

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**RICHARD ARAÚJO PANZERA**

***SOFTWARE DIDÁTICO PARA O ENSINO DE  
MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA***

**OURO BRANCO  
ABRIL-2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**RICHARD ARAÚJO PANZERA**

***SOFTWARE DIDÁTICO PARA O ENSINO DE  
MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil - Ênfase em Estruturas Metálicas da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**ORIENTADOR:** Prof. Me Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

**OURO BRANCO**

**ABRIL 2016**

**RICHARD ARAÚJO PANZERA**

***SOFTWARE DIDÁTICO PARA O ENSINO DE  
MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Me. Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira  
Orientador / UFSJ

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eliane Prado Cunha Costa dos Santos  
Avaliadora / UFSJ

---

Prof. Dr. Jackson de Oliveira Pereira  
Avaliador / UFSJ

Panzer, R. A. **Software didático para o ensino de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Coordenação de Engenharia Civil. Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, MG, 2016

## Resumo

Em razão das dificuldades demonstradas pelos estudantes ao longo das disciplinas Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, observou-se a necessidade de criar uma ferramenta pedagógica para complementar a metodologia adotada. Este trabalho dedica-se ao desenvolvimento de uma interface computacional em *Visual Basic for Application* para a resolução de problemas envolvendo conceitos tais como: linha piezométrica, linha de energia, perda de carga e comportamentos hidráulicos. Apesar do software aparentar um grande potencial didático, ele não exclui a figura do professor como mediador no processo de ensino-aprendizagem. Caso seja bem utilizado, pode ser um excelente método para o auxílio da construção e desenvolvimento das habilidades propostas pelas disciplinas.

**Palavras-chave:** *software*; didática; metodologia; hidráulica.

## *Abstract*

*Considering all the difficulties shown by the students in the discipline Fluid Mechanics and Hydraulics, it was noted the necessity of designing a pedagogical tool to complete the used methodology. This paper is about the development of a computer interface in Visual Basic for Application to solve problems involving hydraulics concepts such as: piezometric line, energy line, head loss and hydraulics behaviors. Although the greatest potential shown by the software, it does not exclude the roll of the professor as a mediator in the teaching and learning process. If well used, the software might be an excellent method to help the building and development of the skills proposed by this discipline.*

**Keywords:** *software; educational; methodology; hydraulic.*

## Sumário

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas e Quadros .....	viii
Lista de Abreviatura e Siglas.....	ix
Lista de Símbolos.....	x
1 Introdução .....	1
2 Objetivos .....	2
2.1 Objetivo geral .....	2
3 Revisão Bibliográfica.....	2
3.1 Tipos e regimes de escoamentos .....	2
3.2 Equação da energia .....	3
3.3 Linha de energia e linha piezométrica.....	4
3.4 Perda de carga.....	5
3.4.1 Comparação entre a fórmula universal e a fórmula de Hazen-Williams ..	7
3.5 Relação entre a perda de carga unitária e declividade da linha piezométrica	9
3.6 Perdas localizadas: expressão geral, alargamento e estreitamento .....	10
3.7 Problema dos 3 Reservatórios.....	12
3.8 Informática como recurso didático .....	13
4 Materiais e métodos.....	14
4.1 Materiais.....	14
4.2 Métodos .....	15
4.2.1 Estrutura do <i>software</i> .....	15
4.2.2 Preparação das interfaces em VBA.....	16
5 Teste de desempenho da interface.....	23
5.1 Análise de desempenho 1 - (AZEVEDO NETTO, <i>et al.</i> , 1998) .....	23
5.1.1 Solução teórica .....	23
5.1.2 Utilização da interface .....	24

5.2	Análise de desempenho 2 - (PORTO, 2006).....	26
5.2.1	Solução teórica.....	27
5.2.2	Utilização da interface.....	27
5.3	Análise de desempenho 3 - (REDA, 2005).....	30
5.3.1	Solução teórica.....	31
5.3.2	Utilização da interface.....	31
5.4	Análise de desempenho 4 - (REDA, 2005).....	33
5.4.1	Solução teórica.....	34
5.4.2	Utilização da interface.....	34
6	Considerações finais.....	37
7	Bibliografia.....	38
	Anexo A.....	40

## Lista de Figuras

Figura 1 - escoamento de um fluido.....	3
Figura 2 - Linha de energia e linha piezométrica em escoamento permanente. ....	4
Figura 3 - Adequabilidade da fórmula de Hazen-Williams.....	8
Figura 4 - Perda de carga unitária e declividade da linha piezométrica. ....	10
Figura 5 - Alargamento brusco .....	11
Figura 6 - Contração brusca.....	11
Figura 7 - Problema dos três reservatórios .....	12
Figura 8 - Estrutura do <i>software</i> . ....	16
Figura 9 - Tela de apresentação do <i>software</i> . ....	17
Figura 10 - Tela principal.....	17
Figura 11 - Tela de interação L.P. e L.E. com tubulação uniforme.....	18
Figura 12 - L.P. e L.E. com variação de diâmetro. ....	1
Figura 13 - Problema dos três reservatórios. ....	20
Figura 14 - Diagrama de Moody.....	21
Figura 15 - Inserção dos dados de entrada da calculadora hidráulica. ....	22
Figura 16 - Calculadora hidráulica.....	23
Figura 17 - Inserção dos dados de entrada.....	24
Figura 18 - Resultados. ....	25
Figura 19 - Fator de atrito para número de Reynolds calculado.....	26
Figura 20 - Exemplo análise 2.....	26
Figura 21 - Dados de entrada.....	28
Figura 22 - Inserção dos dados complementares. ....	29
Figura 23 - Resultado para perdas de carga unitárias iguais. ....	30
Figura 24 - Resultado pressão ponto B.....	30
Figura 25 - Dados de entrada aplicado no <i>software</i> .....	32
Figura 26 – Resultado da análise 3.....	33
Figura 27 - Dados de entrada da análise 4. ....	35
Figura 28 - Resultado análise 4.....	36



## Lista de Tabelas e Quadros

Tabela 1 - Dados de entrada.....	27
Tabela 2 - Complemento dos dados de entrada. ....	28
Quadro 1 - Valores da constante $\beta$ da fórmula de Hazen-Williams.....	7
Quadro 2 - Valores do coeficiente "C".....	9
Quadro 3 - Valores do coeficiente K para reduções bruscas .....	12
Quadro 4 - Dados de entrada análise 3. ....	31
Quadro 5 - Dados de entrada análise 4. ....	34

## **Lista de Abreviatura e Siglas**

UFSJ – Universidade Federal de São João del-Rei.

CAP – *Campus* Alto Paraopeba.

VBA – *Visual Basic for Application*

## Lista de Símbolos

L - comprimento da tubulação, m;

D - Diâmetro do conduto, m;

v - Velocidade média de escoamento, m/s;

g - gravidade, m<sup>2</sup>/s;

f - fator de atrito;

Q - vazão de escoamento, m<sup>3</sup>/s;

C - coeficiente de rugosidade, m<sup>0,367</sup>/s.

p - pressão, Kgf/m<sup>2</sup>;

γ - peso específico, Kgf/m<sup>3</sup>;

Z - altura sobre o plano de referência, m;

ΔH - perda de energia entre as seções em estudo, denominada de perda de carga, m;

α - fator de correção de energia cinética devido às variações da velocidade na seção;

J - perda de carga unitária, m/m;

Δh - perda de carga localizada,

## 1 Introdução

Boa parte dos alunos de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei possuem grande dificuldade perante aos conceitos apresentados pelas disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica. Este fato dificulta o trabalho do professor e resulta, muitas vezes, em retenção dos estudantes nestas cadeiras, o que pode trazer prejuízos tanto para o aluno como para a Instituição de Ensino.

Nos últimos cinquenta anos, presenciou-se a difusão do computador como uma ferramenta complexa que vêm englobando, praticamente, todas as esferas educacionais, principalmente na forma de programas didáticos.

“Estes programas possuem recursos que foram projetados com a intenção e finalidade de serem usados em contextos de ensino-aprendizagem, visto que se aplicam desde a aquisição de conceitos, passando pelo desenvolvimento de habilidades, até a resolução de problemas” (JUCÁ, 2016, p. 27).

Sabe-se também que eles ajudam a estimular e desenvolver o raciocínio lógico e, conseqüentemente, resultam na independência para que os alunos possam fazer estimativas e tirar conclusões a partir dos resultados apresentados.

Diante disso, o objeto principal deste trabalho é auxiliar o ensino das disciplinas Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, do curso de Engenharia Civil do *Campus* Alto Paraopeba (CAP) da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), mediante o desenvolvimento de um *software* didático, o qual busca elucidar, visualmente e interativamente, os conceitos de perda de carga, pressão efetiva, linha piezométrica e linha de energia.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo geral

Elaborar um *software* com base no Microsoft Office Excel habilitado em *Visual Basic for Application* (VBA) para exemplificar os principais conceitos de Hidráulica, buscando, assim, ser mais um agregador de conhecimento para os estudantes das disciplinas Mecânica dos Fluidos e Hidráulicas, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto Paraopeba.

Objetivo específico:

- Exemplificar, de modo interativo, a diferença entre linha piezométrica e linha de energia para tubulação com diâmetro constante e conduto forçado;
- Exemplificar perdas de cargas acidentais para tubulações com diâmetros distintos e conduto forçado;
- Calcular e mostrar graficamente o valor do fator de atrito “*f*” pelo diagrama de Moody;
- Resolver exercícios didáticos, considerando dois métodos de cálculo da perda de carga: fórmula universal e Hazen-Williams.
- Resolver o problema dos 3 reservatórios para os 4 casos possíveis.

## 3 Revisão Bibliográfica

### 3.1 Tipos e regimes de escoamentos

Muito embora haja diversas classificações para os tipos de regime de escoamento, trabalhar-se-á no *software* somente com as: laminar, turbulento, permanente, não permanente e conduto forçado.

Para essas classificações, Porto (2006) define:

- Laminar: as partículas dos fluidos movem-se ao longo de trajetórias bem definidas, em lâminas ou camadas. Neste tipo de escoamento, é preponderante a ação da viscosidade do fluido no sentido de amortecer a tendência de surgimento de turbulência. Em geral, este escoamento ocorre em baixas

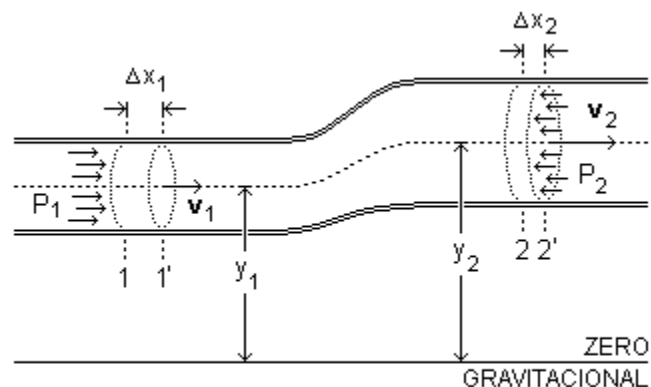
velocidades e/ou fluidos bastante viscosos;

- Turbulento: as partículas movem-se em trajetórias altamente irregulares, devido ao valor da velocidade ter excedido certo valor crítico. Caracterizado por vórtices locais e um grande aumento na resistência do escoamento, situação mais comum nos problemas de Engenharia Hidráulica.
- Permanente: as propriedades e características hidráulicas, em cada ponto do espaço, são invariantes no tempo;
- Não permanente: as propriedades e características hidráulicas, em cada ponto do espaço, são variantes no tempo;
- Forçado: ocorre no interior das tubulações, que tem toda sua seção transversal preenchida, sem contato com o meio externo e com pressão no interior da tubulação diferente da pressão atmosférica.

### 3.2 Equação da energia

Considerar na Figura 1 um fluido com peso específico “ $\gamma$ ” constante em escoamento.

**Figura 1** - Escoamento de um fluido.



Fonte: (PALANDI, *et al.*, 2010, p. 58).

De acordo com Medeiros Filho (2009), a energia presente em um fluido em escoamento pode ser separada em quatro parcelas: energia de pressão, energia cinética, energia de posição e energia térmica. Da conservação de energia, para duas seções transversais em dois pontos distintos, 1-1' e 2-2' do escoamento mostrado na Figura 1, estas parcelas podem ser agrupadas da seguinte forma apresentadas na

Equação 1.

