



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPG-UFPE

## **SOFTWARE DIDÁTICO DE HIDRÁULICA PARA DOCENTES E ALUNOS: O PROBLEMA DOS TRÊS RESERVATÓRIOS**

**André Luiz de Lima Reda** – [allreda@uol.com.br](mailto:allreda@uol.com.br)

Engenharia Civil, UNILINS - Centro Universitário de Lins

Rua Nicolau Zarvos, 1925

CEP 16401-301 – Lins – SP

***Resumo:** O objetivo didático do trabalho foi, em primeiro lugar, despertar no graduando o desejo de estudar um problema hidráulico específico de condutos sob pressão (ou condutos forçados) incentivado pela praticidade de simular diferentes situações com o auxílio de software que já lhe produz referências para conferir os resultados de seu trabalho. Em segundo lugar, a ferramenta apresentada oferece ao docente uma forma rápida e segura de preparar exercícios resolvidos, incluindo um gabarito que resulta automaticamente redigido em linguagem discursiva. O assunto em foco é o “problema dos três reservatórios”, em seus quatro casos tradicionalmente estudados nos cursos de Hidráulica. O resultado prático foi um sensível aumento no interesse e na dedicação do educando em “encarar” o desafio de resolver vários casos do problema manualmente, pois ele mesmo prepara seus “gabaritos” e passa a tentar alcançar os resultados mostrados. Foi aplicado na quarta série do curso de engenharia civil da Instituição e agilizou sensivelmente o aprendizado.*

***Palavras-chave:** Problema do três reservatórios. Condutos forçados. Hidráulica. Ensino da hidráulica. Software educacional de engenharia.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Na realidade atual do ensino e do aprendizado, o tempo disponível para as atividades escolares de estudantes e docentes parece cada vez mais curto. Torna-se necessário, portanto, empregar todas as ferramentas disponíveis, notadamente a informática, para agilizar as atividades de estudo e treinamento na solução de problemas práticos que fixem os conceitos teóricos aprendidos – antes que os mesmos “escapem” ao educando sem terem tido a chance de ser praticados num período ideal após o primeiro contato intelectual.

No campo da Hidráulica de Condutos Forçados (ou sob pressão), o clássico “problema dos três reservatórios” (GHETTI, 1995; LENCASTRE, 1996; PORTO, 1999; AZEVEDO NETTO *et al.*, 2003) é um típico caso de sistema de reservatórios interligados (dentro de um problema mais geral, que pode configurar-se ainda mais complexo, com mais reservatórios envolvidos – ver ALFONSI E ORSI, 1984). Requer tempo considerável para a preparação de exemplos e suas soluções (“gabaritos”).

Admitindo que seria de grande utilidade dispor de uma ferramenta prática para que o docente possa rapidamente preparar exemplos de tal problema, já resolvidos para aplicação, foi idealizado este programa num ambiente “Excel” – software comercial amplamente conhecido, da Microsoft Corporation (MICROSOFT, 1997). Também o educando mais interessado poderá preparar infindáveis exemplos resolvidos pelo computador, para que,

depois, possa praticar a solução manual (geralmente mais interessante sob o ponto de vista didático) e preparar-se para as avaliações, mais de imediato – e para o exercício da profissão, no longo prazo.

Um desafio que se colocou ao autor foi: como apresentar ao educando um software que ao mesmo tempo fosse prático o suficiente para estimulá-lo ao estudo e não o afastasse do contato direto com as fórmulas e conceitos necessários para o aprendizado construtivo?

Acredita-se que a presente proposta atinja ambos os objetivos e, ao mesmo tempo, forneça ao docente atarefado uma ferramenta rápida para a preparação de exemplos numéricos variados para uso didático – evitando, assim, o dispêndio de longas horas na sua preparação.

## 2. ASPECTOS CONCEITUAIS

### 2.1 Considerações gerais

O esquema da Figura 1 mostra três reservatórios, R1, R2 e R3, interligados por tubos, cada um partindo de um deles e todos atingindo um mesmo ponto A. Cada reservatório tem carga piezométrica mantida fixa. Se ele for aberto superiormente, esta será o próprio nível d'água, NA (conforme o tratamento dado aqui); porém se for pressurizado, pode-se considerar, no lugar do NA, a soma deste com a carga de pressão adicionada (ou seja, a pressão no ambiente acima do NA dividida pelo peso específico da água).

Cada um dos três tubos de ligação dos reservatórios ao ponto A tem seu comprimento, L, diâmetro constante, D, e coeficiente de condutividade hidráulica da fórmula de Hazen-Williams que dependem de sua rugosidade interna, denominado C (vide Figura 2).

