

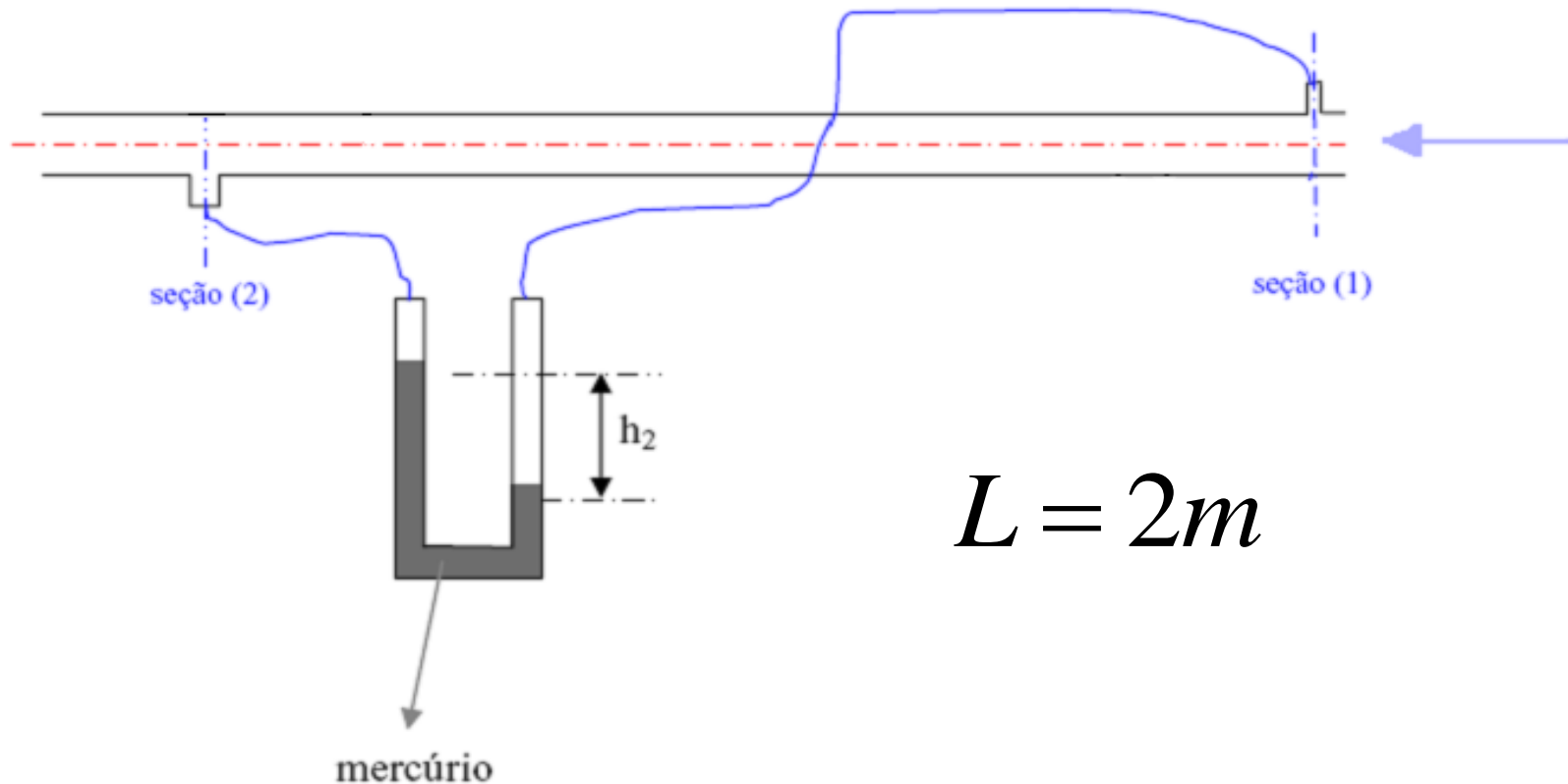


Centro Universitário da **FEI**

Métodos alternativos para o cálculo da perda de carga em tubulações

Monitoria de Mecânica dos Fluidos I e II

Determinação experimental



**<http://escoladavida.eng.br>

Determinação experimental

Tabela de dados	variação do nível do tanque (mm)	tempo (s)	h (mmHg)
1	0	0	0
2	50	10,28	175
3	50	11,16	157
4	50	11,59	132
5	50	13,12	109
6	50	14,41	91
7	50	15,71	73
8	50	19,41	55
9	50	23,78	33
10	50	31,6	18