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{T1-2} \quad (1)$$

que é conhecida como teorema de Bernoulli para fluidos reais.

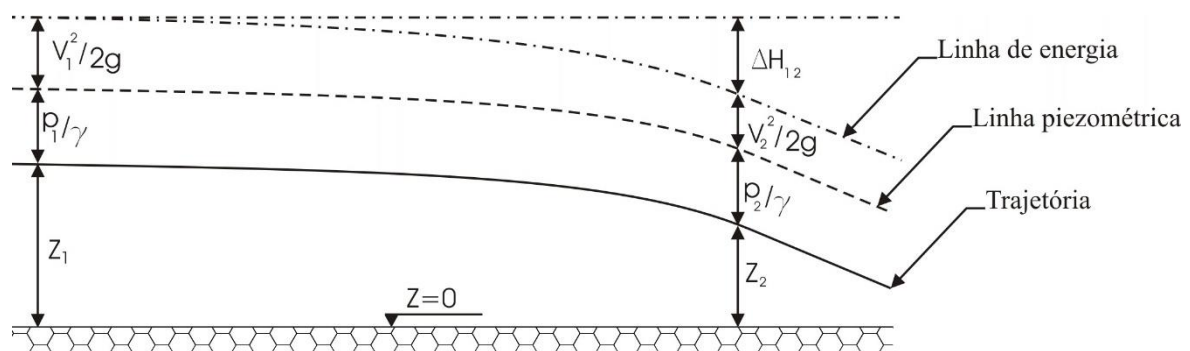
Cada parcela da Equação 1 representa energia por unidade de peso e tem como unidade a unidade de comprimento e, por isso, pode ser interpretada de forma geométrica. Essas parcelas, de acordo com Porto (2006), são denominadas como:

- $p/\gamma$  (m) – energia ou carga de pressão;
- $z$  (m) – carga de posição;
- $v^2/2g$  (m) – energia ou carga cinética;
- $\Delta H_{T1-2}$  (m) – perda de carga ou perda de energia.

### 3.3 Linha de energia e linha piezométrica

“A linha piezométrica representa as alturas a que o líquido subiria em piezômetros instalados ao longo da canalização [...]” (AZEVEDO NETTO, *et al.*, 1998, p. 206). Acima da linha piezométrica está a linha de energia, que é obtida acrescentando o valor da carga cinética ( $v^2/2g$ ) à cota piezométrica ( $z + p/\gamma$ ), conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** - Linha de energia e linha piezométrica em escoamento permanente.



Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 10).

Como exemplificado na Figura 2, fluidos reais em escoamento têm sua energia total

diminuída devido ao trabalho realizado pelas forças resistentes. Essa redução de energia é denominada de perda de carga ( $\Delta H$ ).

Porto (2006) faz algumas observações sobre as linhas de energia e piezométrica:

- A linha piezométrica pode coincidir com a trajetória do fluido, quando o escoamento é livre, devido a escala de pressão ser efetiva, isto é, usa-se como referência a pressão atmosférica.
- Todas as parcelas da Equação 1 devem ser representadas perpendicularmente ao plano horizontal, independente da curvatura da trajetória.
- A pressão disponível é sempre a diferença entre a cota geométrica ( $z$ ) e a cota piezométrica ( $p/\gamma + z$ ).
- A linha de energia desce sempre no sentido do escoamento, a menos que haja introdução de energia externa. A linha piezométrica não necessariamente segue esta propriedade.
- Se, no escoamento forçado em regime permanente, a seção geométrica da tubulação for constante e, conseqüentemente, a carga cinética também, as linhas de energia e piezométrica serão paralelas.

### 3.4 Perda de carga

É a queda de pressão que se dá pelo movimento de um líquido real, com velocidade média " $v$ ", por meio de um conduto circular de diâmetro " $D$ " e comprimento " $L$ ". Essa queda de pressão pode ser trabalhada pelo teorema fundamental da Análise Dimensional (teorema dos  $\Pi$ s), conforme Equação 2.

$$\Delta p = F(\rho, V, D, \mu, L, \varepsilon) \quad (2)$$

Onde " $\rho$ " e " $\mu$ " são propriedades específicas do líquido e " $\varepsilon$ " um relativo ao material do conduto. Aplicando o princípio da homogeneidade dimensional, tem-se:

$$\Pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho v^2} \quad (\text{Número de Euler})$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (\text{Número de Reynolds})$$



$$\Pi_3 = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Rugosidade relativa})$$

$$\Pi_4 = \frac{L}{D}$$

Logo, existe uma função adimensional, com  $L/D$  diretamente proporcional à pressão, na forma apresentada pela Equação 3.

$$\frac{\Delta p}{\rho v^2} = \frac{L}{D} F\left(\frac{\rho v D}{\mu}, \frac{\varepsilon}{D}\right) \quad (3)$$

A função “F” é a função conhecida experimentalmente como fator de atrito da tubulação ( $f$ ). Sabendo também que a variação de pressão é equivalente ao peso específico vezes a variação de profundidade, pode-se reorganizar a Equação 3 da seguinte maneira, como apresentado na Equação 4.

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

A Equação 4 é a fórmula universal de perda de carga ou equação de Darcy-Weisbach. A aplicação do teorema dos  $\Pi$ s, segundo Porto (2006), não fornece a expressão analítica da função adimensional ( $f$ ), essa poderá ser obtida por teoria ou experimentação. Para o escoamento de água, Swamee & Jain (1976) *apud* Porto (2006, p. 46) apresentam a seguinte a Equação 5.

$$f = \left\{ \left( \frac{64}{Rey} \right)^8 + 9,5 \left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right) - \left( \frac{2500}{Rey} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad (5)$$

Devido ao alto grau de complexidade de se obter o fator de atrito ( $f$ ), da equação universal de perda de carga, várias formulações empíricas surgiram para auxiliar nos cálculos da perda de carga. Dentre as mais utilizadas, encontra-se a de Hazen-Williams (Equação 6).

$$\Delta H = \frac{10,65L}{D^{4,87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,85} \quad (6)$$

A fórmula de Hazen-Williams, por ser empírica, possui limitações. Isto é, ela é válida somente para tubulações com diâmetros acima de 50 mm (2"), escoamento turbulento de transição e temperatura da água igual a 20°C, uma vez que não leva em consideração o efeito viscoso (PORTO, 2006).

A praticidade da fórmula de Hazen-Williams está no fato de que seus resultados podem ser tabelados, na forma de perda de carga unitária (Equação 7), como apresentado no Quadro 1.

$$\Delta H/L = J = \beta * Q^{1,85} \quad (7)$$

**Quadro 1** - Valores da constante  $\beta$  da fórmula de Hazen-Williams.

Valores da constante $\beta$ para $Q$ (m <sup>3</sup> /s) e $J$ (m/100m)								
D (pol)	D (mm)	C=90	C=100	C=110	C=120	C=130	C=140	C=150
2	50	5,60x10 <sup>5</sup>	4,61x10 <sup>5</sup>	3,86x10 <sup>5</sup>	3,29x10 <sup>5</sup>	2,84x10 <sup>5</sup>	2,47x10 <sup>5</sup>	2,18x10 <sup>5</sup>
2 ½	60	2,30x10 <sup>5</sup>	1,90x10 <sup>5</sup>	1,59x10 <sup>5</sup>	1,35x10 <sup>5</sup>	1,17x10 <sup>5</sup>	1,02x10 <sup>5</sup>	8,95 x10 <sup>4</sup>
3	75	7,77 x10 <sup>4</sup>	6,39 x10 <sup>4</sup>	5,36 x10 <sup>4</sup>	4,56 x10 <sup>4</sup>	3,94 x10 <sup>4</sup>	3,43E+04	3,02E+04
4	100	1,91 x10 <sup>4</sup>	1,58 x10 <sup>4</sup>	1,32 x10 <sup>4</sup>	1,12 x10 <sup>4</sup>	9,70 x10 <sup>3</sup>	8,45 x10 <sup>3</sup>	7,44 x10 <sup>3</sup>
5	125	6,46 x10 <sup>3</sup>	5,31 x10 <sup>3</sup>	4,45 x10 <sup>3</sup>	3,79 x10 <sup>3</sup>	3,27 x10 <sup>3</sup>	2,85 x10 <sup>3</sup>	2,51 x10 <sup>3</sup>
6	150	2,66 x10 <sup>3</sup>	2,19 x10 <sup>3</sup>	1,83 x10 <sup>3</sup>	1,56 x10 <sup>3</sup>	1,35 x10 <sup>3</sup>	1,17 x10 <sup>3</sup>	1,03 x10 <sup>3</sup>
8	200	6,55 x10 <sup>2</sup>	5,39 x10 <sup>2</sup>	4,52 x10 <sup>2</sup>	3,84 x10 <sup>2</sup>	3,32 x10 <sup>2</sup>	2,89 x10 <sup>2</sup>	2,54 x10 <sup>2</sup>
10	250	2,21 x10 <sup>2</sup>	1,82 x10 <sup>2</sup>	1,52 x10 <sup>2</sup>	1,30 x10 <sup>2</sup>	1,12 x10 <sup>2</sup>	97,509	85,824
12	300	90,870	74,777	62,689	53,368	46,023	40,127	35,318
14	350	42,893	35,297	29,591	25,191	21,724	18,941	16,671
16	400	22,386	18,421	15,443	13,147	11,338	9,885	8,701
18	450	12,614	10,380	8,702	7,408	6,389	5,570	4,903
20	500	7,551	6,214	5,209	4,435	3,824	3,334	2,935

Fonte: (PORTO, 2006, p. 54).

### 3.4.1 Comparação entre a fórmula universal e a fórmula de Hazen-Williams

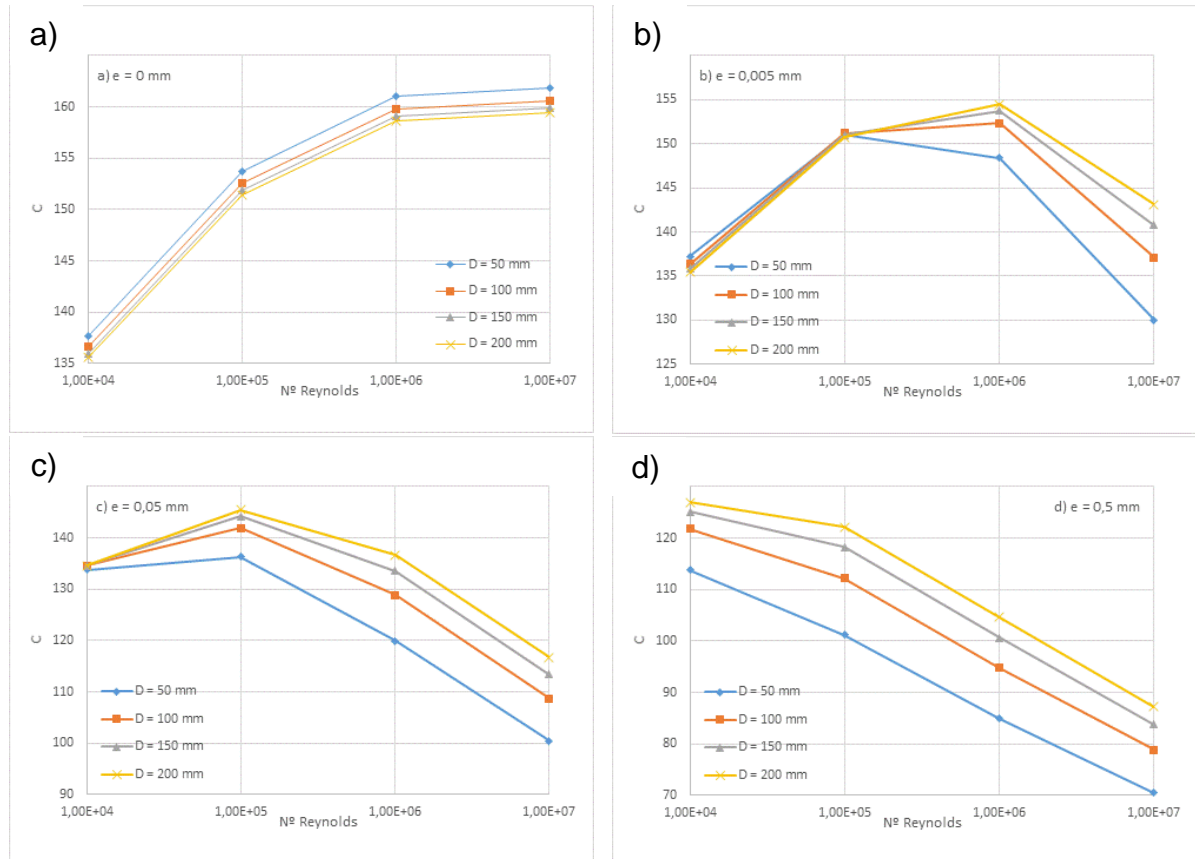
Afim de verificar os resultados da fórmula de Hazen-Williams, cujo coeficiente de rugosidade (C) não depende do número de Reynolds, iguala-se as perdas de cargas unitárias de cada formulação:

$$J = \frac{6,81v^{1,85}}{C^{1,85}D^{1,17}} = \frac{fv^2}{2gD}$$

desenvolvendo, obtém-se a Equação 8:

$$C = \frac{43}{f^{0,54} Re^{0,081} D^{0,011}} \quad (8)$$

**Figura 3 - Adequabilidade da fórmula de Hazen-Williams.**



Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 56).