A fórmula prática de Hazen-Williams, tradicional para a solução de problemas reais em situação de vazões máximas de projeto (em que o regime hidráulico costuma ser turbulento hidraulicamente rugoso), é de uso simples e ideal para permitir o desenvolvimento do raciocínio hidráulico no educando que está ainda se familiarizando com a estrutura lógica de solução destes problemas de reservatórios.

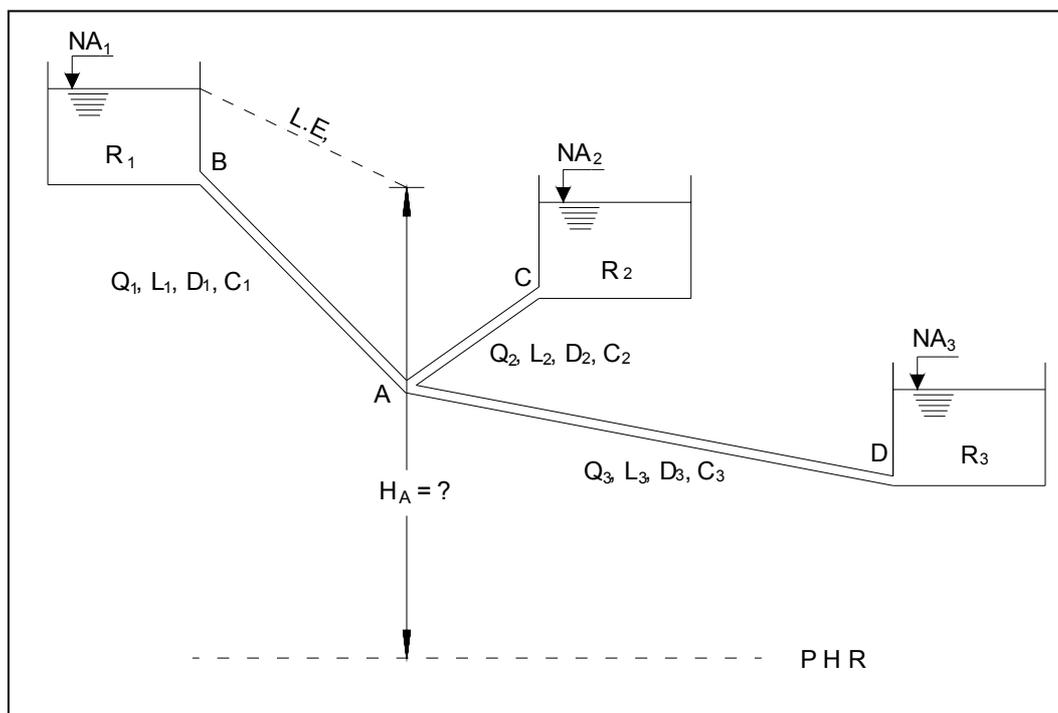


Figura 1 – Esquema geral do problema dos três reservatórios

Na prática da engenharia, cada um desses quatro tipos se refere a uma situação real diferente, que varia desde determinar as características hidráulicas de escoamento num sistema já construído (seja novo, sendo ainda proposto, ou em estado de uso) até projetar um novo sistema (isto é, determinando comprimentos ou diâmetros de tubos, seus materiais ou revestimentos). Cada solução prática deve, portanto, ser aplicada com critério.

Em disciplinas do curso posteriores à Hidráulica, tais como Instalações Industriais ou Saneamento Básico (abastecimento de água), tais dificuldades devem ser propostas, acompanhadas de orientação sobre as soluções adequadas caso a caso. Nessa fase, problemas tais como a existência de uma gama limitada de diâmetros industriais disponíveis – quase nunca coincidentes com aqueles diâmetros “quebrados” obtidos na solução do problema hidráulico – devem ser encarados e superados nos exercícios.

Cada uma das quatro seções a seguir descreve um dos quatro tipos tradicionalmente estudados do problema dos três reservatórios.

## **2.2 Problemas do Tipo 1**

Nos problemas do “Tipo 1”, conhece-se  $D_1$  e  $D_2$ ,  $L$  e  $C$  para todos os trechos, as cargas hidráulicas dos três reservatórios e a vazão  $Q_1$ , no primeiro trecho.

Portanto, deve-se determinar a carga  $H_A$  (valor intermediário necessário para o cálculo das outras incógnitas), as perdas de carga distribuídas nos três trechos e as vazões nos trechos 2 e 3. O diâmetro  $D_3$  também precisa ser determinado. Quanto a  $Q_2$ , deve-se ainda descobrir o sentido do escoamento, a princípio desconhecido.

Quanto à posição relativa vertical dos três reservatórios, sabe-se de antemão apenas que  $R_1$  tem  $N_A$  mais alto que o de  $R_3$ .

