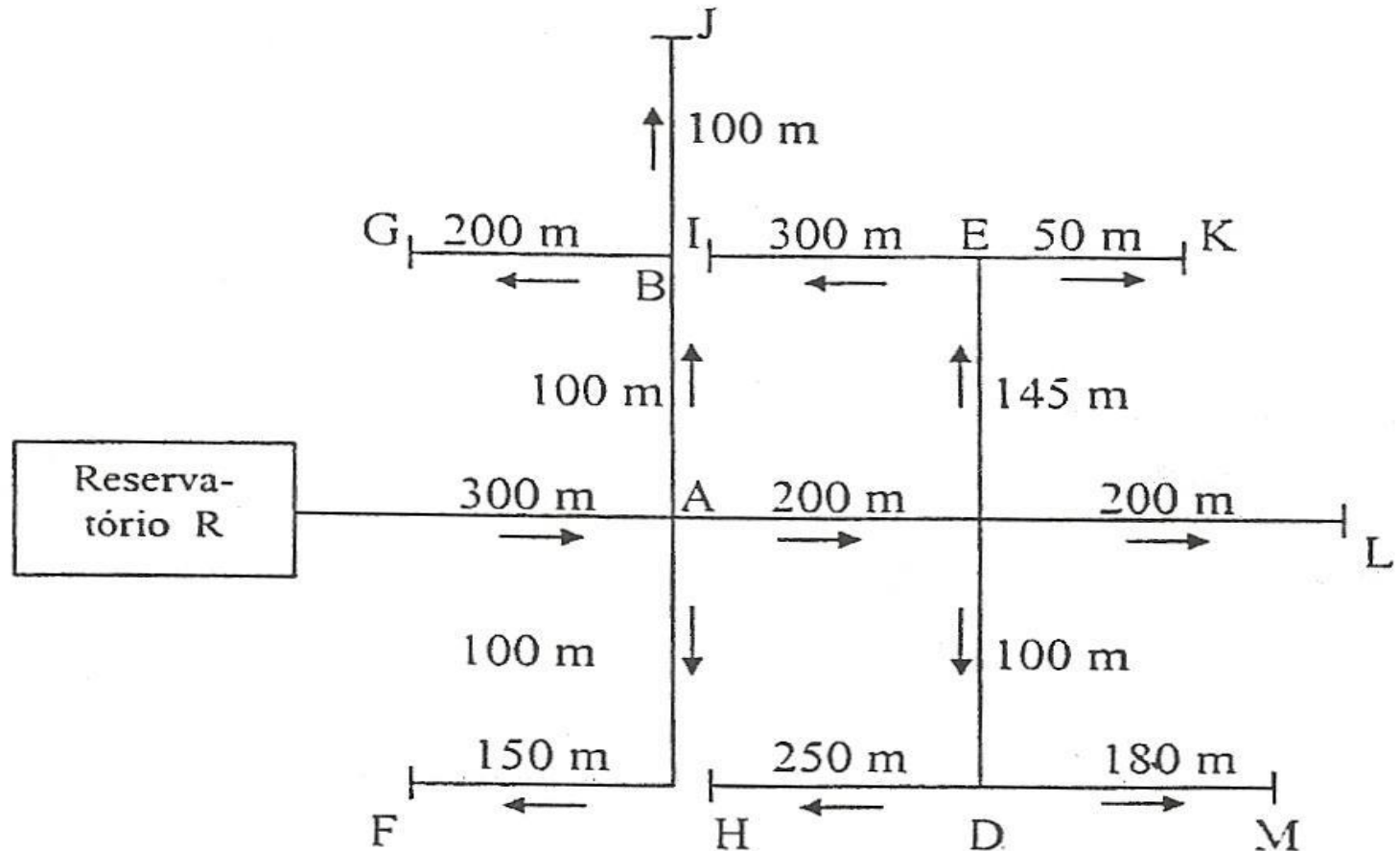
Nas aulas anteriores...

- Tipos de rede (tubulação): principal e secundária
- Tipos de rede (topologia): ramificadas, malhadas ou mistas
- Traçado
- Concepção, definição de setores e zonas de pressão
- Vazões para dimensionamento
- Critérios, análise e dimensionamento
- Dimensionamento de redes ramificadas