Dos resultados mostrados na Figura 3, Porto (2006) conclui que:

- Para tubos teóricos (rugosidade zero), a fórmula de Hazen-Williams apresenta aproximação razoável contanto que o número de Reynolds seja superior a  $5 \times 10^6$  e o diâmetro maior que 150 mm. Isso se dá pelo fato de que o termo “C” da formulação tem pouca variação para essas condições de contorno, conforme Figura 3a.
- Para número de Reynolds entre  $5 \times 10^5$  e  $10^6$  e rugosidade de 0,005 mm, geralmente associado a tubos de P.V.C. (Figura 3b), o valor de “C” realmente corresponde entre 150 e 155 (Quadro 2). Dentro dessa faixa de turbulência e para diâmetros acima de 50 mm, a equação de Hazen-Williams pode ser utilizada.
- Para rugosidade de 0,05 mm, diâmetros acima de 100 mm e valores de

Reynolds baixos ( $10^4$  e  $5 \times 10^4$ ), a equação de Hazen-Williams gera uma razoável aproximação, isto é, os valores de “C” estarão na faixa entre 135 – 140 (Figura 3c). Entretanto, para situações fora desses contornos a equação de Hazen-Williams deve ser evitada.

- Para rugosidade de 0,5 mm e qualquer valor de número de Reynolds (Figura 3d) a fórmula de Hazen-Williams é inadequada, uma vez que ela não fornece aproximação esperada, ou seja, não existe um único valor de “C”.

Dessa forma, verifica-se que o coeficiente de rugosidade “C”, além de depender do diâmetro, varia com o grau de turbulência. Isto é, não é válida a informação de um único valor de “C” para materiais específicos, conforme Quadro 2 que, geralmente, acompanha a fórmula de Hazen-Williams.

**Quadro 2** - Valores do coeficiente "C".

Aço corrugado	C = 60	Aço com juntas lock-bar, novo	130
Aço com juntas lock-bar, em serviço	90	Aço galvanizado	125
Aço rebitado, novo	110	Aço rebitado, em uso	85
Aço soldado, novo	130	Aço soldado, em uso	90
Aço soldado com revest. esp.	130	Cobre	130
Concreto, bom acabamento	130	Concreto, acab. comum	120
Ferro fundido, novo	130	Ferro fundido, 15 – 20 anos	100
Ferro fundido, usado	90	Ferro fundido com cimento	130
Madeiras em aduelas	120	P.V.C.	150

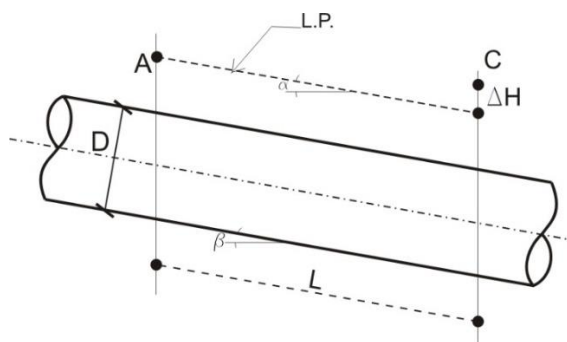
Fonte: adaptado de (PORTO, 2006).

Como o computador está inserido no cotidiano profissional, é mais fácil fazer algumas linhas de códigos computacionais para o cálculo do fator de atrito  $f$ , Equação 5, e utilizar a fórmula universal ao invés usar a equação de Hazen-Williams.

### 3.5 Relação entre a perda de carga unitária e declividade da linha piezométrica

Definiu-se anteriormente como “J”, perda de carga unitária, a relação entre a perda de carga devido ao atrito e o comprimento da tubulação ( $J = \Delta H/L$ ). Entretanto, tal correlação é incorreta caso a tubulação não esteja na horizontal. Considere a Figura 4, um tramo de comprimento “L” e ângulo de assentamento “ $\beta$ ”.

**Figura 4** - Perda de carga unitária e declividade da linha piezométrica.



Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 93).

Após sua análise, tem-se:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta H}{AC} = \frac{\Delta H}{L \cos(\beta)} = \frac{J}{\cos(\beta)} = J \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\beta)}$$

Essa correlação mostra que a inclinação da linha piezométrica é sempre maior que a perda de carga unitária  $J$ , exceto se o conduto estiver na horizontal. Caso haja uma grande variação do ângulo de assentamento não se deve esperar que a linha piezométrica seja retilínea ao longo do comprimento total da tubulação.

### 3.6 Perdas localizadas: expressão geral, alargamento e estreitamento

A utilização de peças especiais nas instalações hidráulicas como curvas, válvulas, derivações, registros, entre outros, gera um acréscimo na turbulência e, conseqüentemente, aumentam a perda de carga. Essa perda de carga devido a esses acessórios é denominada de perda de carga localizada.

A equação geral para sua obtenção pode ser expressa na Equação 9.

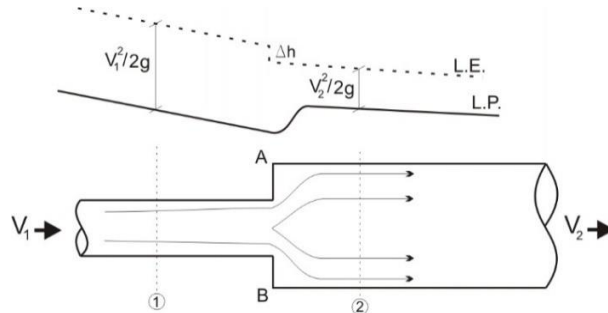
$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Onde “ $K$ ” é uma constante adimensional que varia de acordo com o acessório, a turbulência e o material do conduto. Entretanto, na prática, o coeficiente  $K$  assume valores constantes que depende simplesmente do material e do acessório.

A mudança de diâmetro, seja brusca ou gradual, é um exemplo que gera perda de carga localizada. No caso do alargamento (Figura 5), a perda localizada, segundo

Porto (2006), ocorre pela desaceleração do fluido no trecho curto entre as seções 1 e 2.

**Figura 5 - Alargamento brusco**



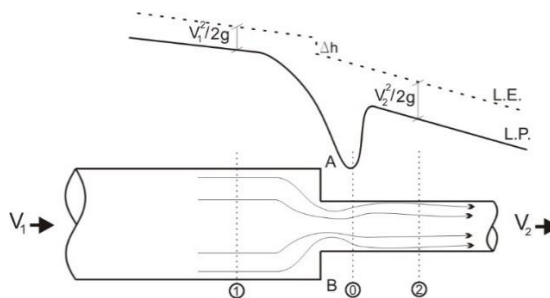
Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 71).

Aplicando-se a equação da energia (Equação 1) entre as seções 1 e 2 e desenvolvendo, obtém-se a Equação 10.

$$\Delta h = \frac{v_1^2}{2g} \left[ 1 - \frac{A_1}{A_2} \right]^2 = K \frac{v_1^2}{2g} \quad (10)$$

Para contração brusca, conforme Porto (2006), o escoamento tem características semelhantes à expansão. Entretanto, como a perda de carga entre 1 e 0 (Figura 6) é desprezível, a Equação 11 será usada entre os pontos 0 e 2.

**Figura 6 - Contração brusca.**



Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 73).

Resultando:

$$\Delta h = \frac{(v_0 - v_2)^2}{2g} \quad (11)$$

em que “v<sub>0</sub>” é a velocidade média da seção contraída, cuja área é expressa por meio

do conceito de coeficiente de contração “ $C_c$ ”, dado por:

$$C_c = \frac{A_0}{A_2}$$

Logo, substituindo na Equação 11, tem-se a Equação 12.

$$\Delta h = \left( \frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (12)$$

Afim de facilitar o uso da Equação 12, Porto (2006) disponibiliza valores (Quadro 3) de  $K$  para alguns valores de razões entre  $A_2$  e  $A_1$ .

**Quadro 3** - Valores do coeficiente  $K$  para reduções bruscas

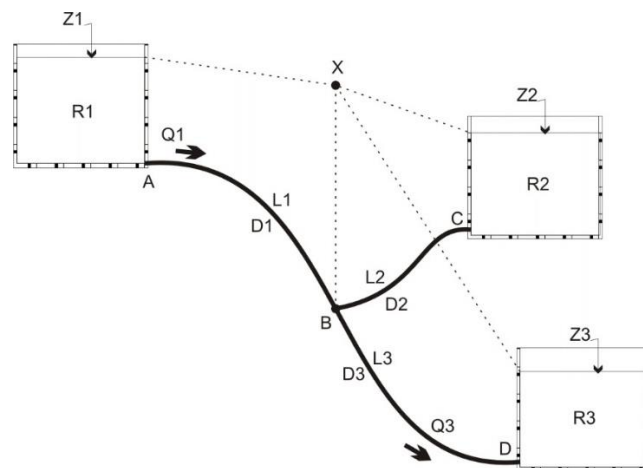
$A_2/A_1$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$K$	0,5	0,46	0,41	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,02	0

Fonte: (PORTO, 2006, p. 73).

### 3.7 Problema dos 3 Reservatórios.

Um dos problemas clássicos de hidráulica se resume a três reservatórios que tem seus níveis conhecidos e fixos, interligados por três condutos de diâmetros, comprimentos e materiais definidos, conforme Figura 7.

**Figura 7** - Problema dos três reservatórios



Fonte: Adaptado de (PORTO, 2006, p. 107).

Basicamente, procura-se saber como as vazões são distribuídas pelos condutos. E, para tanto, é necessário descobrir a cota piezométrica “ $X$ ” do ponto de bifurcação. Porto (2006) apresenta algumas situações para as possíveis situações da cota

piezométrica em B:

- Se  $X > Z_2$ , a vazão que sai do reservatório 1 será transferida tanto para o reservatório 2 quanto para o 3, isto é, R1 abastece R2 e R3.
- Se  $X = Z_2$ , a vazão no conduto 2 é nula e a vazão que sai de R1 é integralmente transferida para R3.
- Se  $X < Z_2$ , o reservatório R2 passa a ser também abastecedor, portanto R3 é abastecido pelos outros dois reservatórios.

Por tentativa e erro, fixa-se um valor para a cota piezométrica de B e, trabalha-se com as Equações 13, 14, e 15, até que a condição da Equação 16 seja satisfeita.

$$Z_1 - X = k \frac{L_1}{D_1^5} Q_1^2 \quad (13)$$

$$X - Z_2 \text{ ou } Z_2 - X = k \frac{L_2}{D_2^5} Q_2^2 \quad (14)$$

$$X - Z_3 = k \frac{L_3}{D_3^5} Q_3^2 \quad (15)$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \text{ ou } Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (16)$$

### 3.8 Informática como recurso didático

Como aponta Jucá (2016), centenas de anos foram marcados pela presença do quadro negro, do giz e do livro como principais instrumentos pedagógicos. Porém, o cenário educacional vivencia um momento de mudanças significativas no processo de ensino e aprendizagem com a expansão da era digital.

Afim de complementar a didática no ensino superior, novas tecnologias digitais podem ser incorporadas às instituições de ensino, de modo a possibilitar aos estudantes experiências pedagógicas inovadoras. Para tanto, segundo Silva e Borba (2011), o professor universitário precisa ter uma visão de mundo, de ciência e de educação compatível com as características de sua função.