Determinação experimental

Vazão (m³/s)	Vazão (L/s)	Vazão (m³/h)	Velocidade média (m/s)	Número de Reynolds (1)	Perda de carga (m)
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
0,00268	2,7	9,7	4,8	127544	2,2
0,00247	2,5	8,9	4,4	117487	2,0
0,00238	2,4	8,6	4,3	113128	1,7
0,00210	2,1	7,6	3,8	99936	1,4
0,00191	1,9	6,9	3,4	90989	1,1
0,00175	1,8	6,3	3,2	83460	0,918
0,00142	1,4	5,1	2,5	67550	0,691
0,00116	1,2	4,2	2,1	55137	0,415
0,000872	0,872	3,1	1,6	41492	0,226

$$Q = \frac{A_{\text{tanque}} \cdot \Delta h}{t}$$

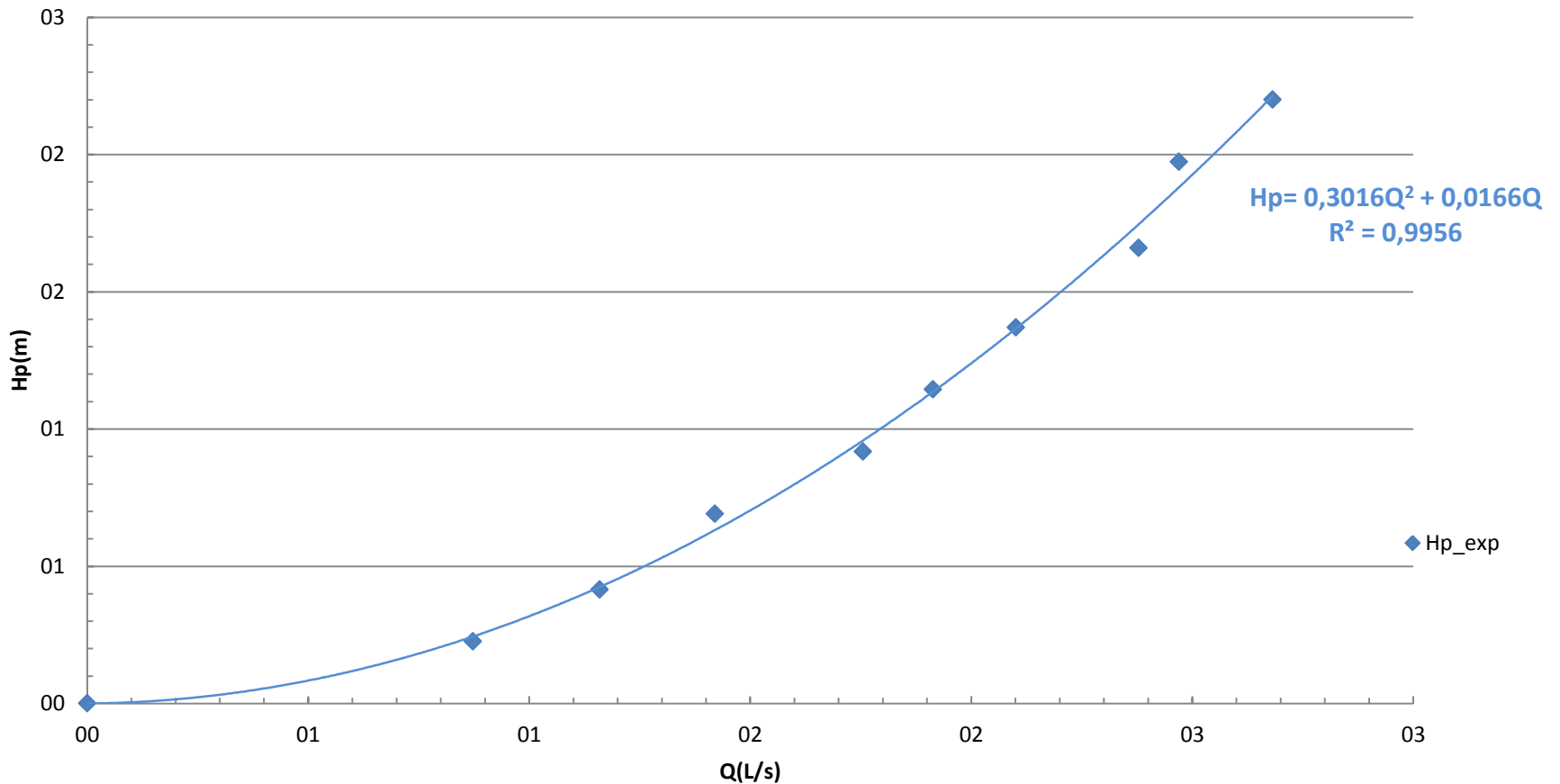
$$h_p = h \cdot \left(\frac{\gamma_{Hg} - \gamma_{\text{Água}}}{\gamma_{\text{Água}}} \right)$$