Análise e Dimensionamento de Redes

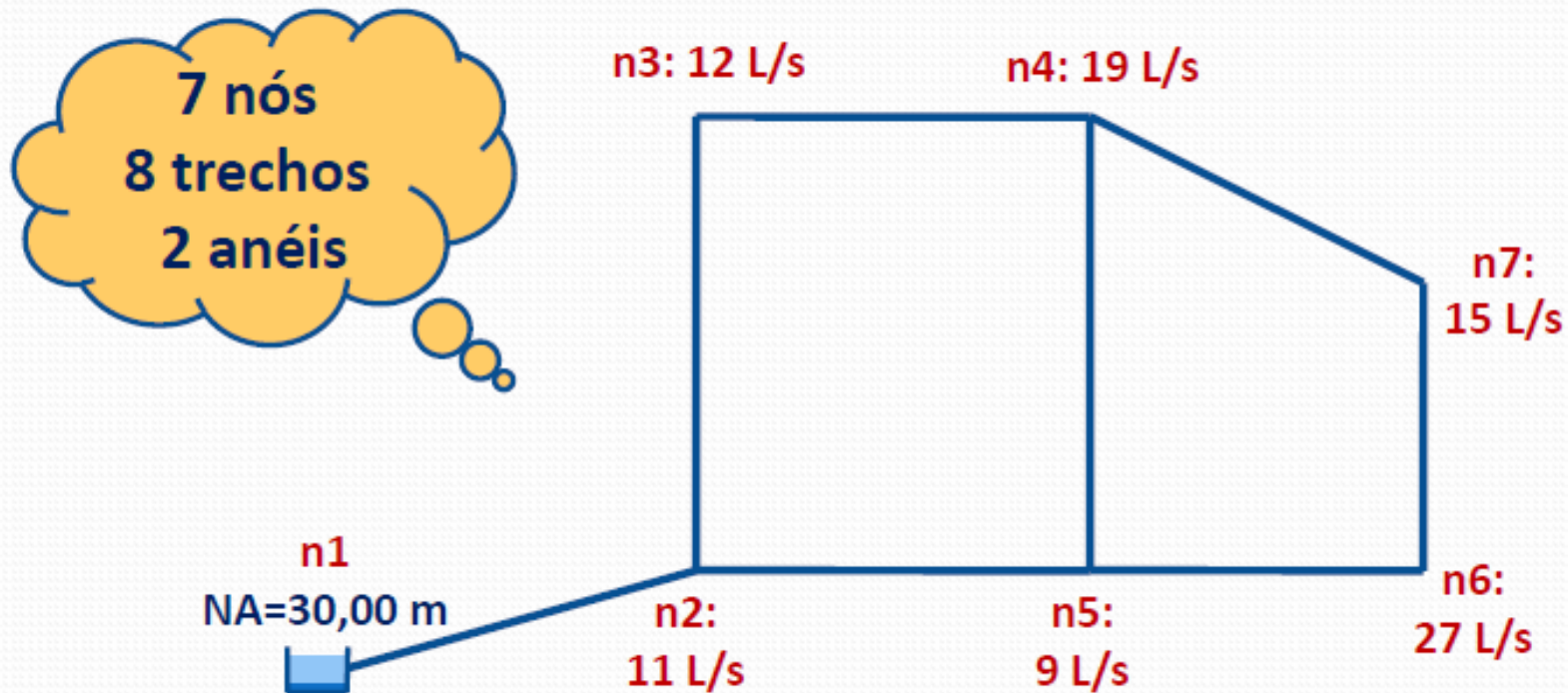
- uma rede é representada por um conjunto de nós e trechos
- para cada nó: equação da continuidade
- para cada trecho: perda de carga associada
- na simulação, deve-se determinar as pressões em cada nó e as vazões em cada trecho
- no dimensionamento, os diâmetros (classes e materiais) também devem ser determinadas, atendendo critérios de projeto e minimização de custos

Análise e Dimensionamento de Redes



em redes ramificadas, o cálculo é sequencial!

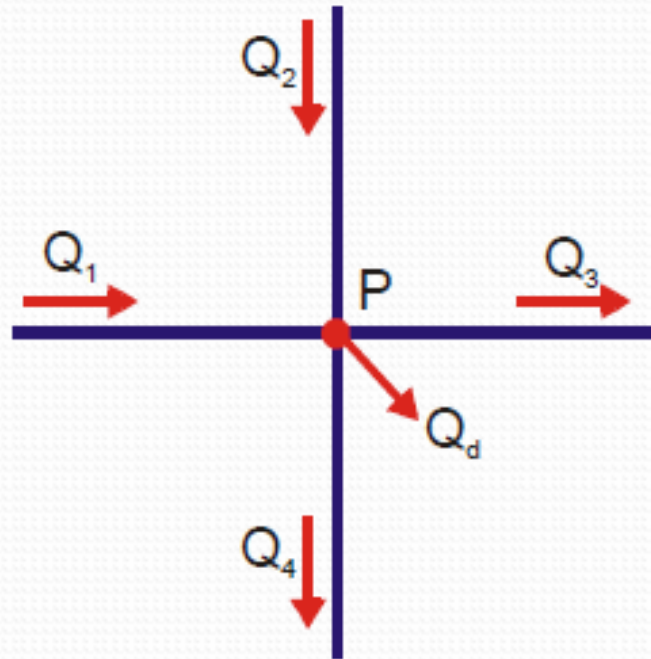
Análise e Dimensionamento de Redes



*em redes malhadas, o cálculo deixa de ser direto...
como as vazões se distribuem nos anéis???*

Método Orientado aos Anéis

- em um nó qualquer de rede, a soma algébrica das vazões é igual a zero.



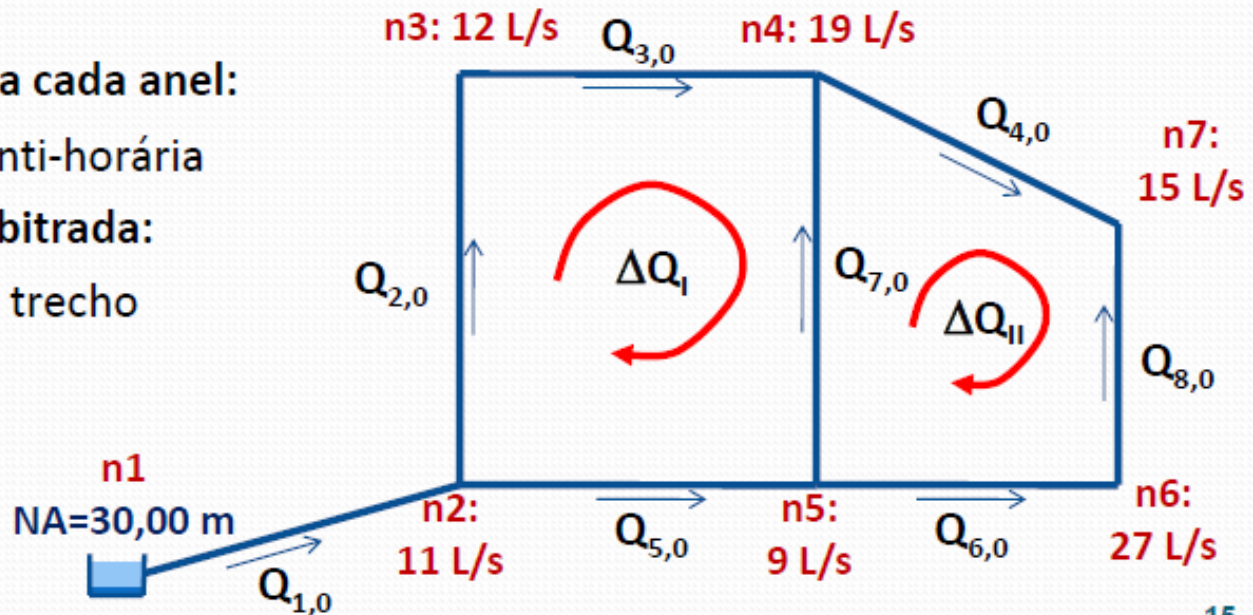
$$\sum Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_d = 0$$