Todas estas informações estão organizadas na metade superior da Figura 2.

## **2.3 Problemas do Tipo 2**

Nos problemas do “Tipo 2”, também se conhece vazão apenas no trecho 1. São dados  $L$ ,  $D$  e  $C$  para os três trechos.

Portanto, deve-se determinar as vazões nos trechos 2 (esta, incluindo o sinal de escoamento) e 3, a carga hidráulica  $H_A$  e as três perdas de carga distribuídas, nos trechos.

Todas estas informações estão organizadas na metade superior da Figura 3.

## **2.4 Problemas do Tipo 3**

Nos problemas do “Tipo 3”, conhecem-se todas as características geométricas e cargas piezométricas ( $L$ ,  $D$  e  $N_A$ ) nos três trechos e reservatórios, bem como aos coeficientes  $C$  dos três trechos.

É necessário, portanto, calcular a carga hidráulica no ponto A ( $H_A$ ), as vazões nos três trechos (sendo que no trecho 2 o sentido de escoamento é também incógnito) e as três perdas de carga distribuídas.

Todas estas informações estão organizadas na metade superior da Figura 4.

## **2.5 Problemas do Tipo 4**

Nos problemas do “Tipo 4”, são conhecidos todos os comprimentos dos trechos, as três vazões desejadas (obviamente, incluindo os sentidos de escoamento nos três tubos), os  $N_{NA}$  dos três reservatórios e os três coeficientes  $C$ . Como se resolveu aqui admitir, na solução de projeto (simplificada, apenas para efeito didático), envolver um fator de custo para

o tipo de cada tubo (representando quanto mais ou menos aquele tipo de tubo carrega o custo total), deve-se considerar que este também é um dado de entrada em cada tentativa de concepção do sistema, numa situação real. No exemplo aqui mostrado, considera-se o mesmo fator para todos os trechos (por exemplo, os tubos seriam todos do mesmo material).

Portanto, resta determinar a carga hidráulica  $H_A$  e efetuar a escolha dos diâmetros  $D$  de cada trecho – situação realista quando se trata de projeto de sistemas hidráulicos, onde custos são mesmo um fator principal de decisão.

Todas estas informações estão organizadas na metade superior da Figura 4.

### 3. METODOLOGIA

Todos os raciocínios e cálculos envolvidos na solução dos quatro tipos de problemas foram incorporados a uma planilha de cálculo desenvolvida com o programa “Microsoft Excel”, da Microsoft Corporation (....., .....).

Na parte superior da planilha, vêm o enunciado discursivo e um esquema em vista lateral planificada, sem escala, altimetricamente referido a um “plano horizontal de referência” (PHR). Este mostra os reservatórios, trechos de tubos e pontos de interligação do sistema.

Logo abaixo, uma tabela inicial com todas as características do sistema hidráulico reporta os dados do problema, no Sistema Internacional de Unidades (sendo estas explícitas no cabeçalho). Os valores ainda desconhecidos (resultados a serem encontrados) e, eventualmente, alguma característica de projeto cujo valor deva ser tentativamente admitido pelo projetista (e, depois, confirmado ou melhorado ao longo das tentativas) também têm local para constar na tabela; porém, nesta versão (tabela de “Dados”), estão ainda representados pelo sinal “?”. Na sua versão de “Dados”.

Todo o raciocínio desenvolvido para cada tipo de problema, em linguagem discursiva contendo idéias, premissas, conclusões, comparações de valores (tais como para reconhecer sentido de escoamento e tomar de decisão) e tabela completa com os resultados numéricos finais é organizado numa respectiva tela de computador, que pode ser transformada numa figura em página única – como se vê no capítulo “Resultados”, que segue.

### 4. RESULTADOS

Quatro planilhas de cálculo diferentes são finalmente apresentadas, uma para cada tipo de problema. Mostram os dados e servem como roteiros-modelo de solução, com os resultados apresentados ao final de cada raciocínio, cálculo ou conclusão.

Na parte inferior de cada planilha, uma versão completa da tabela, agora com todos os valores constando (isto é, dados e resultados), é automaticamente preenchida pelo programa, fornecendo, portanto, um “gabarito” com a solução do problema.