Por estes motivos, é necessário (re)considerar as abordagens pedagógicas utilizadas



e, quando possível, inserir ferramentas capazes de proporcionar novas potencialidades de aprendizagem. Uma possibilidade é o uso de *softwares* voltados para educação profissional.

Conforme Sancho (1998), um *software* educativo é um programa que possui recursos que foram projetados com intenção e finalidade de serem usados em contexto de ensino-aprendizagem.

Como os *softwares* geralmente apresentam uma resposta a partir de um determinado dado de entrada, seja ele certo ou errado, Borges (2009) defende que os *softwares* educativos podem estimular o desenvolvimento do raciocínio lógico e, conseqüentemente, da autonomia do indivíduo, a medida em que podem levantar hipóteses, fazer interferências e tirar conclusões a partir dos resultados apresentados (JUCÁ, 2016, p. 26).

O *software* desenvolvido neste trabalho busca estimular a aprendizagem em Mecânica dos Fluidos e Hidráulica. Com isso, o estudante deve, visual e interativamente, interpretar e trabalhar com os dados de questões para que o programa gere o comportamento e os respectivos resultados do sistema hidráulico.

Assim, como sugere Escola e Ducatti (2012), desenvolver um sistema que possa, de certo modo, aumentar o rendimento dos alunos, além de ser gratificante ajuda a aumentar o prestígio da instituição de ensino superior.

Vale ressaltar que o uso do *software* não garante o êxito na aprendizagem do componente curricular, nem dispensa a figura do professor como mediador do processo educativo. Dessa forma, o *software* desenvolvido não tira a responsabilidade do estudante em ser ativo na construção do seu próprio conhecimento.

## **4 Materiais e métodos**

### **4.1 Materiais**

Para esse trabalho foi utilizado um laptop com as seguintes configurações de *hardware*:

- Processador Intel Core i5-4200U 1.6 GHz;
- 8 GB de memória RAM;

- Disco rígido de 500 GB;
- Tela de 14 polegadas.

Em relação aos requisitos mínimos para execução da aplicação, espera-se:

- Sistema operacional: Windows 10, Windows 7 ou Windows XP. (O sistema não foi testado para plataformas Windows com versões anteriores, mas nelas não deve apresentar problemas);
- Microsoft Excel com as versões: Excel 2013 ou Excel 2007. (O sistema não foi testado para versões anteriores à de 2007, porém não deve apresentar falhas para essas versões);
- Memória: mínimo de 128 MB<sup>1</sup>
- Espaço em disco rígido: 5 MB<sup>2</sup>

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Estrutura do *software*

O *software* teve início com as configurações básicas do Excel para se trabalhar em VBA (habilitação de macros e guia desenvolvedor) e com a implementação de funções básicas que serão utilizadas no programa como, por exemplo, as funções de perda de carga unitária pelos métodos de Hazen-Williams e fórmula universal (Anexo A).

Para a elaboração da estrutura apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foi tomado como base que o usuário (estudante) precisa ter o mínimo de conceitos básicos para sua utilização, visto que o *software* busca dar apoio às disciplinas. Entre esses conceitos se encontram:

- Definição de cota;
- Definição de linha piezométrica e linha de energia;
- Vazão;

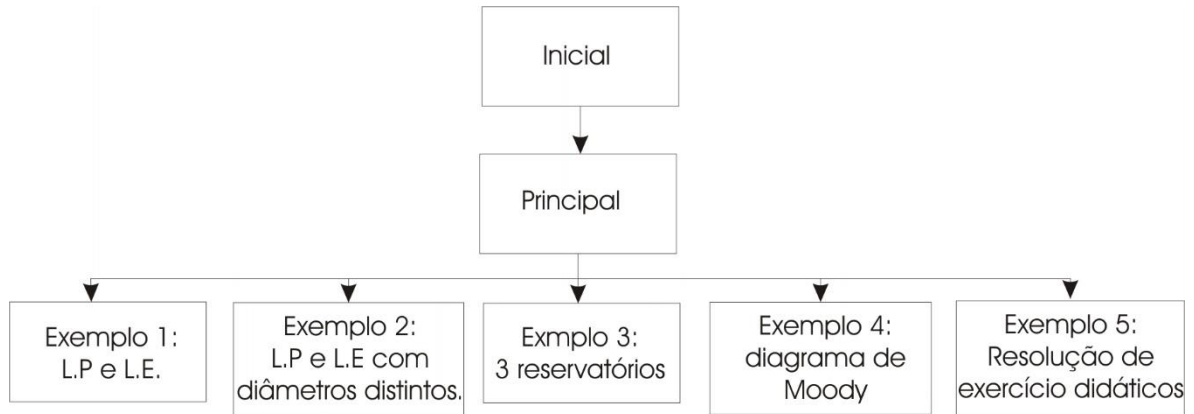
---

<sup>1</sup> A quantidade de memória total do computador influencia nas dimensões máximas de alguns cálculos e na performance do sistema como um todo.

<sup>2</sup> Embora a instalação não requeira espaço maior, aconselha-se a disponibilidade de grandes regiões em disco rígido para permitir a utilização de memória virtual pelo sistema operacional.

- Perda de carga;
- Diâmetro e suas unidades;

**Figura 8** - Estrutura do *software*.



**Fonte:** Acervo do autor.

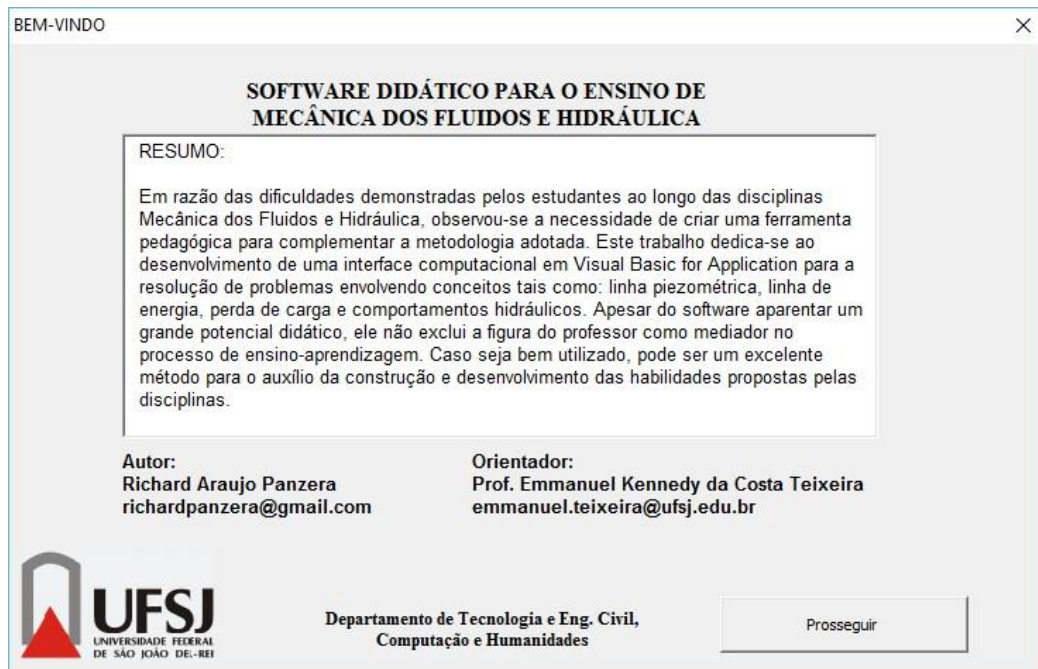
Por ser um programa didático e de fácil interação, para quem convive ou já conviveu com as disciplinas, não foi elaborado um manual de utilização da interface. Entretanto, encontra-se no YouTube<sup>3</sup> vídeos que demonstram a funcionalidade de cada tela para os usuários que tiverem dúvidas.

#### **4.2.2 Preparação das interfaces em VBA**

A tela inicial do *software* (Figura 9) foi criada para que o usuário saiba que o programa é puramente didático, além de apresentar informações sobre: o resumo deste trabalho, autor, orientador e um botão “prosseguir” que o encaminhará para a tela de opções.

<sup>3</sup> Link: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLgRJeX1X5CqKsf1ZcMZelmyef595pbnp>

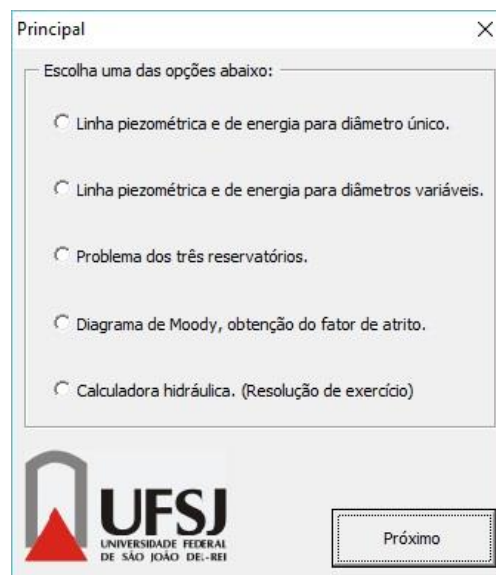
**Figura 9** - Tela de apresentação do *software*.



Fonte: Acervo do autor.

Na tela de opções (Figura 10), denominada de tela principal, são apresentados os cinco exemplos abordados pelo programa, em que o usuário poderá escolher uma opção e prosseguir para a respectiva tela de interação.

**Figura 10** - Tela principal.



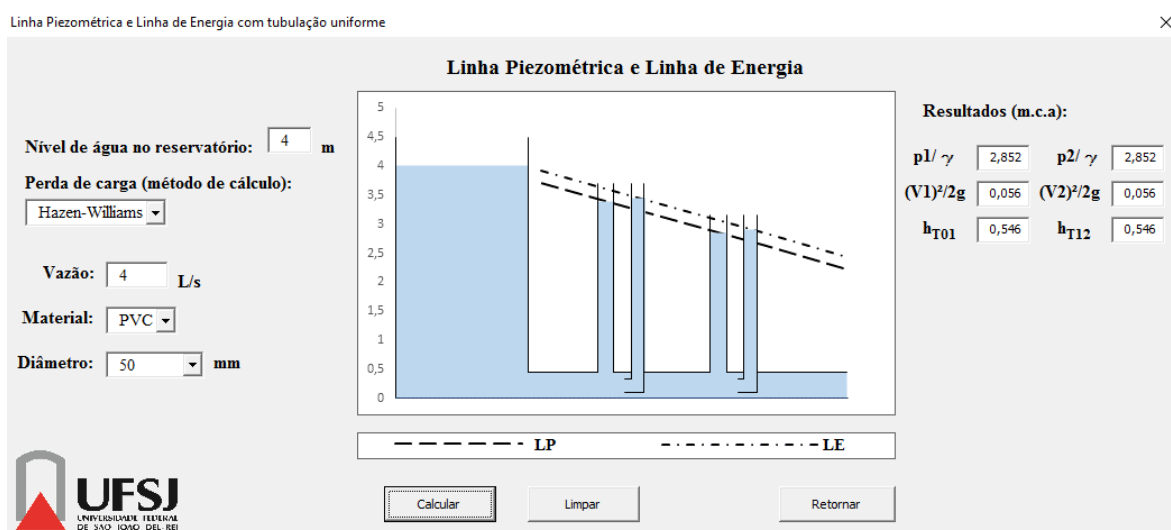
Fonte: acervo do autor.

Ao escolher “Linha piezométrica e de energia para diâmetro único”, o usuário será direcionado para tela de mesmo nome (Figura 11), na qual ele poderá interagir

inserindo valores para o nível de água do reservatório e vazão, além de selecionar o método de cálculo de perda de carga, material e diâmetro, que é diferenciado entre milímetro e polegada, dependendo do material escolhido.

Esta interface oferece ao estudante possibilidades para tentar diversas situações hidráulicas, seja aumentando a carga hidráulica dada pela cota do reservatório, seja aumentando a velocidade de escoamento (maior vazão) ou ainda por simplesmente alterar o diâmetro da tubulação. Cada alteração citada redefinirá o gráfico (centro da tela) e mostrará ao usuário o comportamento da linha piezométrica e da linha de energia.

**Figura 11** - Tela de interação L.P. e L.E. com tubulação uniforme.



Fonte: acervo do autor.