Método Orientado aos Anéis

- em um circuito fechado (ou anel) qualquer da rede, a soma algébrica das perdas de carga é igual a zero.

$$\begin{cases} \text{anel I: } \Delta H_2 + \Delta H_3 - \Delta H_7 - \Delta H_5 = 0 \\ \text{anel II: } \Delta H_7 + \Delta H_4 - \Delta H_8 - \Delta H_6 = 0 \end{cases}$$

- Orientação para cada anel:
horária ou anti-horária
- Vazão inicial arbitrada:
 $Q_{i,0}$ em cada trecho



Método Orientado aos Anéis

- no exemplo com 7 nós, 8 trechos e 2 anéis podemos resolver o sistema não linear com 15 equações...
- conhecida a distribuição de vazões, o cálculo é sequencial como em redes ramificadas.
- uma distribuição inicial de vazões **que atenda a equação da continuidade em todos os nós** poderia ser corrigido por um ΔQ em cada anel. No exemplo apresentado resultaria um sistema não linear com apenas 2 equações (uma para cada anel).
- podem ser utilizados métodos iterativos baseados na correção de vazões nos anéis, um anel em cada iteração.

Método Orientado aos Anéis

$$\begin{cases} I: \Delta H_2(Q_{2,0} + \Delta Q_I) + \Delta H_3(Q_{3,0} + \Delta Q_I) - \Delta H_7(Q_{7,0} - \Delta Q_I + \Delta Q_{II}) - \Delta H_5(Q_{5,0} - \Delta Q_I) = 0 \\ II: \Delta H_7(Q_{7,0} - \Delta Q_I + \Delta Q_{II}) + \Delta H_4(Q_{4,0} + \Delta Q_{II}) - \Delta H_8(Q_{8,0} - \Delta Q_{II}) - \Delta H_6(Q_{6,0} - \Delta Q_{II}) = 0 \end{cases}$$

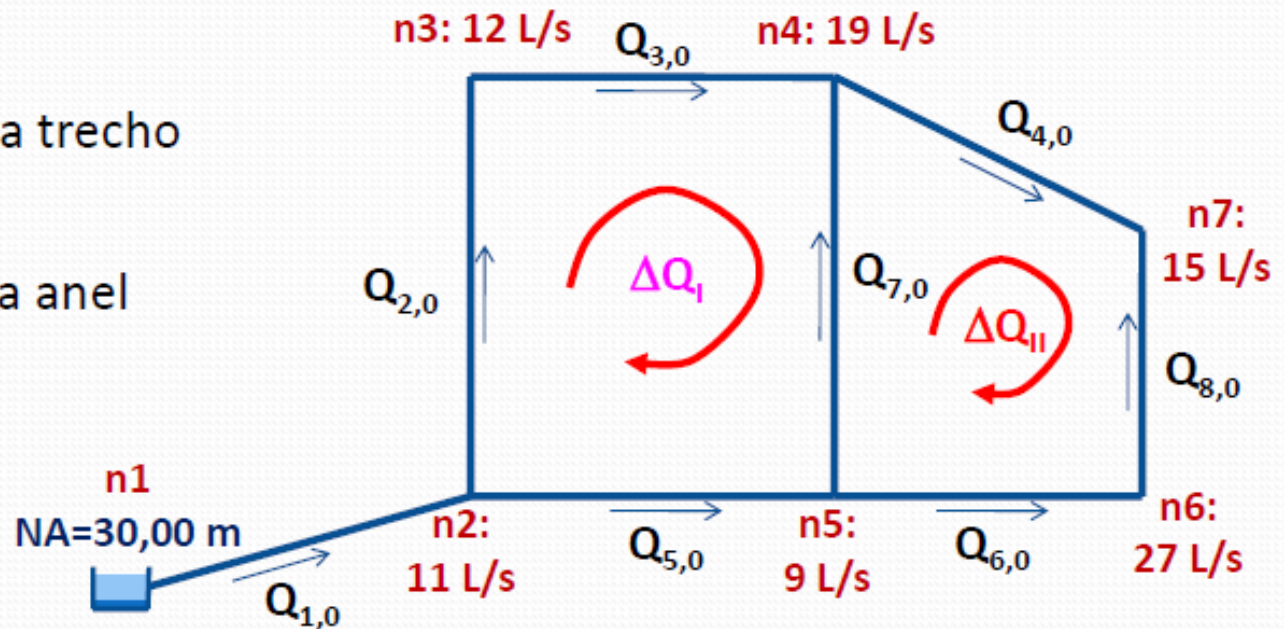
aqui em $\Delta H(Q_{...})$ leia-se ΔH calculada em função da vazão ($Q_{...}$)

solução inicial:

$Q_{i,0}$ em cada trecho

correções:

ΔQ em cada anel



Método Orientado aos Anéis

- Para a norma NBR 12218/1994 da ABNT, o dimensionamento das redes em malha deve ser realizado por métodos de cálculo iterativos, que garantem **resíduos máximos de vazão de 0,1 l/s.**

Método de Hardy-Cross

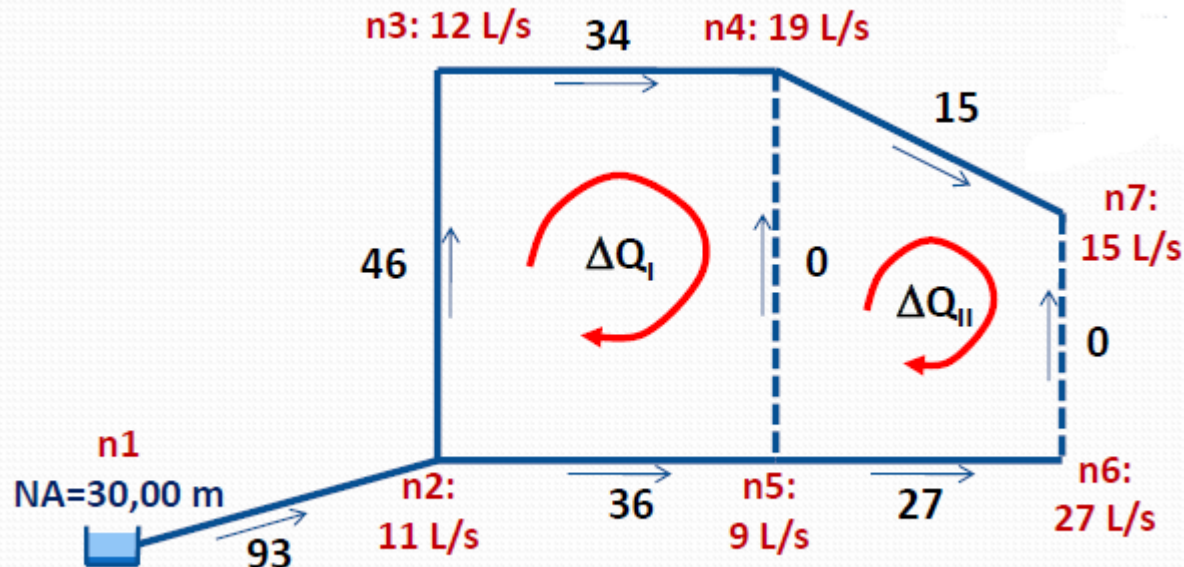
- No método de Hardy-Cross (1936) a compensação das vazões é feita anel por anel (existe uma modalidade orientada à correção das cargas) iterativamente:

$$\Delta Q = - \frac{\sum \Delta H}{b \sum \frac{\Delta H}{Q}} \quad \Delta H = r \cdot Q^b$$

- Observações e hipótese:
 - a perda de carga em cada trecho é na forma $\Delta H = r \cdot Q^b$
 - ΔQ é pequeno comparado a vazão Q em cada trecho do anel
 - a aproximação da correção resulta da expansão de ΔH em série (binômio de Newton) e de desconsiderar o terceiro termo em diante.