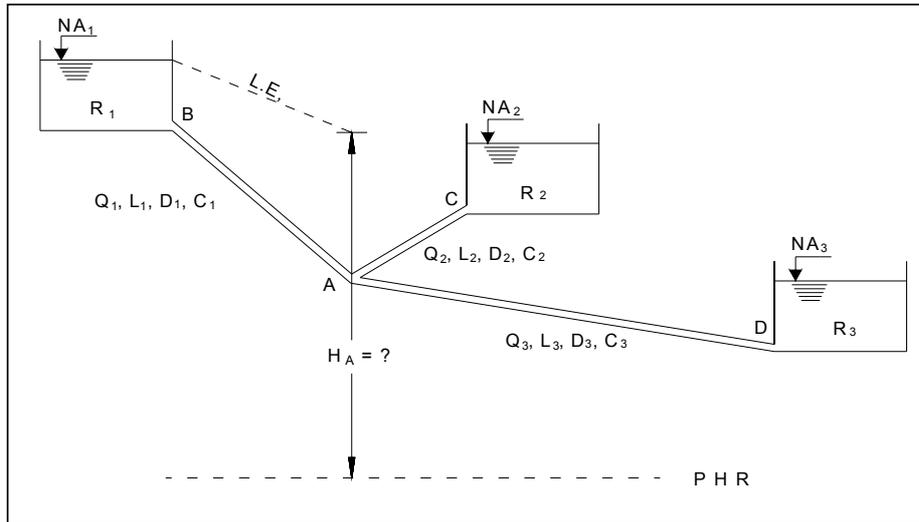
Cabe ao estudante, conforme o caso, efetuar estimativas de valores, comparar resultados e tomar as decisões necessárias (em alguns dos casos, fazendo tentativas, iterativamente) para atingir a solução. O texto é didático, guiando-o ao longo da solução.

Cada uma das quatro figuras que seguem mostra a imagem de tela da planilha do respectivo tipo de problema, sendo que pode ser impressa como aparece nesta publicação – diretamente do programa de planilha de cálculo. São assim organizadas:

- a) Figura 2: Problema do tipo 1
- b) Figura 3: Problema do tipo 2
- c) Figura 4: Problema do tipo 3
- d) Figura 5: Problema do tipo 4

Ex: Dado um sistema de três reservatórios (ilustrado abaixo), sabendo-se a sua vazão no trecho 1, determine as vazões que passam nos trechos 2 e 3 da tubulação. Conhecem-se os níveis d'água nos reservatórios 1 e 2 ( $NA_1$  e  $NA_2$ ), fornecidos na tabela, bem como todas as características geométricas e a rugosidade dos tubos (vide tabela com comprimentos,  $L$ ; Diâmetros,  $D$ ; e coeficientes de condutividade hidráulica  $C$  para a fórmula de Hazen Williams).

Determinar também o diâmetro da tubulação A-D (trecho 3, para o Reservat.3).



Dados :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	1.200,00	300	90	0,04019	?	?	30,00
2	900,00	200	120	?	?	?	24,00
3	1.500,00	?	125	?	?	?	15,00

$$NA_1 - NA_2 = 6,00 \text{ m}$$

$$\Delta H_1 = 2,8506 \text{ m}$$

(usando a fórmula de H. Williams)

$$\text{como } NA_1 - NA_2 > \Delta H_1,$$

logo,  $R_2$  é **abastecido**

$$\Delta H_1 = NA_1 - H_A, \text{ logo } H_A = 27,15 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = H_A - NA_2, \text{ logo:}$$

$$\Delta H_2 = 3,15 \text{ m} \quad Q_2 = 0,02272 \text{ m}^3/\text{s}$$

(usando a fórmula de H. Williams)

$$\Delta H = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

( Hazen Williams, fórmula utilizada )

Como  $Q_1 > Q_2$ ,  $R_3$  é **abastecido**

$$Q_3 = 0,01747 \text{ m}^3/\text{s}$$

(a partir do conhecimento das outras duas vazões)

$$\Delta H_3 = 12,15 \text{ m}$$

(a partir do conhecimento de  $NA_3$  e  $H_A$ )

$$D_3 = 149,99 \text{ mm}$$

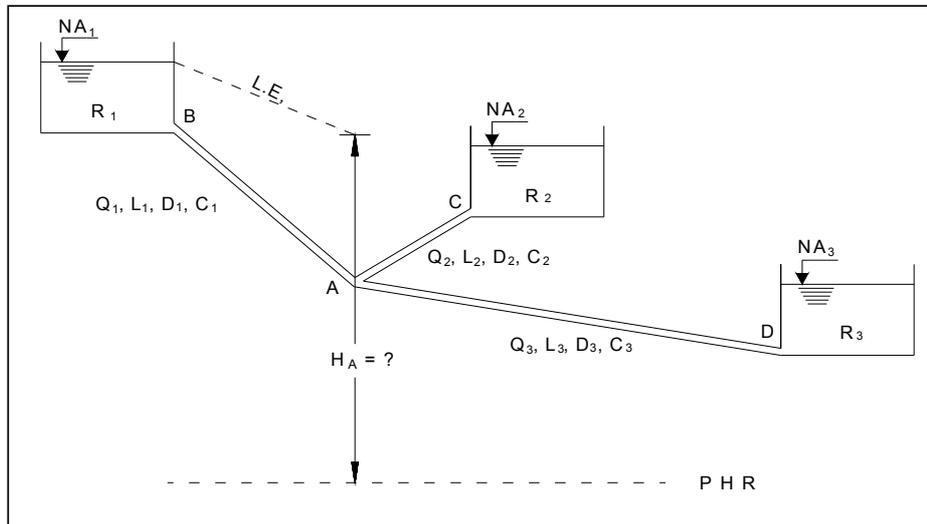
(usando a fórmula de H. Williams)