Caso seja escolhido “Linha piezométrica e linha de energia para diâmetros variados”, o usuário será levado para uma tela semelhante à Figura 11. Entretanto, como essa tela possui tratamento para diâmetros distintos em um mesmo trecho, algumas modificações foram feitas para atender esse modelo, conforme Figura 12.

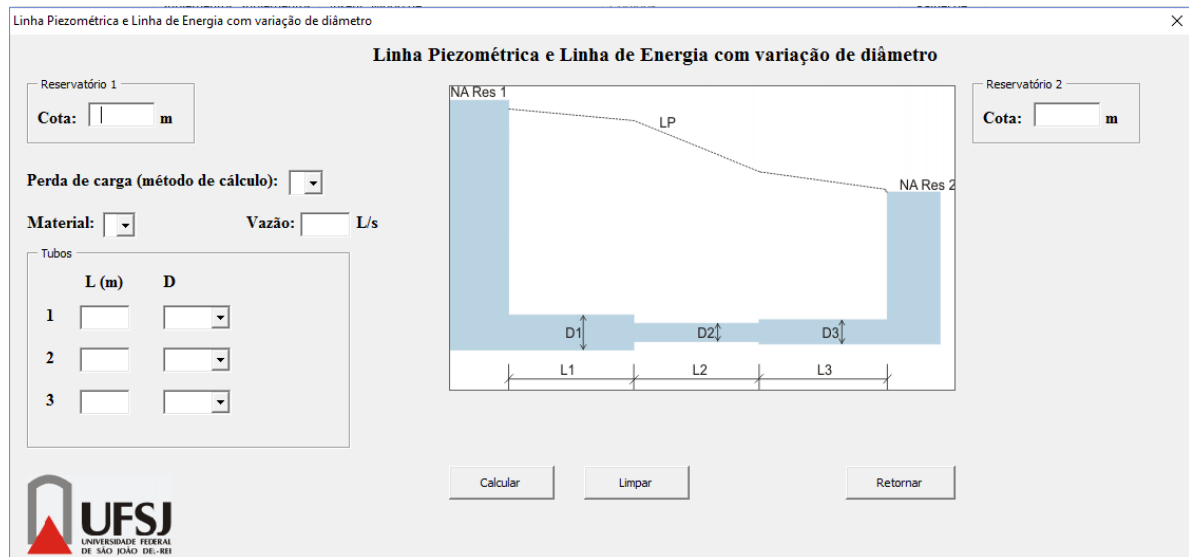
Esta interface, assim como a apresentada pela Figura 11, deixa o usuário livre para testar quaisquer valores para cota, vazão, material e diâmetros. A alteração desses valores, principalmente a do diâmetro, permite treze possíveis situações:

- $D1 = D2 = D3$
- $D1 < D2 = D3$
- $D1 > D2 = D3$
- $D1 > D2 > D3$

- $D1 > D3 > D2$
- $D2 > D1 = D3$
- $D2 < D1 = D3$
- $D2 > D1 > D3$
- $D2 > D3 > D1$
- $D3 > D2 = D1$
- $D3 < D2 = D1$
- $D3 > D1 > D2$
- $D3 > D2 > D1$

Para cada uma dessas soluções, o programa gera um gráfico para exibir o comportamento da linha piezométrica e da linha de energia, uma vez que são influenciados diretamente pela alteração dos dados de entrada.

**Figura 12 - L.P. e L.E. com variação de diâmetro.**



**Fonte:** acervo do autor.

A terceira opção, “Problema dos três reservatórios” (Figura 13), traz ao usuário uma tela com dados a serem preenchidos com informações propostas em exercícios ou simplesmente por valores definidos por ele mesmo.

A liberdade de inserir qualquer valor como dado de entrada, além de fazer desta tela uma excelente ferramenta para resolver exercícios, pode aprimorar os conceitos do estudante sobre o tema, já que o usuário pode criar uma sensibilidade com os dados de entrada, chegando ao ponto de prever o comportamento da linha piezométrica e do fluxo da vazão, isto é, se  $Q_1 = Q_2 + Q_3$ ,  $Q_3 = Q_1 + Q_2$  ou  $Q_1 = Q_3$ .

Esta tela usa como método de cálculo da perda de carga a fórmula de Hazen-Williams.

Apesar de não ser aconselhado seu uso profissionalmente, a equação de Hazen-Williams é uma excelente ferramenta didática devido ao uso do coeficiente de rugosidade “C” que facilita os cálculos. Outro motivo para sua utilização é que, segundo Medeiros Filho (2009), ligações entre reservatórios (condutos principais) deverão ter diâmetro mínimo de 100 mm. Assim, atende-se ao requisito de utilização da equação de Hazen-Williams, o qual determina utilização em diâmetros de no mínimo 50 mm.

**Figura 13 - Problema dos três reservatórios.**

Problema dos 3 Reservatórios, com perda de carga dada por Hazen-Williams

Selecione um dos casos para as incógnitas:

1 - Q1, Q2 e Q3     2 - D1, D2 e D3     3 - Q2, Q3 e D3     4 - Q2, Q3 e NAR3

Cota dos reservatórios

R1 (m)    R2 (m)    R3 (m)

Vazões

Q1 (m<sup>3</sup>/s)    Q2 (m<sup>3</sup>/s)    Q3 (m<sup>3</sup>/s)

Sobre o ponto B, foi dado:

Cota

Carga piezométrica

Dados da tubulação

Comprimento 1 Unid.    Comprimento 2 Unid.    Comprimento 3 Unid.

Diâmetro 1 Unid.    Diâmetro 2 Unid.    Diâmetro 3 Unid.

C 1    C 2    C 3

Calcular    Limpar    Retornar

UFSJ  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SÃO JOÃO DEL-REI

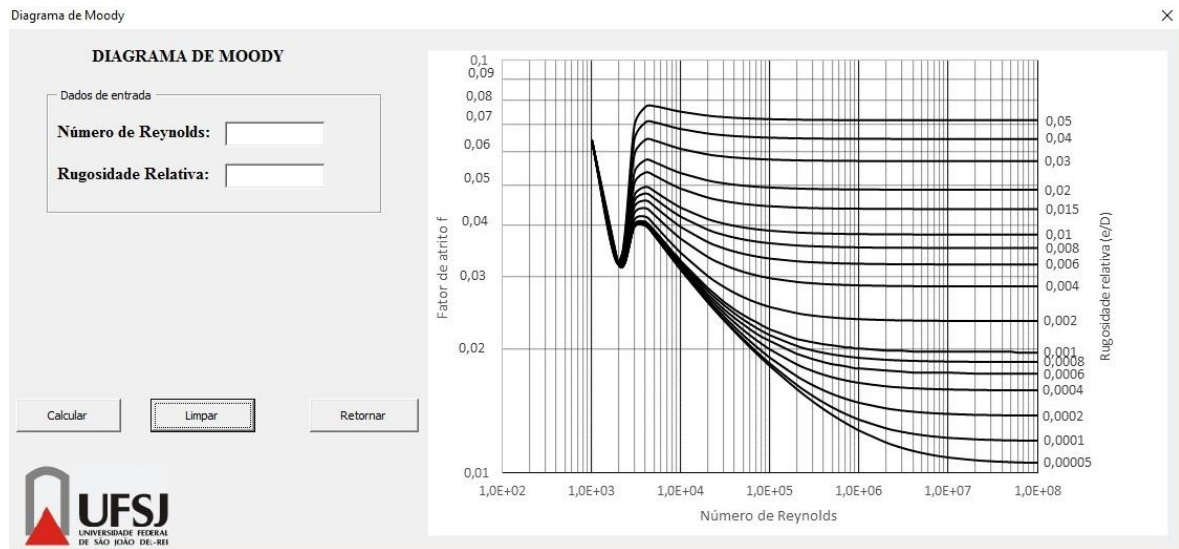
Fonte: acervo do autor.

A quarta tela, “Diagrama de Moody, obtenção do fator de atrito” (Figura 14), leva o usuário à tela em que ele, de posse de um número de Reynolds e da rugosidade relativa, pode calcular o fator de atrito tanto para escoamento laminar quanto para turbulento.

Esta tela foi inserida no projeto devido a uma dificuldade que os alunos têm quando estão cursando a disciplina Mecânica dos Fluidos, visto que, como ambas escalas do Diagrama de Moody são logarítmicas, determinar o fator de atrito, graficamente, para valores intermediários de rugosidade relativa se torna um processo que tem alto

acúmulo de erro.

**Figura 14** - Diagrama de Moody.



**Fonte:** acervo do autor.

Caso a quinta opção “Calculadora hidráulica. (Resolução de exercício)” seja escolhida, o usuário será direcionado à tela inicial que consiste na escolha do método de cálculo para a perda de carga e na inserção dos dados de entrada, conforme ilustra a Figura 15.

Para os dados de entrada, o usuário deverá inserir, inicialmente, quantos nós existem no exercício, isto é, ele deverá inserir quantos pontos principais há no exercício. Devendo ser contados da seguinte maneira:

- Cada reservatório equivale a um nó;
- Pontos de interseção de tubulações equivalem a um nó;
- Ponto de saída de água para a rede de distribuição equivale a um nó.

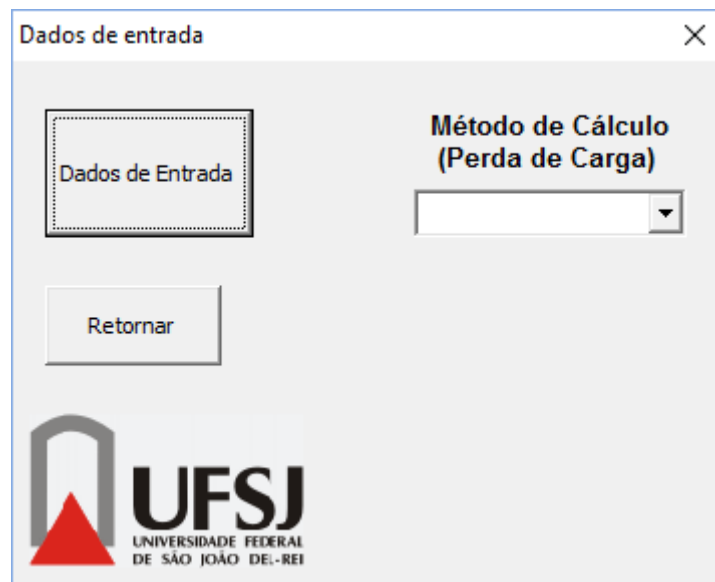
Dito isso, pontos de interseção entre reservatórios e tubulação (entrada ou saída de tubulação) não devem ser contados.

Após a determinação dos nós, o usuário deverá inserir os dados principais de cada trecho, que consiste de cota e pressão efetiva. Neste momento, o estudante deverá ter em mente que os pontos referentes aos reservatórios têm como pressão efetiva o valor 0, uma vez que se usa como referência a escala de pressão efetiva, a qual



assuma que a pressão atmosférica é nula. Os valores desconhecidos devem ser deixados em branco.

**Figura 15** - Inserção dos dados de entrada da calculadora hidráulica.



**Fonte:** acervo do autor.

Uma vez preenchido todos os dados citados para a quinta opção, o usuário será levado à tela da calculadora hidráulica (Figura 16). Nesta tela, ele irá trabalhar com a equação da energia (Equação 1) entre dois pontos.

Após a escolha dos pontos, o usuário deverá inserir os outros dados pertinentes ao trecho analisado, como comprimento, diâmetro e vazão, caso sejam conhecidos, e pressionar o botão “Calcular”. Caso existam condições de contorno suficientes para realização dos cálculos, o programa irá computar e preencher os lugares deixados em branco com os resultados. E, caso os dados estejam dentro de certas condições, o programa também exibirá uma possível representação da linha piezométrica. Essas condições são:

- Perda de carga unitária igual, entre dois trechos;
- Vazão igual nos trechos;
- Pressão zero em um ponto de saída de distribuição;
- Pressão no ponto de saída igual à cota do reservatório mais baixo.

Figura 16 - Calculadora hidráulica.

Equação da energia entre 2 pontos

Ponto 1 Ponto 2

**Calculadora hidráulica**

Cota: m Pressão: m.c.a.

Cota: m Pressão: m.c.a.

UFSJ  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SÃO JOÃO DEL-REI

Calcular Retornar

Fonte: acervo do autor.

## 5 Teste de desempenho da interface

Os testes do desempenho do *software* foram feitos por meio de aplicação de exercícios resolvidos encontrados na literatura, afim de validar os resultados obtidos pelo programa.