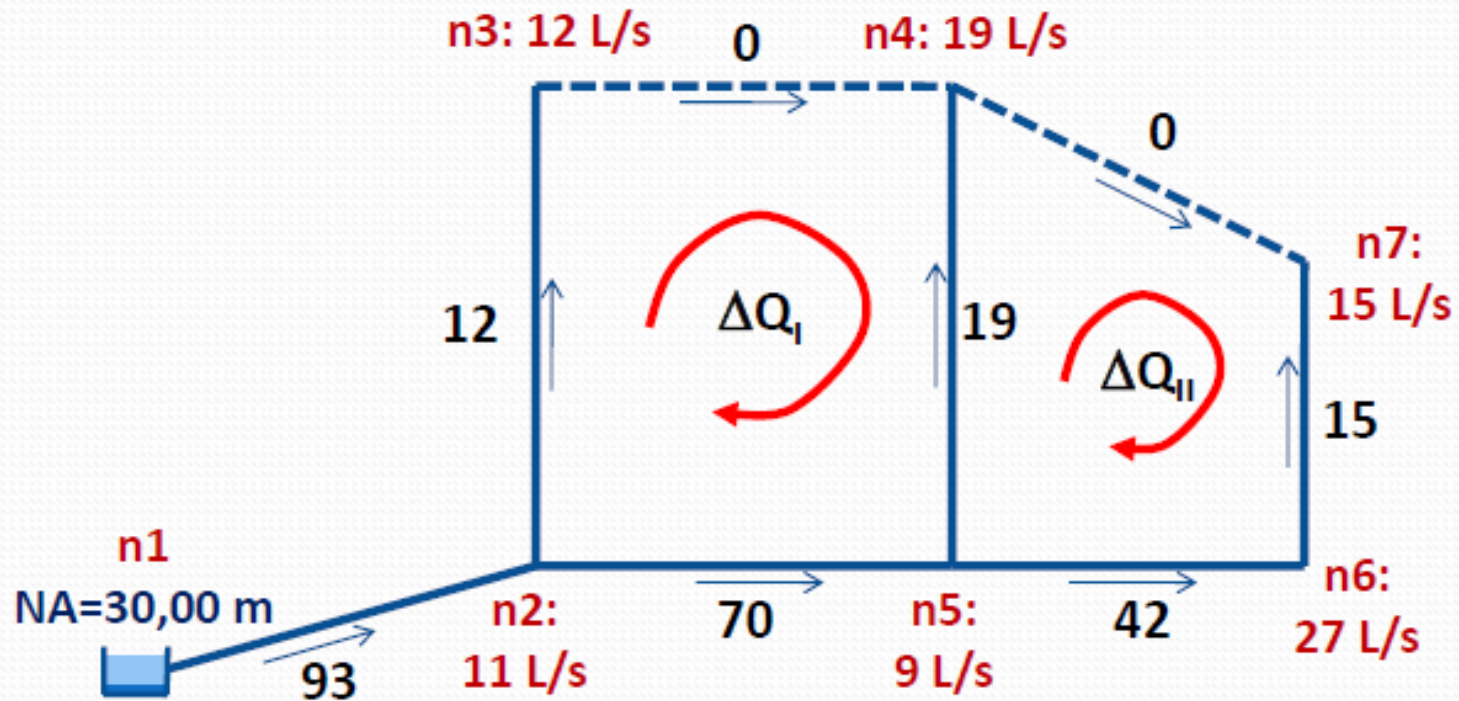
Método de Hardy-Cross

- Quanto melhor a solução inicial de distribuição de vazões, mais rápida é a convergência... **Como fazer?**
- podemos excluir um trecho em cada anel ($Q = 0$) calculando as vazões como em uma rede ramificada:



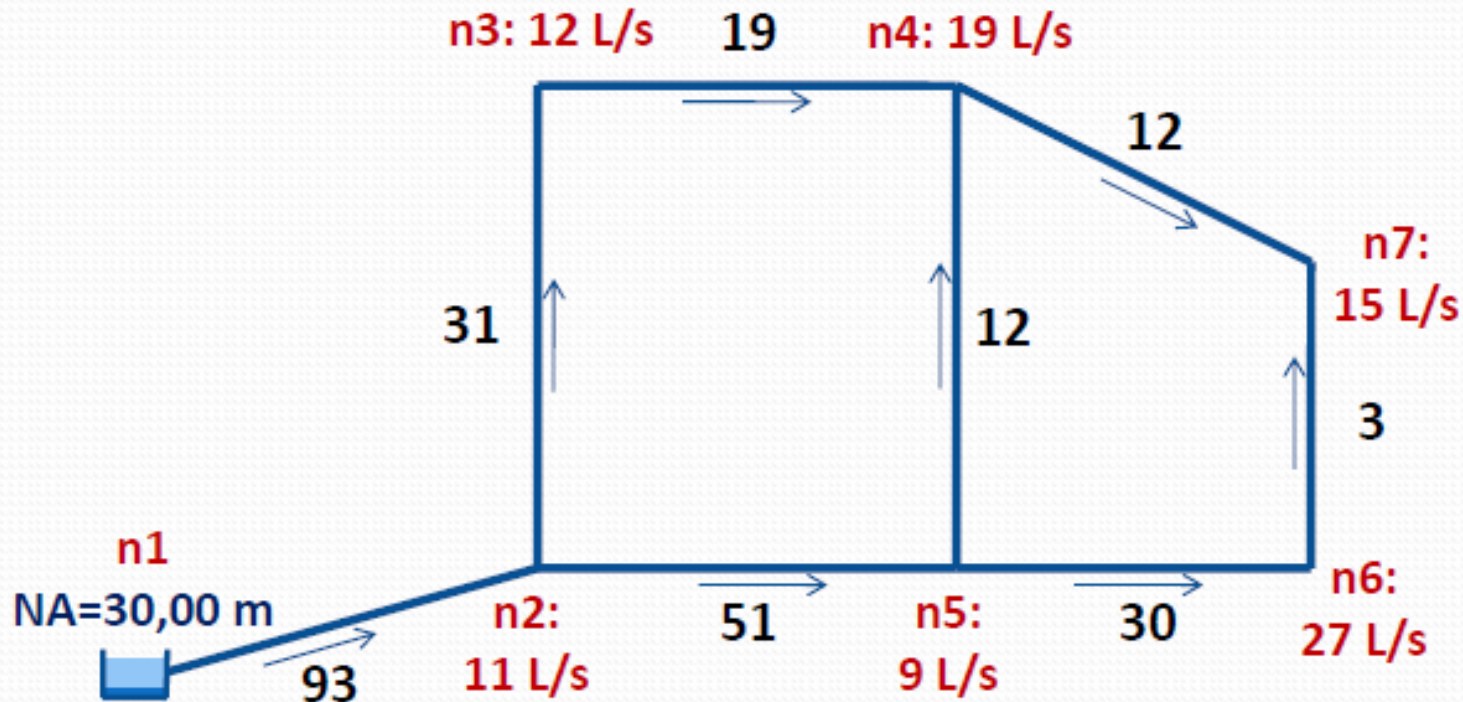
Método de Hardy-Cross

- Outro exemplo, excluindo diferentes trechos em cada anel ($Q = 0$) e calculando as vazões como em uma rede ramificada:



Método de Hardy-Cross

- Solução final, após as correções das vazões na rede:



$\Delta H_{I,J}(Q_{I,J})$

- A diferença de carga entre os nós inicial (I) e final (J) de um trecho deve considerar também a presença de outros equipamentos:

- perdas distribuídas

- perdas localizadas

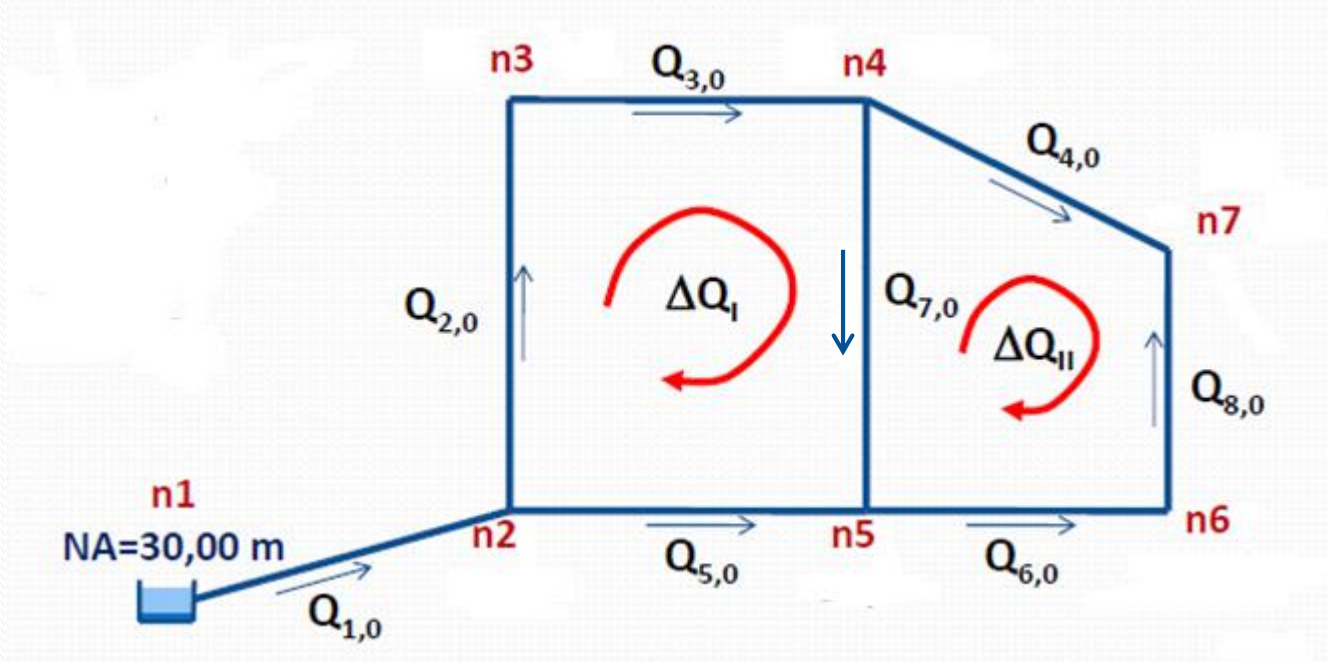
- bombas centrífugas

- válvulas redutoras de pressão

- etc

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Considerando a rede principal de abastecimento de água apresentada na figura e os dados na tabela, faça o dimensionamento da rede, determinando os diâmetros e as pressões.



EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Solução:

1) Delimitação da área atendida.

Pela Figura a área já está delimitada.

2) Estudo demográfico da área.

Dado fornecido.

3) Estudo da localização do reservatório, setorização e zoneamento piezométrico.

A posição do reservatório foi fornecida. Pode-se considerar um único setor de distribuição e uma única zona piezométrica.

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Solução:

4) Traçado da rede principal.

Os dois anéis estão representados na figura fornecida.

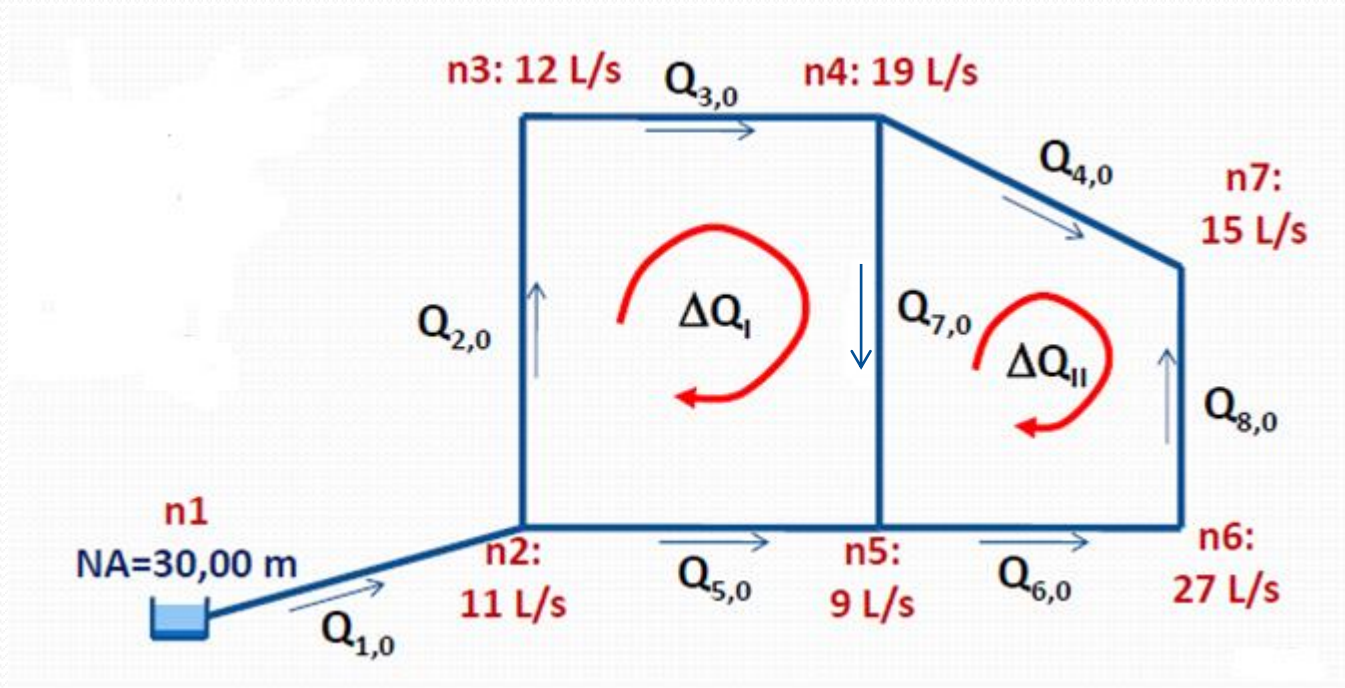
5) Localização de nós.