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	1.200,00	300	90	0,04019	27,15	2,85	30,00
2	900,00	200	120	0,02272	27,15	3,15	24,00
3	1.500,00	150	125	0,01747	27,15	12,15	15,00

Figura 2 – Esquema geral do problema do tipo 1

Ex: Dado um sistema de três reservatórios (ilustrado abaixo), sabendo-se a sua vazão no trecho 1, determine as vazões que passam nos trechos 2 e 3 da tubulação. Conhecem-se os níveis d'água nos reservatórios 1 e 2 ( $NA_1$  e  $NA_2$ ), fornecidos na tabela, bem como todas as características geométricas e a rugosidade dos tubos (vide tabela com comprimentos,  $L$ ; Diâmetros,  $D$ , e coeficientes de condutividade  $C$  para a fórmula de Hazen-Williams).

Determinar também o nível d'água resultante no reservatório 3.



Dados :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	500,00	250	100	0,05000	?	?	30,00
2	400,00	200	110	?	?	?	25,00
3	450,00	150	110	?	?	?	?

$NA_1 - NA_2 = 5,00 \text{ m}$

$\Delta H_1 = 3,5576 \text{ m}$   
(usando a fórmula de H. Williams)

como  $NA_1 - NA_2 > \Delta H_1$ ,

logo, R<sub>2</sub> é **abastecido**

$\Delta H_1 = NA_1 - H_A$ , logo,  $H_A = 26,44 \text{ m}$   
Sabendo-se os valores de  $H_A$  e  $NA_2$ , calcula-se  $\Delta H_2$

$\Delta H_2 = 1,44 \text{ m}$        $Q_2 = 0,02117 \text{ m}^3/\text{s}$   
(usando a fórmula de H. Williams)

Como  $Q_1 > Q_2$ , R<sub>3</sub> é **abastecido**

$$\Delta H = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

(Hazen-Williams, fórmula utilizada)

$Q_3 = 0,02883 \text{ m}^3/\text{s}$   
(a partir do conhecimento de  $Q_2$  e  $Q_3$ )

$\Delta H_3 = 11,66 \text{ m}$   
(usando a fórmula de H. Williams)

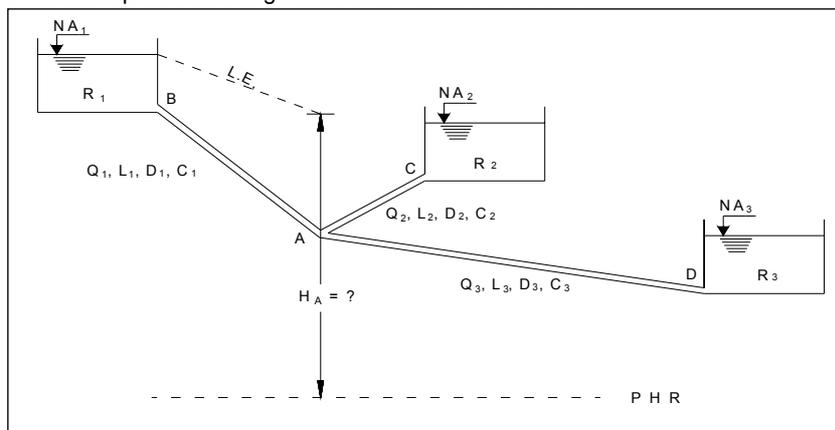
$NA_3 = 14,78 \text{ mm}$  (encontrado com base nos valores  $H_A$  e  $\Delta H_2$ )

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	500,00	250	100	0,05000	26,44	3,56	30,00
2	400,00	200	110	0,02117	26,44	1,44	25,00
3	450,00	150	110	0,02883	26,44	11,66	14,78

Figura 3 – Esquema geral do problema do tipo 2

Ex: Dado um sistema de três reservatórios (ilustrado abaixo), tendo-se todos os seus parâmetros geométricos, determine as vazões que passam nos trechos 1, 2 e 3 da tubulação. Conhecem-se os níveis d'água em todos os reservatórios fornecidos na tabela, bem como todas as rugosidades dos tubos (vide tabela com comprimentos, L; Diâmetros, D; e coeficientes de condutividade para a fórmula de Hazen-Williams).