Centro Universitário da **FEI**

Determinação experimental

Hp_exp



Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330

QUADRO 8.1 – Algumas fórmulas práticas

Ano	Autor	País	Ano	Autor	País		
1	1775	Chézy	França	21	1877	Fanning	Estados Unidos
2	1779	Dubuat	França	22	1877	Hamilton Smith	Estados Unidos
3	1791	Woltmann	Alemanha	23	1878	Colombo	França
4	1796	Eytekweub	Alemanha	24	1878	Darrach	Estados Unidos
5	1800	Coulomb	França	25	1880	Ehrmann	Alemanha
6	1802	Eisenmann	Alemanha	26	1880	Iben	Alemanha
7	1804	Prony	França	27	1881	Franck	Alemanha
8	1825	D'Aubuisson	França	28	1883	Reynolds	Inglaterra
9	1828	Tadini	Itália	29	1884	Thrupp	Inglaterra
10	1845	Weisbach	Alemanha	30	1886	Unwin	Estados Unidos
11	1851	Saint Venant	França	31	1887	Stearbs-Brusch	Estados Unidos
12	1854	Hagen	Alemanha	32	1889	Geslain	França
13	1855	Dupuit	França	33	1889	Tutton	Inglaterra
14	1855	Leslie	Inglaterra	34	1890	Manning	Irlanda
15	1855	Darcy	França	35	1892	Flamant	França
16	1867	Ganguillet-Kutter	Suíça	36	1896	Lang	Alemanha
17	1867	Levy	França	37	1898	Fornié	França
18	1868	Bresse	França	38	1902	Hiram-Mills	Estados Unidos
19	1868	Gauckler	França	39	1903	Christen	Estados Unidos
20	1873	Lampe	Alemanha	40	1903*	Hazen-Williams	Estados Unidos

* Verificada em 1920 e em 1994.



Centro Universitário da **FEI**

Fórmulas utilizadas para determinação da perda de carga:

- Fórmula Universal
- Fórmula de Maurice Lévy
- Fórmula de Manning
- Fórmula de Flammant
- Fórmula Fair-Whipple-Hsiao



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Universal

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Onde:

h_f =perda de carga distribuída (m)

v =velocidade média (m/s)

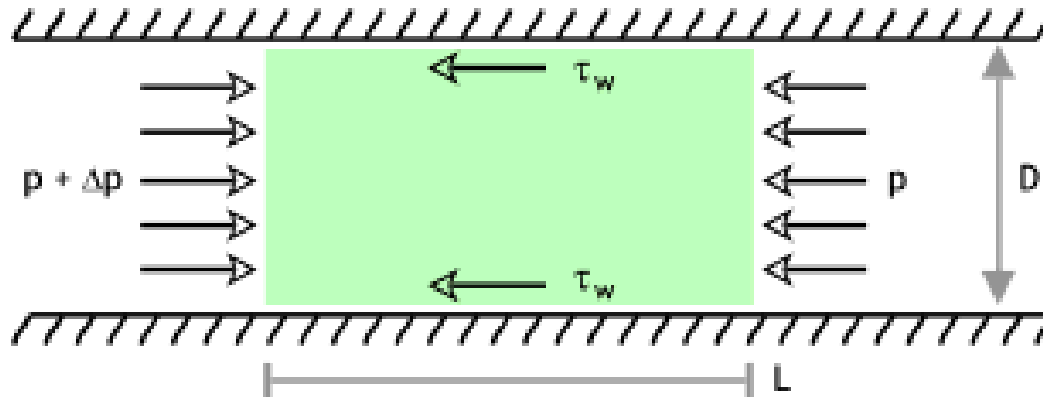
D =diâmetro do tubo (m)

L =comprimento do tubo (m)

g =aceleração da gravidade local (m/s²)

f =coeficiente de perda de carga

Dedução da Fórmula Universal



$$c_f = \frac{\text{tensão tangencial na parede}}{\text{pressão do fluido}}$$

$$c_f = \frac{\tau_w}{p}$$

$$f = 4 \times c_f$$



Centro Universitário da **FEI**

Dedução da Fórmula Universal

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\gamma} \rightarrow \frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\rho \times g} \rightarrow p = \frac{\rho \times v^2}{2}$$

Condição de equilíbrio:

$$\Delta p \times \frac{\pi \times D^2}{4} = \tau_w \times (\pi \times D \times L) \rightarrow \tau_w = \frac{\Delta p \times D}{4L}$$



Centro Universitário da FEI

Dedução da Fórmula Universal

Substituindo na primeira equação:

$$c_f = \frac{\Delta p \times D}{2L \times \rho \times v^2} \rightarrow \Delta p = 2 \times c_f \times \frac{L}{D} \times v^2 \times \rho$$

$$\Delta p = (4c_f) \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2 \times \rho}{2} \rightarrow \Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2 \times \rho}{2}$$



Centro Universitário da **FEI**

Dedução da Fórmula Universal

Finalmente:

$$hf = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g}$$



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Universal

Cálculo dos f		
$f_{Haaland}$	$f_{Swamee e Jain}$	$f_{Churchill}$
0,0000	0,0000	0,0000
0,0239	0,0242	0,0242
0,0240	0,0243	0,0243
0,0240	0,0244	0,0244
0,0242	0,0246	0,0246
0,0243	0,0248	0,0248
0,0245	0,0249	0,0249
0,0249	0,0254	0,0254
0,0253	0,0258	0,0258
0,0262	0,0267	0,0267