Estão apresentados na planta, obedecendo-se os critérios de 600 m, no máximo, de distância entre os nós. Assim, resultam nos números de 1 a 7.

6) Determinação das áreas de influências dos nós.

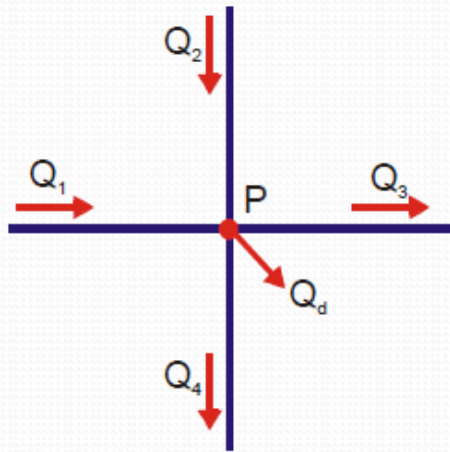
Os valores das áreas de influência estão tabelados.

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

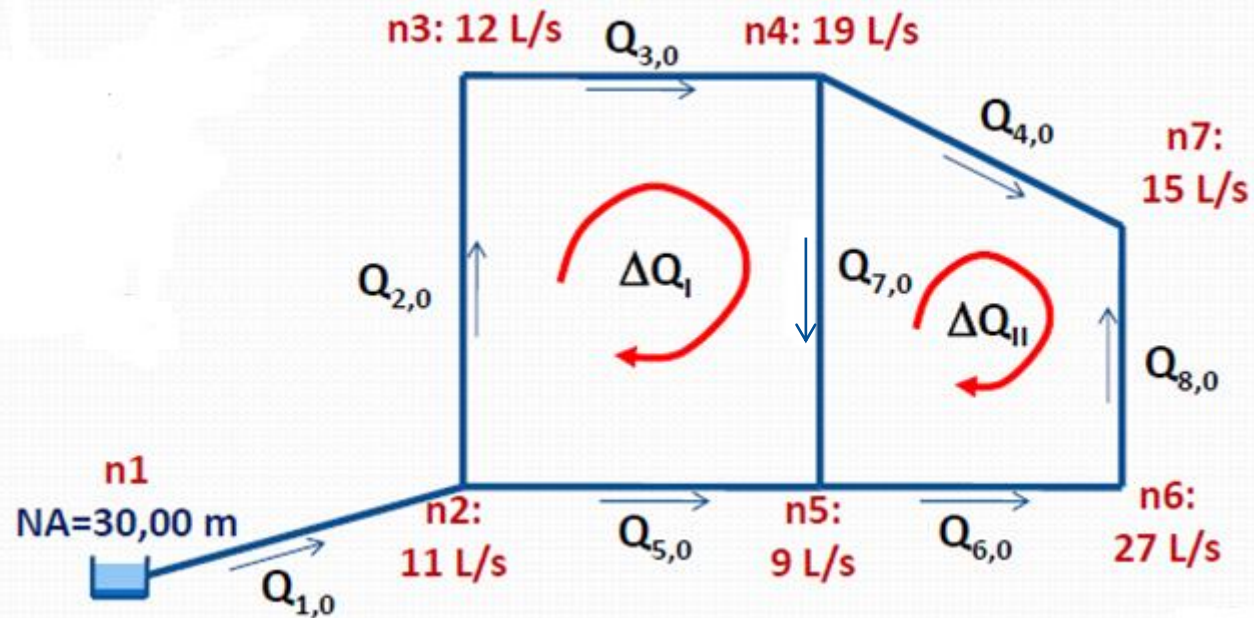


EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Condições a serem atendidas:



$$\sum Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_d$$



$$\begin{cases} \text{anel I: } \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_7 - \Delta H_5 = 0 \\ \text{anel II: } -\Delta H_7 + \Delta H_4 - \Delta H_8 - \Delta H_6 = 0 \end{cases}$$

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Cálculo do diâmetro:

Tabela 9.1 - Velocidades máximas em função do diâmetro.

D (mm)	V_{máx} (m/s)	Q_{máx} (l/s)
50	0,50	1,0
75	0,50	2,2
100	0,60	4,7
150	0,80	14,1
200	0,90	28,3
250	1,10	53,9
300	1,20	84,8
350	1,30	125,0
400	1,40	176,0
450	1,50	238,0
500	1,60	314,0
550	1,70	403,0
600	1,80	509,0

Fonte: Martins (1976).

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Tabela de dimensionamento:

Anel	Trecho	L (m)	D (mm)	Solução inicial				Iteração 1			
				Q0 (l/s)	ΔH_0 (m)	$\Delta H/Q$	ΔQ_0	Q1 (l/s)	ΔH_1 (m)	$\Delta H/Q$	ΔQ_1
I	1 - 2	400	350	93	1,44	0,0155		93	1,44	0,0155	
	2 - 3	500	250	41	2,03	0,0496	-2,2	38,8	1,84	0,0473	-0,7
	3 - 4	500	250	29	1,07	0,0369	-2,2	26,8	0,92	0,0345	-0,7
	5 - 2	500	250	-41	-2,03	0,0496	-2,2	-43,2	-2,24	0,0519	-0,7
	4 - 5	500	100	3	1,39	0,4635	-3,9	-0,9	-0,15	0,1676	-0,5
					$\Sigma =$	2,46	0,60			0,36	0,30
					$\Delta Q =$	-2,2				-0,7	
II	4 - 7	550	150	7	1,02	0,1457	1,7	8,7	1,52	0,1752	-0,1
	6 - 5	400	250	-35	-1,21	0,0347	1,7	-33,3	-1,11	0,0333	-0,1
	5 - 4	500	100	-3	-1,39	0,4635	3,9	0,9	0,15	0,1676	0,5
	7 - 6	300	150	-8	-0,71	0,0890	1,7	-6,3	-0,46	0,0727	-0,1
					$\Sigma =$	-2,30	0,73			0,11	0,45
					$\Delta Q =$	1,7				-0,1	