Determinar também as perdas de cargas resultantes em cada trecho.



Dados :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	1.200,00	300	90	?	?	?	30,00
2	900,00	200	120	?	?	?	24,00
3	1.500,00	150	125	?	?	?	15,00

**Determinação do sentido de Q<sub>2</sub>:**

Supondo Q<sub>2</sub> = 0, tem-se Q<sub>1</sub> = Q<sub>3</sub> = Q, donde:

$$\Delta H_1 = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L_1}{C_1^{1,85} \cdot D_1^{4,87}} \quad (1) \quad \text{e} \quad \Delta H_3 = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L_3}{C_3^{1,85} \cdot D_3^{4,87}} \quad (2)$$

Sabe-se também que ΔH<sub>1</sub> + ΔH<sub>3</sub> = NA<sub>1</sub> - NA<sub>3</sub>.

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = 15,00 \quad (3)$$

Aplicando-se as equações (1) e (2) acima na equação (3), encontra-se o valor da incógnita Q, assim:

$$\frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L_1}{C_1^{1,85} \cdot D_1^{4,87}} + \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L_3}{C_3^{1,85} \cdot D_3^{4,87}} = 15,00 \quad (m)$$

$$Q = 0,01907 \quad (m^3/s)$$

Sendo as outras duas incógnitas ΔH<sub>1</sub> e ΔH<sub>3</sub>, com o valor de Q já determinado encontra-se o valor de ΔH<sub>1</sub>. Em seguida, calcula-se a carga H<sub>A</sub>, no nó A, assim: H<sub>A</sub> = NA<sub>1</sub> - ΔH<sub>1</sub>

Como ΔH<sub>1</sub> = 0,7175 (m)

Logo: H<sub>A</sub> = 29,28 (m)

Comparando-se H<sub>A</sub> com NA<sub>2</sub>, descobre-se o sentido de escoamento no trecho 2. Assim:

Como H<sub>A</sub> > NA<sub>2</sub>, logo R<sub>2</sub> é **Abastecido**

**Determinação das vazões e das perdas de carga:** Agora sabendo-se o sentido de Q<sub>2</sub> e tendo-se uma noção do valor aproximado de H<sub>A</sub>, pode-se adotar valores para H<sub>A</sub> até que se obtenha a condição de escoamento necessária, isto é, Q<sub>1</sub> = Q<sub>2</sub> + Q<sub>3</sub>

Valor presentemente admitido para H<sub>A</sub> : **27,15 (m) <-- mudá-lo até satisfazer a condição de continuidade**

Trecho 1  $Q_1 = \left( \frac{C_1^{1,85} \cdot D_1^{4,87} \cdot \Delta H_1}{10,643 \cdot L_1} \right)^{1/1,85}$   $Q_1 = 0,04019 \quad (m^3/s)$

Trecho 2  $Q_2 = \left( \frac{C_2^{1,85} \cdot D_2^{4,87} \cdot \Delta H_2}{10,643 \cdot L_2} \right)^{1/1,85}$   $Q_2 = 0,02272 \quad (m^3/s)$

Trecho 3  $Q_3 = \left( \frac{C_3^{1,85} \cdot D_3^{4,87} \cdot \Delta H_3}{10,643 \cdot L_3} \right)^{1/1,85}$   $Q_3 = 0,01747 \quad (m^3/s)$

$$\Delta H = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot L}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

(Hazen-Williams, fórmula utilizada)

**Condição de Continuidade:**

Q<sub>1</sub> = Q<sub>2</sub> + Q<sub>3</sub> <--deve-se buscá-la até que seja

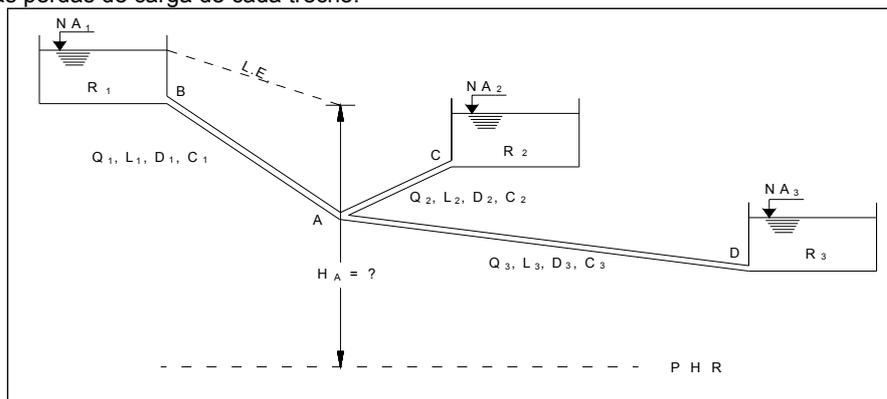
Comparando:  com  **satisfeita, provando diversos H<sub>A</sub>**  
(valores de vazões acima em m³/s)