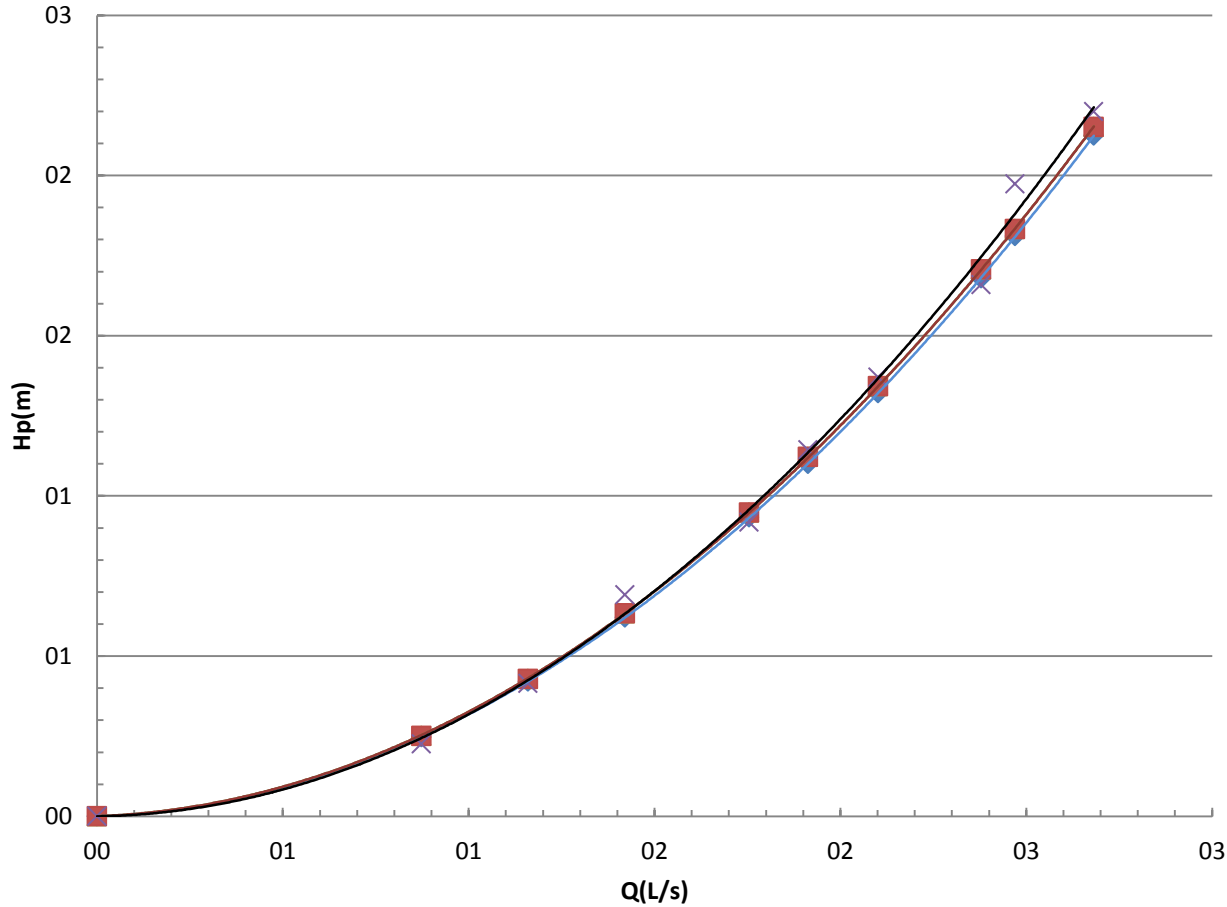
Perda de carga		
<i>Haaland</i>	<i>Swamee e Jain</i>	<i>Churchill</i>
0,0	0,0	0,0
2,1	2,2	2,2
1,8	1,8	1,8
1,7	1,7	1,7
1,3	1,3	1,3
1,1	1,1	1,1
0,9	0,9	0,9
0,6	0,6	0,6
0,4	0,4	0,4
0,2	0,3	0,3

Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Universal



$$H_p = 0,2818Q^2 + 0,0364Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,3016Q^2 + 0,0166Q$$

$$R^2 = 0,9956$$

- ◆ Hp_Universal_Haaland
- ▲ Hp_Universal_Churchill
- Hp_Universal_Swamee e Jain
- × Hp_exp

Fórmula de Maurice Lévy

$$U = \alpha \cdot \sqrt{\frac{D}{2} \cdot \left(1 + \beta \cdot \sqrt{\frac{D}{2}} \right) \cdot J}$$

Onde:

J=perda de carga unitária (m/m)

U=velocidade média (m/s)

D=diâmetro do tubo (m)