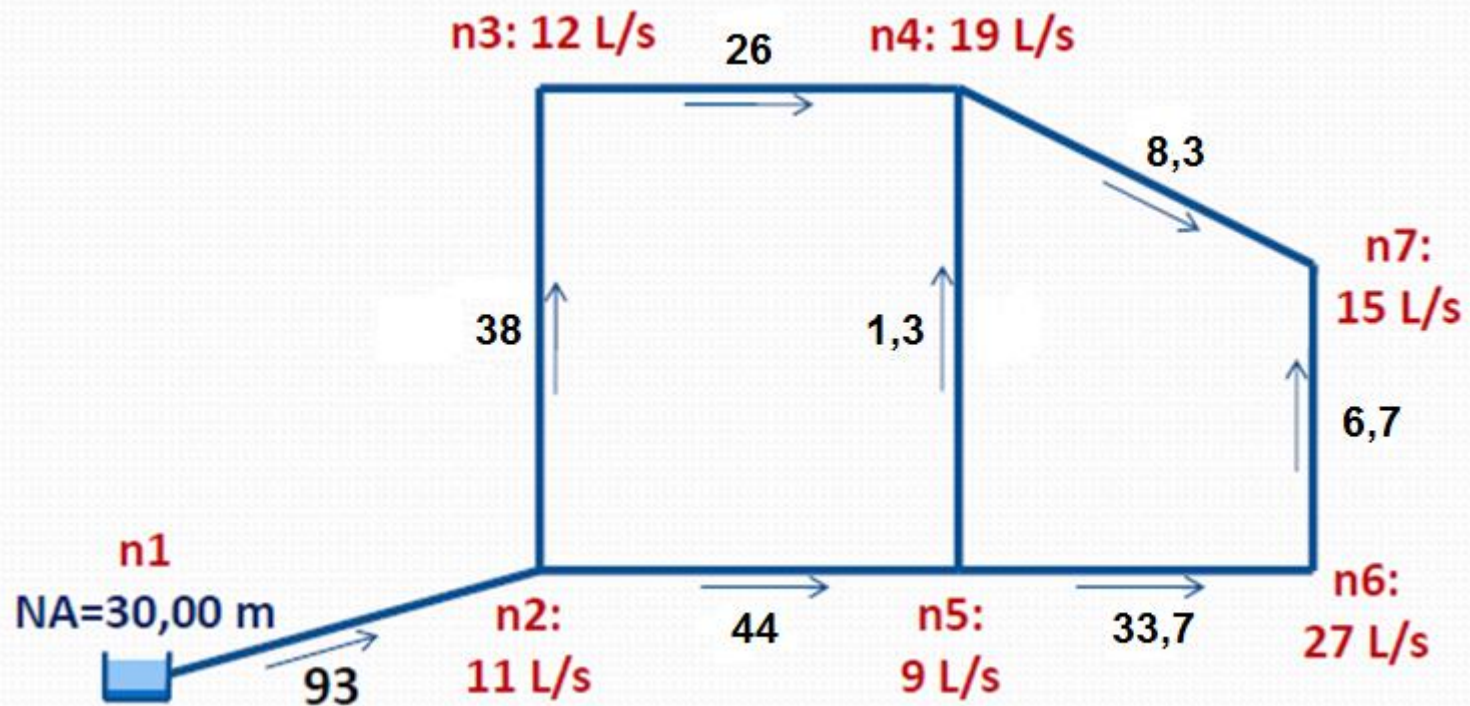
EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Tabela de dimensionamento:

Iteração 2				Iteração 3				Iteração 4		
Q2(l/s)	ΔH_2 (m)	$\Delta H/Q$	ΔQ_2	Q3(l/s)	ΔH_3 (m)	$\Delta H/Q$	ΔQ_3	Q4(l/s)	ΔH_4 (m)	$\Delta H/Q$
93	1,44	0,0155		93	1,44	0,0155		93,0	1,44	0,0155
38,1	1,78	0,04664	0,0	38,1	1,78	0,0466	-0,2	38,0	1,76	0,0465
26,1	0,88	0,0338	0,0	26,1	0,88	0,0338	-0,2	26,0	0,87	0,0336
-43,9	-2,31	0,05256	0,0	-43,9	-2,31	0,0526	-0,2	-44,0	-2,32	0,0527
-1,4	-0,35	0,24679	0,2	-1,2	-0,25	0,2104	-0,2	-1,3	-0,31	0,2335
	0,00	0,38			0,11	0,34			0,00	0,37
		0,0				-0,2				0,0
8,6	1,48	0,17292	-0,2	8,3	1,40	0,1687	0,0	8,3	1,40	0,1685
-33,4	-1,12	0,03336	-0,2	-33,7	-1,13	0,0336	0,0	-33,7	-1,13	0,0336
1,4	0,35	0,24679	-0,2	1,2	0,25	0,2104	0,2	1,3	0,31	0,2335
-6,4	-0,48	0,07399	-0,2	-6,7	-0,51	0,0764	0,0	-6,7	-0,51	0,0765
	0,24	0,53			0,01	0,49			0,07	0,51
		-0,2				0,0				-0,1

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO

Resultado após 4 iterações:



REFERÊNCIAS

ALEN SOBRINHO, P.; CONTRERA, R.C. **Redes de Distribuição de Água (2/2)**. Apresentação da disciplina Saneamento II. São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Acesso em: 09/11/2013.