### 5.1 Análise de desempenho 1 - (AZEVEDO NETTO, *et al.*, 1998)

Uma tubulação de aço rebitado, com 0,30 m de diâmetro e 300 m de comprimento, conduz 130 L/s de água a 15,5°C. A rugosidade do tubo é de 3 mm. Determinar a velocidade média e a perda de carga.

#### 5.1.1 Solução teórica

Viscosidade da água a 15,5°C = 0,000001132 m<sup>2</sup>/s (valor tabelado)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,13}{0,707} = 1,84 \frac{m}{s}$$

$$Re_{\gamma} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,84 \cdot 0,3}{0,000001132} = 4,9 \cdot 10^5$$

$$\frac{e}{D} = \frac{3}{300} = 0,01, \text{ e pelo diagrama de Moody: } f = 0,038$$

$$\Delta H = \frac{f * L * v^2}{D * 2g} = 6,55 \text{ m. c. a}$$

### 5.1.2 Utilização da interface

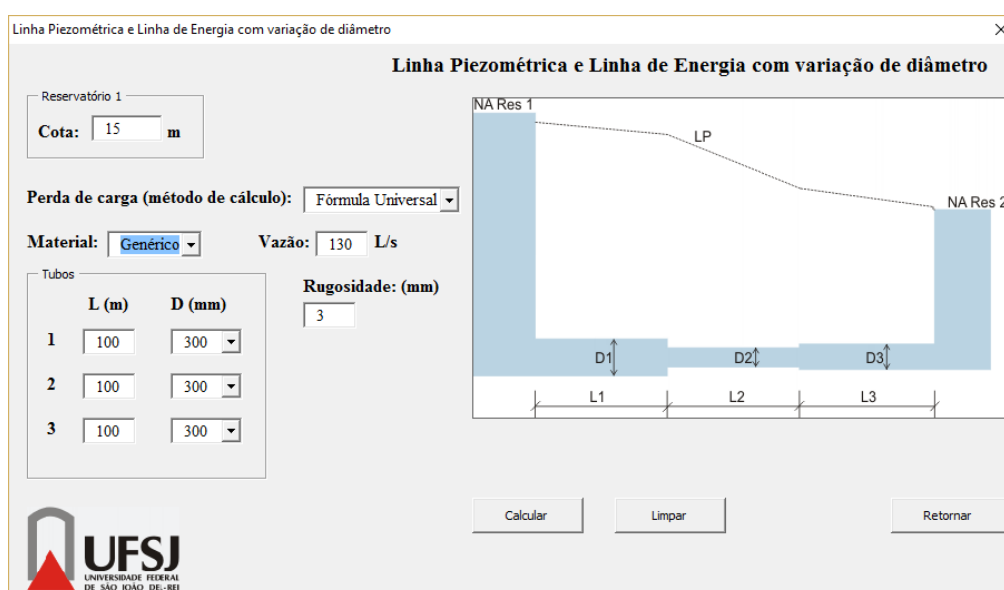
Para resolver este tipo de exercício o usuário deve escolher a segunda opção (“Linha piezométrica e linha de energia para diâmetros variados”), uma vez que foi implementado nela o material “genérico” cujo valor de rugosidade deve ser digitado pelo usuário.

Nesta tela o usuário deve preencher os três valores para o diâmetro. O comprimento de cada trecho pode ser dividido em três partes iguais ou na proporção desejada, pois não influencia o resultado final, visto que o diâmetro é uniforme.

A Figura 17 apresenta os dados de entrada propostos pelo exercício inseridos. A cota do reservatório 1 foi escolhida aleatoriamente para que se tenha um referencial para os cálculos.

Apesar de estar no banco de dados do *software* a possibilidade de calcular a viscosidade dinâmica da água com a variação da temperatura, essa metodologia não foi abordada para diminuir o número de variáveis a serem inseridos, uma vez que a temperatura nem sempre é fornecida pelo problema.

**Figura 17** - Inserção dos dados de entrada.



Fonte: acervo do autor.

Pressionando o botão “Calcular” a tela é alterada (Figura 18) apresentando os resultados indiretamente. Como a velocidade é dada pela equação de vazão (Equação 17), o estudante deve saber esse conceito e aplicá-lo.

$$Q = v * A \quad (17)$$

Onde “Q” é a vazão (m³/s), “v” a velocidade (m/s) e “A” a área do conduto.

A perda de carga total é dada pela diferença entre as cotas do reservatório 1 e reservatório 2, sendo assim:

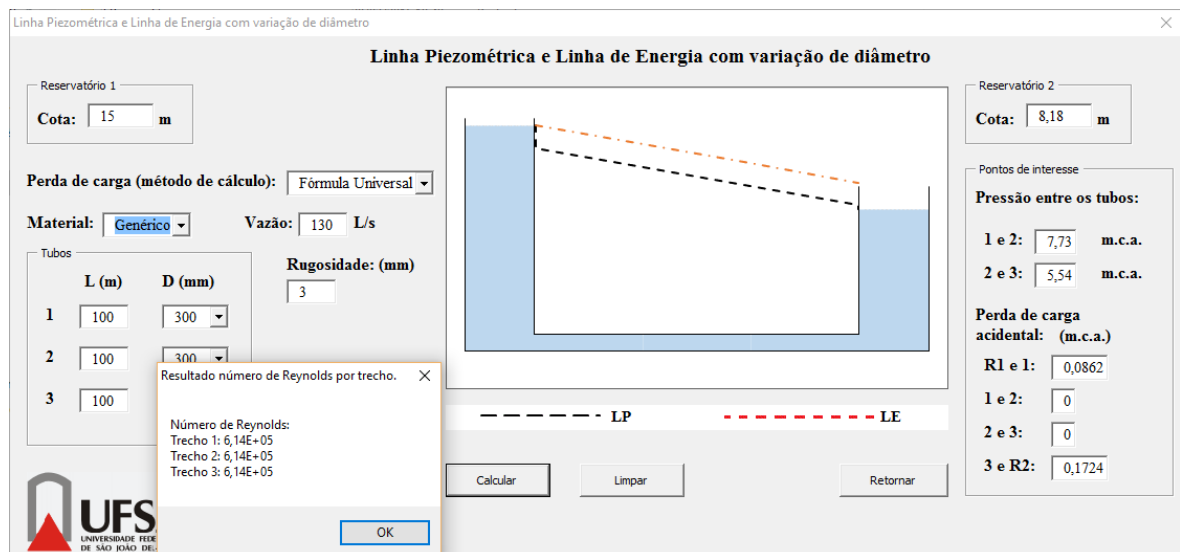
$$\Delta H = 15 - 8,18 = 6,82 \text{ m. c. a.}$$

A diferença dos resultados se dá pelo acréscimo da perda de carga acidental levado em conta pelo *software*.

$$6,82 - 0,17 - 0,09 = 6,56 \text{ m. c. a}$$

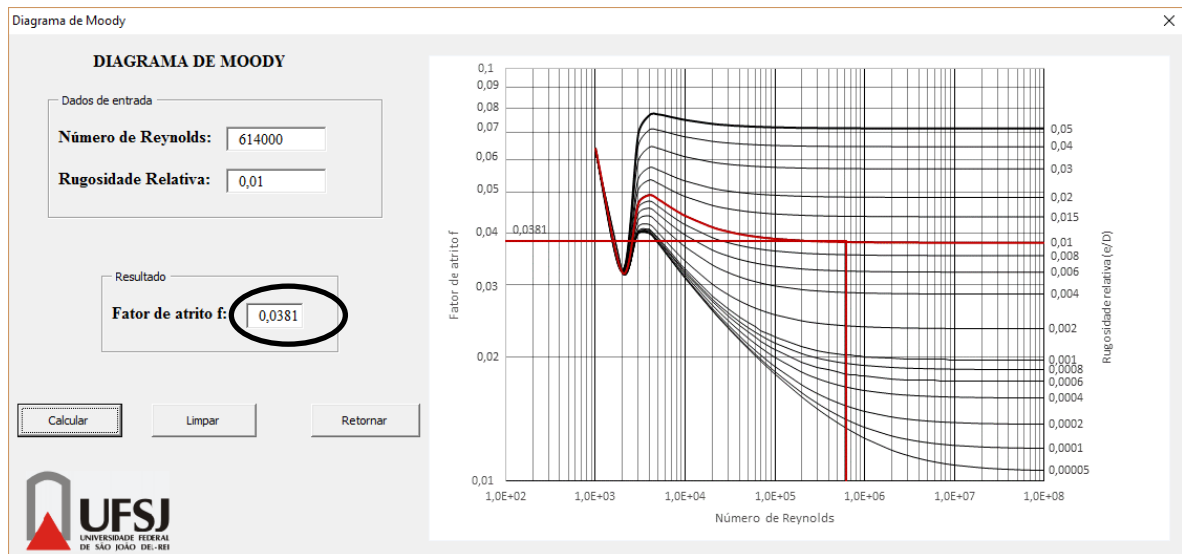
Já a diferença entre os resultados do número de Reynolds apresentado pelo programa com o apresentado pelo exemplo, se dá pelo fato de que a temperatura para o cálculo da viscosidade dinâmica adotada pelo *software* é de 25°C. Entretanto, os números possuem a mesma ordem de grandeza e o mesmo resultado para fator de atrito, como mostra a Figura 19.

Figura 18 - Resultados.



Fonte: acervo do autor.

**Figura 19 - Fator de atrito para número de Reynolds calculado.**

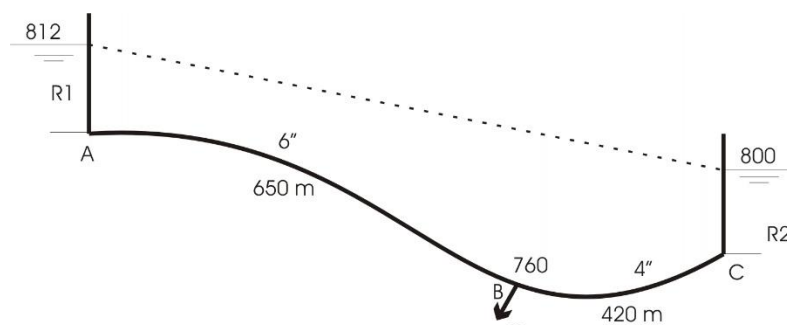


Fonte: acervo do autor.

## 5.2 Análise de desempenho 2 - (PORTO, 2006)

O sistema de abastecimento de água de uma localidade é feito por um reservatório principal, com nível d'água suposto constante na cota 812 m, e por um reservatório de sobras que completa a vazão de entrada na rede, nas horas de aumento de consumo, com nível d'água na cota 800 m. No ponto B, cota 760 m, inicia-se a rede de distribuição. a) Para que valor particular da vazão de entrada na rede,  $Q_B$ , a linha piezométrica do sistema é a mostrada na Figura 20? b) Determine a carga de pressão disponível em B. O material das adutoras é aço soldado novo. Utilize Hazen-Williams, desprezando as cargas cinéticas.

**Figura 20 - Exemplo análise 2.**



Fonte: adaptado de (PORTO, 2006).

### 5.2.1 Solução teórica

Para a situação mostrada, pode-se concluir que ambos os trechos têm perda de carga unitárias iguais e que o abastecimento está sendo feito somente pelo reservatório superior. Deste modo,  $J_1 = J_2 = (812-800)/(650+420) = 0,0112$  m/m.

No trecho 1, de comprimento 650 m,  $C = 130$  (Quadro 2) e  $D_1 = 6''$ , tem-se  $\beta = 1,35 \times 10^3$  m/100m (Quadro 1). Substituindo na Equação 7:

$$1,12 = 1,35 * 10^3 * Q_1^{1,85} \therefore Q_1 = 0,0216 \text{ m}^3/\text{s}$$

Fazendo o mesmo com os dados do trecho 2, chega-se a:

$$1,12 = 9,7 * 10^3 * Q_2^{1,85} \therefore Q_2 = 0,00745 \text{ m}^3/\text{s}$$

Logo,  $Q_B = 21,6 - 7,45 = 14,2$  L/s.

A carga piezométrica em B é igual ao nível d'água do reservatório principal menos a perda de carga entre A e B:

$$CP_B = 812 - J_1 * L_1 = 812 - 0,0112 * 650 = 804,72$$

portanto, a pressão disponível em B é  $804,72 - 760 = 44,72$  m.c.a.