Tubulação	α	β
usada	20,5	3
pouco usada	25	2
nova	36,4	1

Fórmula de Maurice Lévy

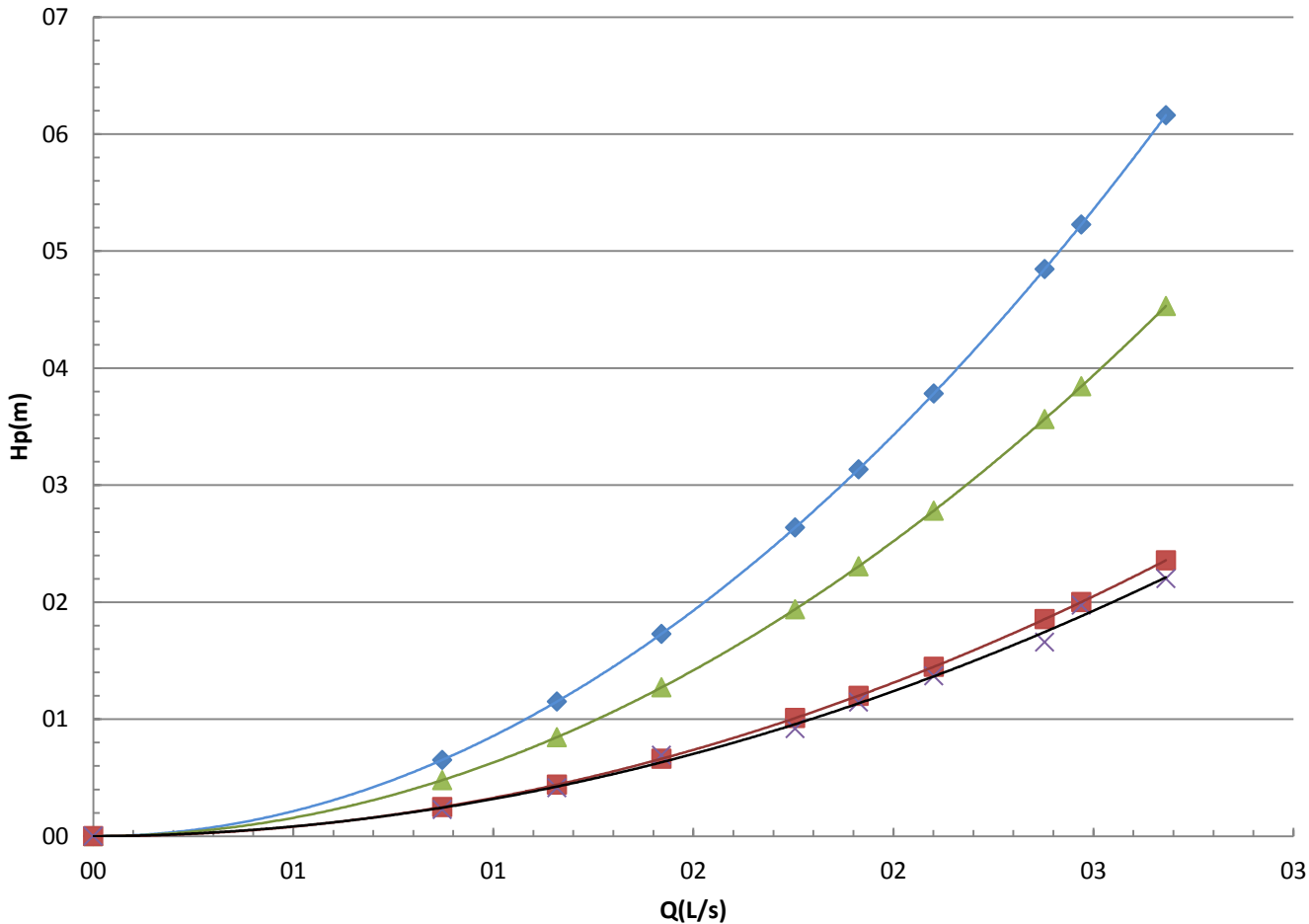
Perda de carga unitária J(m/m)		
Tubulação usada	Tubulação pouco usada	Tubulação nova
0,0	0,0	0,0
3,1	2,3	1,2
2,6	1,9	1,0
2,4	1,8	0,9
1,9	1,4	0,7
1,6	1,2	0,6
1,3	1,0	0,5
0,9	0,6	0,3
0,6	0,4	0,2
0,3	0,2	0,1

Perda de carga distribuída hp(m)		
Tubulação usada	Tubulação pouco usada	Tubulação nova
0,0	0,0	0,0
6,2	4,5	2,4
5,2	3,8	2,0
4,8	3,6	1,9
3,8	2,8	1,4
3,1	2,3	1,2
2,6	1,9	1,0
1,7	1,3	0,7
1,2	0,8	0,4
0,7	0,5	0,2



Fórmula de Maurice Lévy

Centro Universitário da **FEI**



$$H_p = 0,2818Q^2 + 0,0364Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$$

$$R^2 = 1$$

$$H_p = 0,3016Q^2 + 0,0166Q$$

$$R^2 = 0,9956$$

◆ Hp_Maurice Lévy_Usada

▲ Hp_Maurice Lévy_Pouco usada

■ Hp_Maurice Lévy_nova

× Hp_exp

Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Manning

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

Onde:

J=perda de carga unitária (m/m)

A=área de passagem (m²)

Rh=raio hidráulico (m)

Q=vazão em volume (m³/s)

n=coef. De Manning (material)

$$0,014 < n < 0,019$$

Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Manning

Perda de carga unitária J(m/m)					
<i>com n=0,014</i>	<i>com n=0,015</i>	<i>com n=0,016</i>	<i>com n=0,017</i>	<i>com n=0,018</i>	<i>com n=0,019</i>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,4	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3
1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6
0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4
0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3

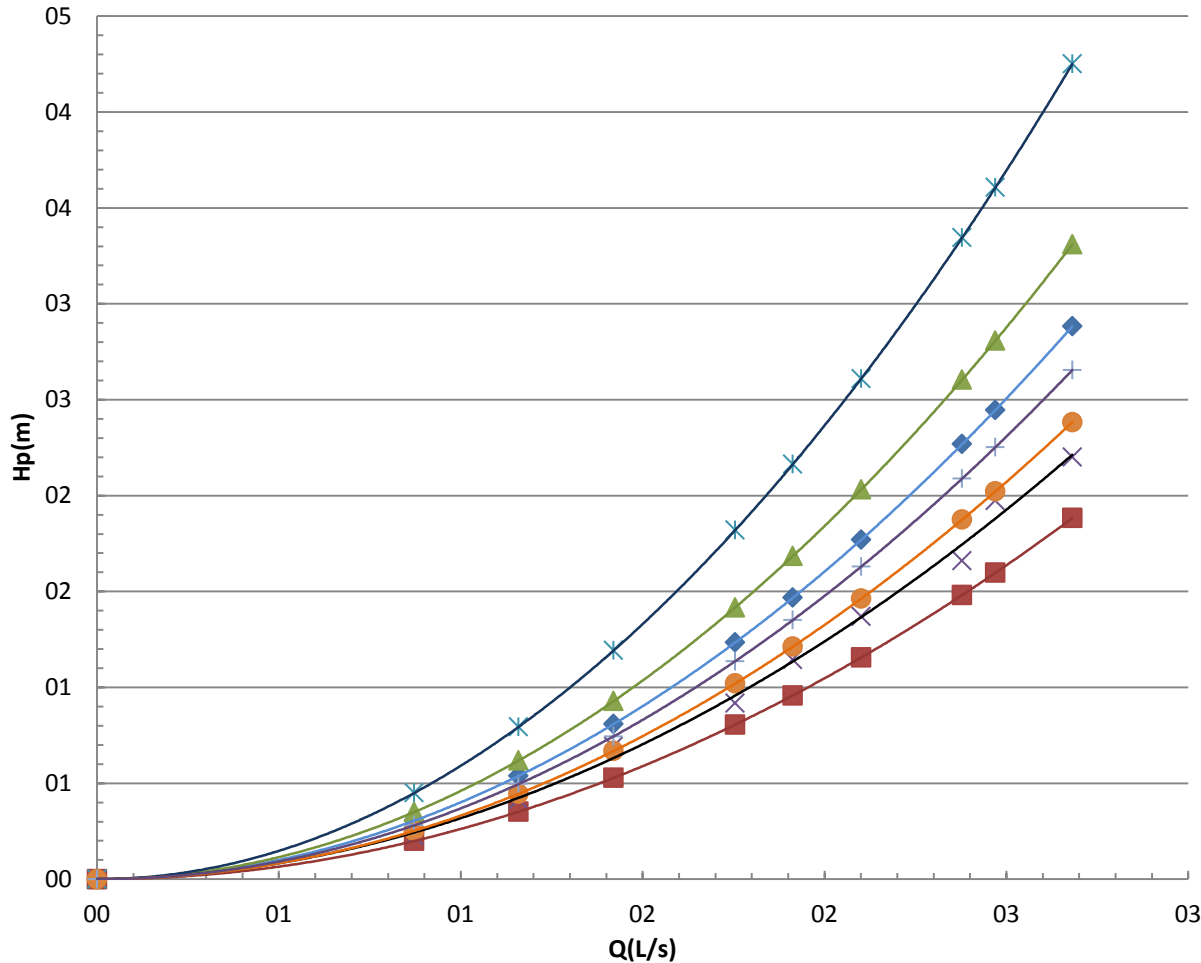
Perda de carga distribuída hp(m)					
<i>com n=0,014</i>	<i>com n=0,015</i>	<i>com n=0,016</i>	<i>com n=0,017</i>	<i>com n=0,018</i>	<i>com n=0,019</i>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,9	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3
2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,5
2,3	2,6	3,0	3,3	3,7	4,2
1,8	2,0	2,3	2,6	2,9	3,3
1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7
1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3
0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5
0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6

Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Manning



- $H_p = 0,2818Q^2 + 0,0364Q$
 $R^2 = 1$
- $H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$
 $R^2 = 1$
- $H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$
 $R^2 = 1$
- $H_p = 0,3016Q^2 + 0,0166Q$
 $R^2 = 0,9956$
- $H_p = 0,5912Q^2 - 1E-14Q$
 $R^2 = 1$
- $H_p = 0,3314Q^2 - 7E-15Q$
 $R^2 = 1$
- $H_p = 0,3693Q^2 - 4E-15Q$
 $R^2 = 1$
- ◆ $H_p_Manning_n=0,014$
- ▲ $H_p_Manning_n=0,015$
- $H_p_Manning_n=0,016$
- × H_p_exp
- ⋈ $H_p_Manning_n=0,017$
- $H_p_Manning_n=0,018$
- + $H_p_Manning_n=0,019$

Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Flammant

$$J = \frac{4 \cdot b \cdot v^{7/4}}{D^{5/4}}$$

Onde:

J=perda de carga unitária (m/m)

v=velocidade média (m/s)

D=diâmetro do tubo (m)

b= rugosidade do material (m)



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Flammant

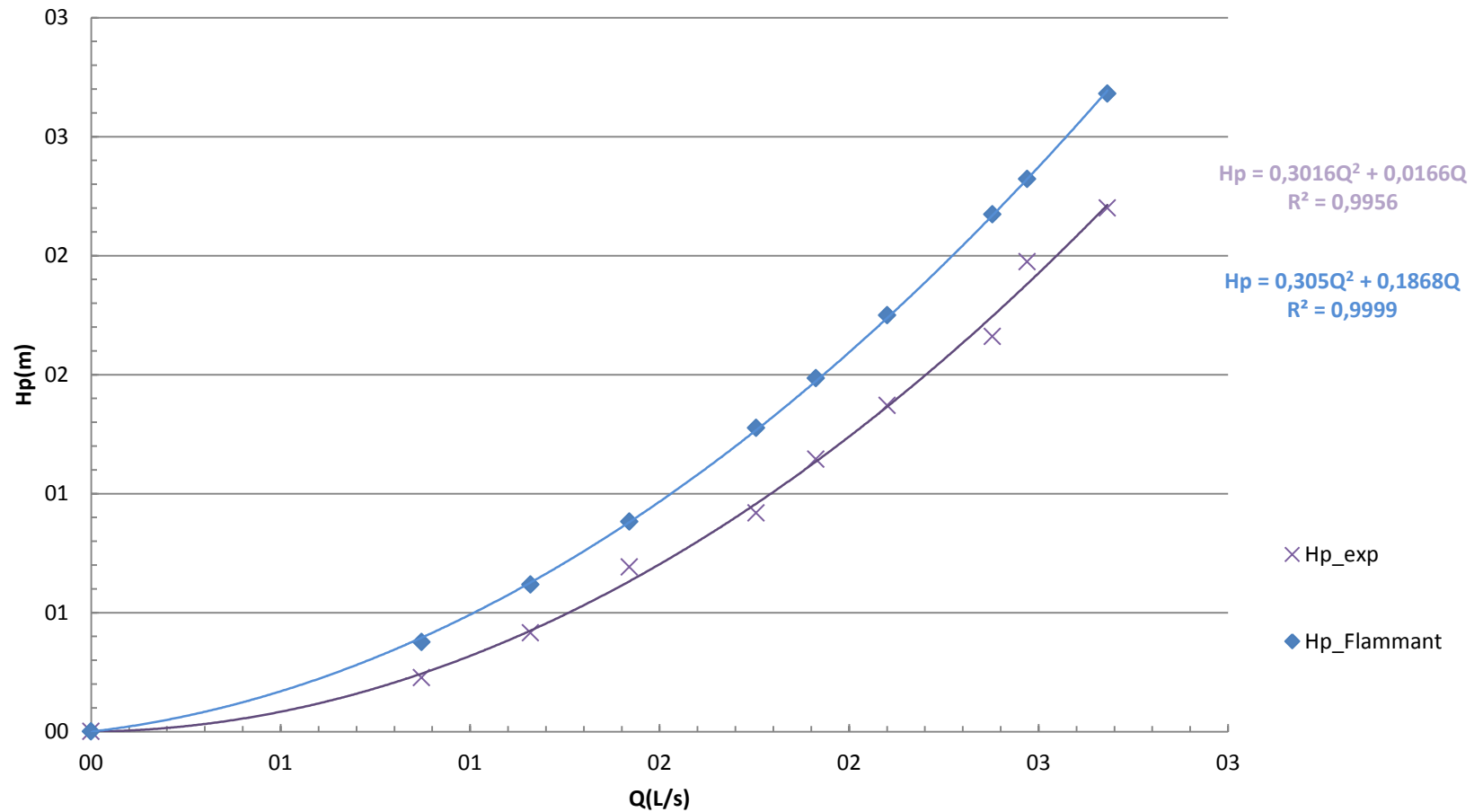
Perda de carga unitária $J(m/m)$
0,0
1,3
1,2
1,1
0,874
0,742
0,638
0,441
0,309
0,188