Resposta :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	Q (m³/s)	H <sub>A</sub> (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	1.200,00	300	90	0,04019	27,15	2,85	30,00
2	900,00	200	120	0,02272	27,15	3,15	24,00
3	1.500,00	150	125	0,01747	27,15	12,15	15,00

Figura 4 – Esquema geral do problema do tipo 3

Ex: Dado um sistema de três reservatórios (ilustrado abaixo), com os seus níveis d'água, comprimentos (L), coeficientes de condutividade para a fórmula de Hazen-Williams e as suas vazões, calcule o diâmetros e as perdas de carga de cada trecho.



Dados :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	K	Q (m³/s)	HA (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	750	?	125	1,0	0,04500	?	?	30,00
2	600	?	110	1,0	0,02500	?	?	25,00
3	400	?	125	1,0	0,02000	?	?	13,00

Nota: K<sub>i</sub> = coefic.de ponderação de custo, p/ cada i-ésimo trecho. Depende tipo de tubo. Aqui se considera tipo único.

Descobrimo a situa-

ção de R<sub>2</sub>: Como Q<sub>1</sub> = Q<sub>2</sub> + Q<sub>3</sub> --> R<sub>2</sub> é Abastecido

Trecho 1

$$\Delta H_1 = NA_1 - H_A \quad \Delta H_1 = 30,00 - H_A \quad (\text{Eq.1.1})$$

$$\Delta H_1 = \frac{10,643 \cdot Q_1^{1,85} \cdot L_1}{C_1^{1,85} \cdot D_1^{4,87}} \quad \Delta H_1 = \frac{0,003398}{D_1^{4,87}} \quad (\text{Eq.1.2}) \quad D_1 = \left( \frac{0,003398}{-H_A + 30,00} \right)^{1/4,87}$$

Trecho 2

$$\Delta H_2 = - NA_2 + H_A \quad \Delta H_2 = - 25,00 + H_A \quad (\text{Eq.2.1})$$

$$\Delta H_2 = \frac{10,643 \cdot Q_2^{1,85} \cdot L_2}{C_2^{1,85} \cdot D_2^{4,87}} \quad \Delta H_2 = \frac{0,001161}{D_2^{4,87}} \quad (\text{Eq.2.2}) \quad D_2 = \left( \frac{0,001161}{-25,00 + H_A} \right)^{1/4,87}$$

Trecho 3

$$\Delta H_3 = - NA_3 + H_A \quad \Delta H_3 = - 13,00 + H_A \quad (\text{Eq.3.1})$$

$$\Delta H_3 = \frac{10,643 \cdot Q_3^{1,85} \cdot L_3}{C_3^{1,85} \cdot D_3^{4,87}} \quad \Delta H_3 = \frac{0,000404}{D_3^{4,87}} \quad (\text{Eq.3.2}) \quad D_3 = \left( \frac{0,000404}{-13,00 + H_A} \right)^{1/4,87}$$

Considerando que há apenas 6 equações, mas 7 incógnitas a determinar (3 diâmetros, 3 perdas de carga e H<sub>A</sub>), deve-se aplicar algum critério prático de projeto, o qual depende muito de situações prática, econômicas e da criatividade do projetista. Aqui, uma relação de mínimo custo das tubulações (Pimenta, 1977) será empregada como a 7ª equação para a resolução.

Valor admitido para H<sub>A</sub>: **27,397** (m)

Relação de mínimo custo:  $\frac{D_1^6}{K_1 \cdot Q_1^2} = \frac{D_2^6}{K_2 \cdot Q_2^2} + \frac{D_3^6}{K_3 \cdot Q_3^2}$

$$\left( \frac{0,003398}{-H_A + 30,00} \right)^{1,23} = \left( \frac{0,001161}{-25,00 + H_A} \right)^{1,23} + \left( \frac{0,000404}{-13,00 + H_A} \right)^{1,23}$$

$$K_1 \cdot Q_1^2 \quad K_2 \cdot Q_2^2 \quad K_3 \cdot Q_3^2$$

lado esquerdo --> **0,1381** = **0,1380** <-- lado direito (ambos os valores no S.I de Unidades)

D <sub>1</sub> = 256 (mm)	<b>comparar os valores acima até conseguir igualdade</b>
D <sub>2</sub> = 209 (mm)	
D <sub>3</sub> = 116 (mm)	