### 5.2.2 Utilização da interface

A solução deste exercício está relacionada à interface “Calculadora hidráulica” (quinta opção da tela principal) e, para sua melhor utilização, o estudante deverá separar todos os dados de entrada disponíveis no enunciado do problema, conforme Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Dados de entrada.

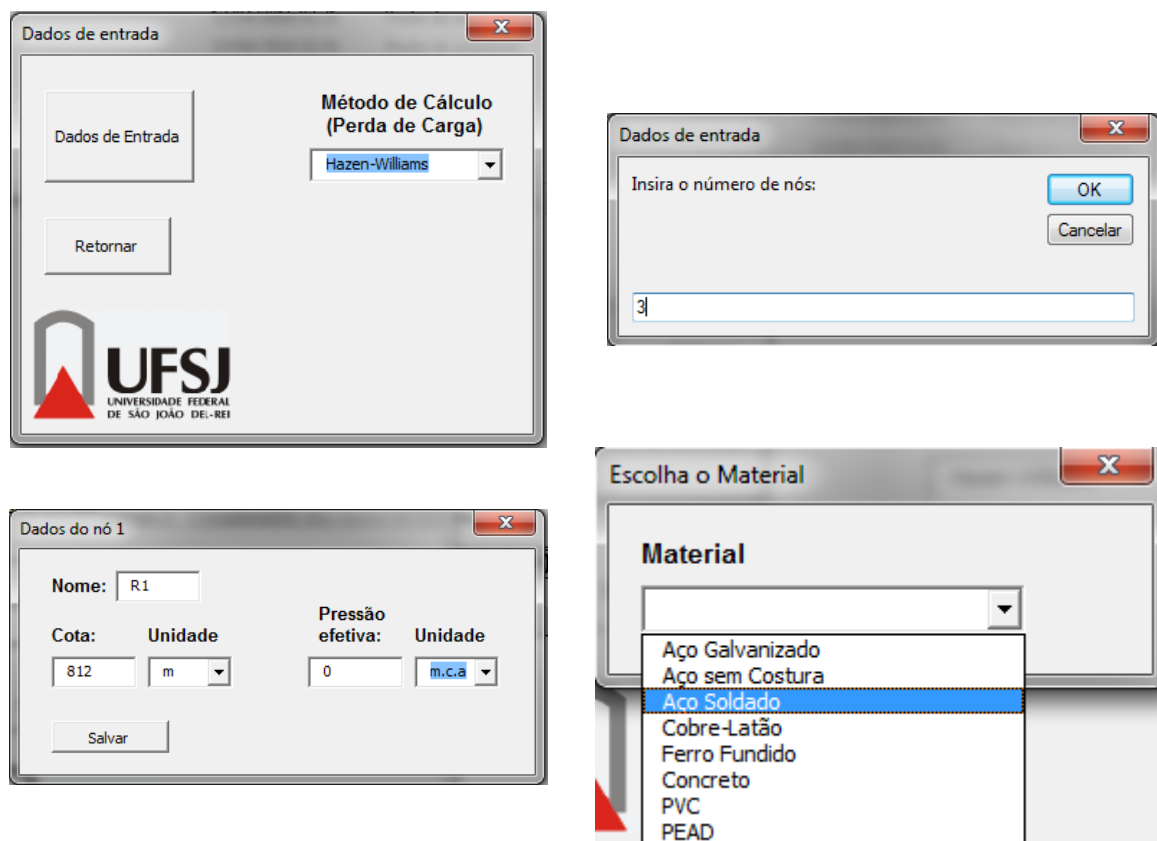
Nós:	3	Perda de carga por:	Hazen-Williams
Material:	Aço soldado novo		
Nó	Nome	Cota	Pressão efetiva
1	R1	812	0
2	B	760	Desconhecido
3	R2	800	0

**Tabela 2** - Complemento dos dados de entrada.

Trecho	Cota1 (m)	Cota2 (m)	Comprimento	Diâmetro
1-2	812	760	650 m	6"
2-3	760	800	420 m	4"

A Figura 21 mostra os dados de entrada inseridos no programa.

**Figura 21** - Dados de entrada.



Fonte: acervo do autor.

Para a situação do nó 2, no qual a pressão efetiva é desconhecida e para dados não fornecidos pelo problema, o usuário deverá deixar em branco o respectivo campo para que o programa entenda que seja um valor a ser calculado.

Após a inserção dos dados de entrada, o usuário será encaminhado para a tela “Calculadora hidráulica”, em que ele deverá escolher os pontos para utilização da equação da energia e inserir os dados complementares, Tabela 2, conforme Figura 22.

Figura 22 - Inserção dos dados complementares.

Equação da energia entre 2 pontos

Ponto 1 Ponto 2

R1 R2

Calculadora hidráulica

Ponto R1  
Cota: 812 m Pressão: 0 m.c.a.

Ponto R2  
Cota: 800 m Pressão: 0 m.c.a.

R1-B  
Comprimento 650 m Unid. m  
Diâmetro 6 in Unid. in  
Vazão

B-R2  
Comprimento 420 m Unid. m  
Diâmetro 4 in Unid. in  
Vazão

Calcular Retornar

UFSJ  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SÃO JOÃO DEL-REI

Fonte: acervo do autor.

Pressionando o botão “Calcular”, para a situação apresentada na Figura 22, o programa questionará o usuário se ele deseja vazões iguais nos dois trechos ou se ele deseja perda de carga unitária igual nos dois trechos. Cabe ressaltar que é papel do estudante saber essas nuances do problema, uma vez que esse detalhe é o ponto chave da resolução de vários exercícios que seguem essa metodologia.

Pela Figura 20, deseja-se perdas de carga unitárias iguais nos dois trechos como caminho de resolução. Sabendo disso, o programa apresenta os valores de vazões em cada trecho, conforme Figura 23.

A vazão  $Q_B$ , questionada pelo enunciado do problema, é a diferença entre a vazão que sai do reservatório 1 e a vazão que alimenta o reservatório 2.

$$Q_B = 21,66 - 7,45 = 14,21 \text{ L/s}$$

Para o cálculo da pressão no ponto B, o usuário deverá escolher no campo “Ponto 2” a opção “B”, preencher os dados complementares deixando a valor da pressão em branco e pressionar o botão “Calcular”. Feito isso, o programa irá apresentar o resultado, conforme mostra a Figura 24.



Figura 23 - Resultado para perdas de carga unitárias iguais.

Equação da energia entre 2 pontos

**Calculadora hidráulica**

Ponto 1: R1  
 Ponto 2: R2

Ponto R1: Cota: 812 m, Pressão: 0 m.c.a.  
 Ponto R2: Cota: 800 m, Pressão: 0 m.c.a.

R1-B: Comprimento: 650 m, Diâmetro: 6 in, Vazão: 21,66 L/s  
 B-R2: Comprimento: 420 m, Diâmetro: 4 in, Vazão: 7,45 L/s

UFSJ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

Buttons: Calcular, Retornar

Fonte: acervo do autor.

Figura 24 - Resultado pressão ponto B.

Equação da energia entre 2 pontos

**Calculadora hidráulica**

Ponto 1: R1  
 Ponto 2: B

Ponto R1: Cota: 812 m, Pressão: 0 m.c.a.  
 Ponto B: Cota: 760 m, Pressão: 44,71 m.c.a.

R1-B: Comprimento: 650 m, Diâmetro: 6 in, Vazão: 0,0216 m³/s

UFSJ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

Buttons: Calcular, Retornar

Fonte: acervo do autor.

### 5.3 Análise de desempenho 3 - (REDA, 2005)

Dado um sistema de três reservatórios (Figura 7), 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 Quadro 4 com comprimentos, L; Diâmetros, D; e coeficientes de condutividade para a fórmula de Hazen-Williams).

**Quadro 4** - Dados de entrada análise 3.

<b>Tub.</b>	<b>L (m)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>C</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>NA</b>
1	1200	300	90	?	30
2	900	200	120	?	24
3	1500	150	125	?	15

### 5.3.1 Solução teórica

Determina-se o sentido de escoamento da tubulação 2 supondo, inicialmente, que sua vazão seja zero. Encontrando Q1 e Q3:

$$H1 = NA1 - NA2 = 6 \text{ m}$$

$$H3 = NA2 - NA3 = 9 \text{ m}$$

Por Hazen-Williams:

$$Q1 = 0,0601 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q3 = 0,0148 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como  $Q1 > Q3$  o reservatório 2 será abastecido, sabendo disso, adota-se valores, maiores que NA2, para a carga piezométrica no ponto de interseção das tubulações até que a igualdade  $Q1 = Q2 + Q3$ , seja obtida.

Afim de evitar prolongamentos desnecessários, admite-se como carga piezométrica 27,15 m, no ponto de interseção. Calculando as vazões nos trechos tem-se, em m<sup>3</sup>/s:

$$Q1 = 0,04019, Q2 = 0,02272 \text{ e } Q3 = 0,01747$$

Que satisfaz a equação da continuidade (Equação 17).

### 5.3.2 Utilização da interface

O usuário deverá utilizar a interface “Problema dos 3 reservatórios” para obter o resultado do exercício (terceira opção da tela principal). Nela, ele deverá escolher

inicialmente quais as incógnitas do problema, isto é, em qual caso o problema se enquadra:

- Caso 1: Q1, Q2 e Q3 desconhecidos;
- Caso 2: D1, D2 e D3 desconhecidos;
- Caso 3: Q2, Q3 e D3 desconhecidos;
- Caso 4: Q2, Q3 e NA3 desconhecidos.

Após a escolha do caso 1 para esse problema, preenche-se todos os dados pertinentes e escolhe-se a carga piezométrica do ponto B como sendo igual ao nível d'água do reservatório 2, conforme ilustrado na Figura 25.

**Figura 25 -** Dados de entrada aplicado no *software*.

Problema dos 3 Reservatórios, com perda de carga dada por Hazen-Williams

Selecione um dos casos para as incógnitas:

1 - Q1, Q2 e Q3     2 - D1, D2 e D3     3 - Q2, Q3 e D3     4 - Q2, Q3 e NA R3

Cota dos reservatórios

R1	R2	R3
30 (m)	24 (m)	15 (m)

Vazões

Q1 (m³/s)	Q2 (m³/s)	Q3 (m³/s)

Dados da tubulação

Comprimento 1 Unid.	Comprimento 2 Unid.	Comprimento 3 Unid.
1200 m	900 m	1500 m

Diâmetro 1 Unid.	Diâmetro 2 Unid.	Diâmetro 3 Unid.
300 mm	200 mm	150 mm

C 1	C 2	C 3
90	120	125

Sobre o ponto B, foi dado:

Cota  
 Carga piezométrica

Cota piezométrica do ponto B

Carga piezométrica: 24 m.c.a.

Calcular vazões    Limpar    Retornar

UFSJ  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SÃO JOÃO DEL-REI

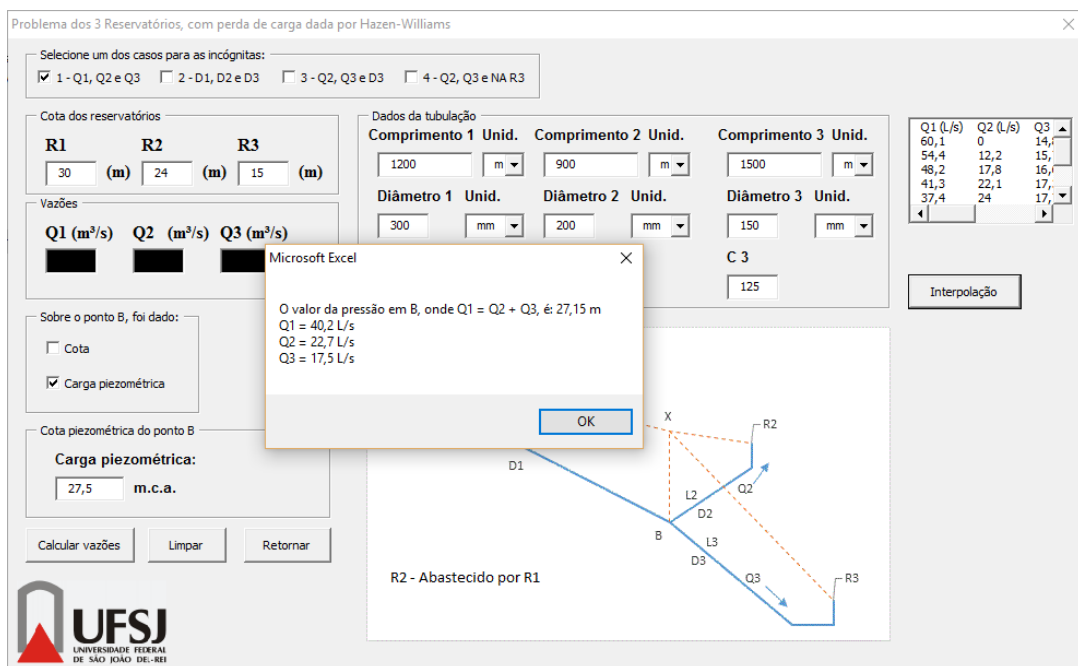
Fonte: acervo do autor.

Com o objetivo de tornar o *software* o mais didático possível, não foi implementado uma repetição automática dos cálculos até a obtenção do resultado final. Assim, o usuário deverá pressionar o botão “Calcular vazões” para cada valor de carga piezométrica que ele admitir até que se tenha dados suficientes para a interpolação e obtenção do resultado.

A medida em que o usuário insere nova carga piezométrica e rode o programa, é calculado a diferença entre as vazões, ou seja, Q1-Q2-Q3 ou Q3-Q1-Q2. Quando essa diferença se tornar negativa, o programa informará que não é mais necessário inserir nova carga piezométrica e que o usuário pode passar para o cálculo da interpolação e obter o resultado final, conforme Figura 26.

Essa metodologia foi implementada para que o estudante tenha um controle sobre o dado escolhido para a carga piezométrica, pois, com isso, ele pode gerenciar se é necessário fazer um incremento da ordem de metro neste valor ou da ordem de decímetro.

**Figura 26 – Resultado da análise 3.**



Fonte: acervo do autor.

#### 5.4 Análise de desempenho 4 - (REDA, 2005)

Dado um sistema de três reservatórios (Figura 7), com os seus níveis d'água, comprimentos (L), coeficientes de condutividade para a fórmula de Hazen-Williams e as suas vazões, calcule os diâmetros e as perdas de carga de cada trecho.

Quadro 5 - Dados de entrada análise 4.

Tub.	L (m)	D (mm)	C	K <sup>4</sup>	Q (m <sup>3</sup> /s)	NA
1	750	?	125	1	0,045	30
2	600	?	110	1	0,025	25
3	400	?	125	1	0,020	13

#### 5.4.1 Solução teórica

Como  $Q_1 = Q_2 + Q_3$ , então o reservatório 2 é abastecido. Com isso, calculam-se as perdas de cargas em cada trecho atribuindo um valor para a carga piezométrica (CP) no ponto de interseção e, em seguida, calculam-se os respectivos diâmetros.

Considerando que existem quatro incógnitas (3 diâmetros e CP na interseção) e apenas três equações, deve-se utilizar algum critério prático para que o problema se torne hidráulicamente determinado.

Pimenta (1981) apresenta uma relação de mínimo custo das tubulações (Equação 18) que será empregada como a quarta equação para se determinar os diâmetros por meio de interações sucessivas.

$$\frac{D_1^6}{K_1 Q_1^2} = \frac{D_2^6}{K_2 Q_2^2} + \frac{D_3^6}{K_2 Q_3^2} \quad (18)$$

Afim de evitar prolongamentos desnecessários, admite-se como carga piezométrica 27,40 m no ponto de interseção e calculando-se os diâmetros nos trechos tem-se, em mm:

$$D_1 = 256, D_2 = 209 \text{ e } D_3 = 116$$

#### 5.4.2 Utilização da interface

O usuário deverá escolher o segundo caso na tela “Problema dos três reservatórios”, inserir os dados pertinentes e admitir, inicialmente, carga piezométrica em B igual ao nível do reservatório 2, conforme Figura 27.

---

<sup>4</sup> Coeficiente de ponderação de custo para cada trecho, dependente do tipo de tubo. Considerado no código como tipo único.

Figura 27 - Dados de entrada da análise 4.

Problema dos 3 Reservatórios, com perda de carga dada por Hazen-Williams

Selecione um dos casos para análise:

1 - Q1, Q2 e Q3  2 - D1, D2 e D3  3 - Q2, Q3 e D3  4 - Q2, Q3 e NA R3

Cota dos reservatórios

R1	R2	R3
30 (m)	25 (m)	13 (m)

Vazões

Q1 (m³/s)	Q2 (m³/s)	Q3 (m³/s)
0,045	0,025	0,020

Sobre o ponto B, foi dado:

Cota  
 Carga piezométrica

Cota piezométrica do ponto B

Carga piezométrica: 25 m.c.

Calcular diâmetros Limpar Retornar

Dados da tubulação

Comprimento 1 Unid.	Comprimento 2 Unid.	Comprimento 3 Unid.
750 m	600 m	400 m

Diâmetro 1 Unid.	Diâmetro 2 Unid.	Diâmetro 3 Unid.

C 1	C 2	C 3
125	110	125

Diagrama de rede: R1, R2, R3, L1, L2, L3, D1, D2, D3, B

UFSJ  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SÃO JOÃO DEL-REI

Fonte: acervo do autor.

Ao clicar em “Calcular diâmetros”, será apresentado ao usuário os dados acumulados dos diâmetros para cada CP adotada, além do resultado da razão entre os termos do lado esquerdo da Equação 18 com os do lado direito.

A interpolação dos dados deverá ser feita quando a coluna “Min. Custo” (Figura 28) resultar no primeiro valor acima de um. Fazendo isso, o programa irá calcular a interpolação para “Min.Custo” = 1, o que atende a igualdade apresentada pela Equação 18.

Vale ressaltar que quanto menor for a diferença entre os números a serem interpolados, menor será o erro, pois usa-se o método de interpolação linear.

Para o usuário saber se ele está no caminho certo para descobrir o valor de CP, que atenda as condições de contorno, basta observar o comportamento da coluna “Min. Custo”. Se os valores não tenderem para um, é sinal que os novos valores de CP devem ir em direção contrária da atual.

**Figura 28 - Resultado análise 4.**

Problema dos 3 Reservatórios, com perda de carga dada por Hazen-Williams

Selecione um dos casos para as incógnitas:  
 1 - Q1, Q2 e Q3     2 - D1, D2 e D3     3 - Q2, Q3 e D3     4 - Q2, Q3 e NAR3

Cota dos reservatórios  
**R1**    **R2**    **R3**  
 (m)     (m)     (m)

Vazões  
**Q1 (m³/s)**    **Q2 (m³/s)**    **Q3 (m³/s)**  
       

Dados da tubulação  
**Comprimento 1 Unid.**    **Comprimento 2 Unid.**    **Comprimento 3 Unid.**  
 m     m     m

**Diâmetro 1 Unid.**    **Diâmetro 2 Unid.**    **Diâmetro 3 Unid.**  
       

**Min. Custo**    **Pressão B**  
      
      
   

Sobre o ponto B, foi dado:  
 Cota  
 Carga piezométrica

Cota piezométrica do ponto B  
**Carga piezométrica:**  
 m.c.a.

Calcular diâmetros    Limpar    Retornar

Microsoft Excel

O valor da pressão em B, onde  $Q1 = Q2 + Q3$ , é 27,39 m  
D1 = 256 mm  
D2 = 209 mm  
D3 = 116 mm

R2 - Abastecido por R1

Fonte: acervo do autor.

## 6 Considerações finais

A ideia do desenvolvimento de um *software* didático para ensino de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica pode auxiliar o corpo docente da UFSJ, visto que, são conhecidos os problemas dos alunos relacionados ao seu desempenho em disciplinas introdutórias do ciclo profissional do curso de Engenharia Civil.

Apesar de não ter sido utilizada como ferramenta didática na prática, este *software* aparenta ter um grande potencial para este fim, uma vez que ele possui várias funcionalidades em que o estudante pode, a partir de interações simples, praticar e visualizar o comportamento de diversas situações hidráulicas.

A utilização do *Visual Basic for Application* resultou em uma interface amigável e de fácil utilização, restando ao usuário a inserção dos dados de entrada e, em alguns casos, aplicação de conceitos teóricos. Nas análises de desempenho, as interfaces agiram como esperado, fornecendo resultados com as precisões propostas e sem nenhum erro que atrapalhasse a interação *software*-usuário.

Contudo, vale ressaltar que a figura do professor ainda é de grande importância como mediador do conteúdo didático e que o *software* educativo é apenas mais uma ferramenta e não o detentor do conhecimento. Caso seja bem utilizado pode ser um excelente método para a construção e desenvolvimento das habilidades propostas pelas disciplinas.

“O emprego do *software* educativo para uma educação de qualidade não é virtual, é real, mas que só terá seu potencial todo explorado com muita pesquisa, trabalho e inovações nas didáticas de ensino”. (SOFFA e ALCÂNTARA, 2008, p. 356)



## 7 Bibliografia

AZEVEDO NETTO, J. M. D. et al. **Manual de Hidráulica**. 8ª edição. ed. São Paulo: Edgard Blücher, v. único, 1998.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, v. único, 2008.

ESCOLA, J. P. L.; DUCATTI, J. A. *Software* didático para ensino de Cálculo nas séries iniciais dos cursos superiores de Engenharia e Ciência da Computação. **Anais do VII WORKSHOP Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza**, São Paulo, v. 1, n. 7, Outubro 2012. ISSN 2175-1897.

JUCÁ, S. C. S. A Relevância dos *Softwares* Educativos na Educação Profissional. **Revista Ciências e Cognição**, Fortaleza, v. 8, p. 22-28, 2016.

MEDEIROS FILHO, C. F. **Notas de aulas: saneamento básico e engenharia sanitária**, 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/>>. Acesso em: 24 Fevereiro 2016.

PALANDI, J. et al. **Fluidos Reais e Ideais**. 1. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 1, 2010.

PIMENTA, F. C. **Curso de hidráulica geral**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v. 1, 1981.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª. ed. São Carlos: EESC-USP, v. único, 2006.

REDA, A. L. D. L. *Software* didático de hidráulica para docentes e alunos: o problema dos três reservatórios. **COBENGE: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Campina Grande, Setembro 2005.

SANCHO, J. M. **Para uma tecnologia educacional**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

SILVA, R. N.; BORBA, E. O. A importância da didática no ensino superior. **Revista Educação e Linguagem**, Cuiabá, v. 5, n. 1, p. 87-116, Novembro 2011. ISSN 1984-

3437.

SOFFA, M. M.; ALCÂNTARA, P. R. D. C. O uso de *software* educativo: reflexões da prática docente na sala informatizada. **VIII Congresso Nacional de Educação da PUCPR (EDUCERE) – Edição Internacional**, Curitiba, v. 1, n. 8, p. 335-357, Outubro 2008.

## Anexo A

### Código perda de carga unitária

```
Function PCarga(Q As Single, d As Single, m As String, t As String, Rey As Single,
RugRel As Single)
pi = 3.141592654
g = 9.81

Select Case t

    Case Is = "Hazen-Williams"

        Select Case m
            Case Is = "Aço Galvanizado"
                C = 125
            Case Is = "Aço sem Costura"
                C = 130
            Case Is = "Aço Soldado"
                C = 130
            Case Is = "Cobre-Latão"
                C = 130
            Case Is = "Ferro Fundido"
                C = 130
            Case Is = "Concreto"
                C = 120
            Case Is = "PVC"
                C = 150
            Case Is = "PEAD"
                C = 150
        End Select

        Select Case d
            Case Is < 50
                Q = 0
        End Select

        Select Case Q
            Case Is > 3 * pi * (d ^ 2) / 4000
                Q = 0
            Case Is < 0
                Q = 0
        End Select
PCarga = 10.65 * ((Q * 0.001 / C) ^ 1.85) * ((d * 0.001) ^ -4.87)
    Case Is = "Fórmula Universal"
        V = 4000 * Q / (pi * d ^ 2)
        Select Case Rey
            Case Is <= 0
                f = 0
            Case Else
                f = ((64 / Rey) ^ 8 + 9.5 * (Log(RugRel / (3.7) + 5.74 / (Rey ^ (0.9))))
- (2500 / Rey) ^ 6) ^ (-16)) ^ (1 / 8)
        End Select
PCarga = f * (V ^ 2) / ((d / 1000) * 2 * g)
End Select
End Function
```