<-- ao ser conseguida, estes diâmetros serão aceitos

Resposta :

Tub.	L (m)	D (mm)	C	K	Q (m³/s)	H <sub>A</sub> (m)	ΔH (m)	NA (m)
1	750	256	125	1,0	0,04500	27,40	2,60	30,00
2	600	209	110	1,0	0,02500	27,40	2,40	25,00
3	400	116	125	1,0	0,02000	27,40	14,40	13,00

Figura 5 – Esquema geral do problema do tipo 4

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software apresentado se demonstrou uma ferramenta útil para a preparação de exercícios resolvidos dos quatro tipos do problema dos três reservatórios.

Como produz rapidamente variantes de um problema original, os acadêmicos se interessam bastante em empregá-lo, tendo assim servido como incentivo ao estudo e agilização do processo de aprendizado.

Como produz ao final da concepção de cada exemplo um enunciado com a solução em linguagem discursiva completa, torna mais prático e rápido o trabalho do docente na preparação de exercícios para aplicação informal ou para exames.

Como estão abertas ao usuário as fórmulas adotadas e todo o processo de cálculo, o efeito didático foi tão completo quanto se a solução fosse feita com o auxílio de calculadora, com o tradicional prática passo-a-passo. De fato, após a preparação de um “gabarito próprio”, o aluno se sente incentivado a “enfrentar” o problema pelo método tradicional, tendo uma meta a atingir: os valores corretos que o programa já lhe produziu.

Finalmente, enfatiza-se a importância de se manter, no ensino e na avaliação quanto a este problema hidráulico específico, aquela fase do aprendizado em que o educando efetua a solução manual, sem consulta a nenhum modelo – com o intuito de garantir e desenvolver sua capacidade iniciativa na solução de problemas. Assim, não se acredita que tenha havido, na experiência didática do autor com seus alunos, qualquer prejuízo à fixação de conceitos ou ao desenvolvimento de tenacidade para se tornar um profissional capaz.

### Agradecimentos

O autor agradece a colaboração do estagiário de engenharia civil Carlos A. Levada na preparação de planilhas e casos variados, bem como a seus alunos da UNILINS que se propuseram a aplicá-la nas diversas etapas de preparação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, G.; ORSI, E. **Problemi di idraulica e meccanica dei fluidi**. Milão: Istituto di Idraulica, Politécnico di Milano. 507p., 1984.

AZEVEDO NETTO, J.M. DE; FERNANDES Y FERNANDES, Z..M.; ARAÚJO, R. DE; ITO, A.E.. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 8.ed., 3.reimpr., 670p., 2003.

GHETTI, A. **Idraulica**. Pádua: Universidade de Pádua, 2.ed., 566p., 1995.

LENCASTRE, A. **Hidráulica geral**. Lisboa: Armando Lencastré, 2.ed, 652p., 1996.

MICROSOFT. **Microsoft – Office 97 Professional**. São Paulo: Microsoft Informática LTDA, Manual em disco compacto, 1997.

PIMENTA, F. C. **Curso de hidráulica geral**. (Vol.1) Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 4.ed., 482p., 1981.

PORTO, R. DE M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC-USP, 2.ed., 540p., 1999.

## EDUCATIONAL SOFTWARE FOR HYDRAULICS TEACHERS AND STUDENTS: THE THREE-RESERVOIR PROBLEM

**André Luiz de Lima Reda** – [allreda@uol.com.br](mailto:allreda@uol.com.br)

Engenharia Civil, UNILINS - Centro Universitário de Lins

Rua Nicolau Zarvos, 1925

CEP 16401-301 – Lins – SP

**Abstract:** *The objective of this work was, first of all, to develop in the engineering student of hydraulics a wish for learning about a traditional problem in the field of pipes under pressure, encouraged by the ease of simulating different situations with the support of a piece of software that produces a safe reference for checking with the final results of his solution attempts. On the second hand, but not of minor importance, this computational tool offers the teacher a fast and secure way to prepare new, solved exercises, including a discursive text with the complete solution as a reference to the interested user – which results at the end of each succeeded effort. The particular issue here is the “three-reservoir problem”, with each of its four cases traditionally studied in engineering courses. The practical result was a considerable increase in student interest and dedication, such as to face better the challenge of solving several cases. With the availability of the solution text outcome from the software, the student feels more inviting to try the solution via more traditional ways and check it against its computer-made answer model. This teaching method was applied in the fourth year of the civil engineering course at the Institution, having considerably accelerated the learning process.*

**Key wordse:** *Three-reservoir problem. Pipes under pressure. Teaching of hydraulics. Educational engineering software.*