Perda de carga distribuída $h_p(m)$
0,0
2,7
2,3
2,2
1,7
1,5
1,3
0,881
0,618
0,376



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula de Flammant



Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Fair-Whipple-Hsiao

$$J = 0,002021 \cdot \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}}$$

Onde:

J=perda de carga unitária (m/m)

D=diâmetro do tubo (m)

Q=vazão em volume (m³/s)



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Fair-Whipple-Hsiao

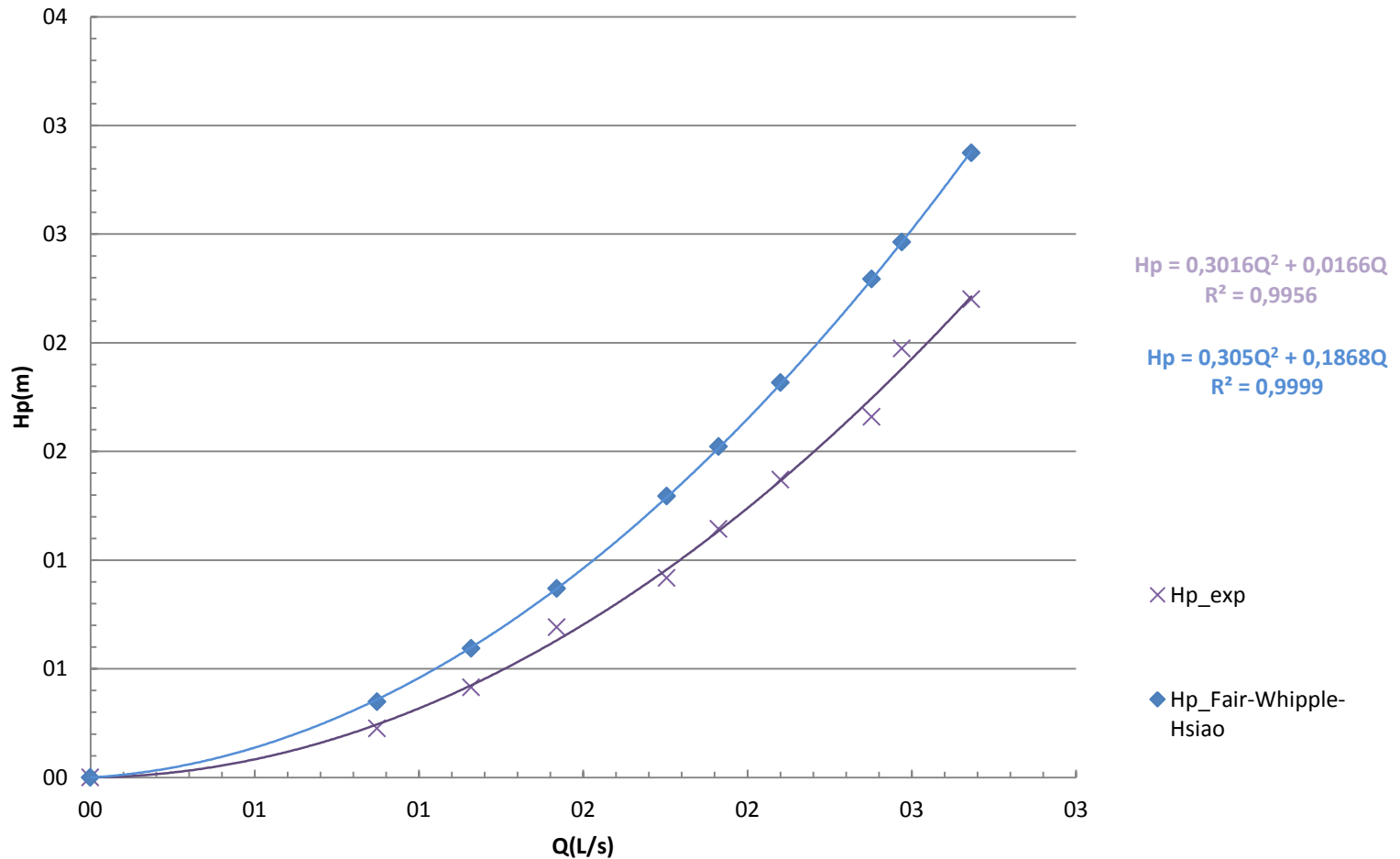
Perda de carga unitária J(m/m)
0,0
1,4
1,2
1,1
0,9
0,8
0,6
0,4
0,3
0,2

Perda de carga distribuída hp(m)
0,0
2,9
2,5
2,3
1,8
1,5
1,3
0,870
0,594
0,348



Centro Universitário da **FEI**

Fórmula Fair-Whipple-Hsiao



Métodos alternativos para o cálculo perda de carga
ME 4310 / ME 5330



Centro Universitário da **FEI**

Erro percentual

Fórmula Universal		
<i>Haaland</i>	<i>Swamee e Jain</i>	<i>Churchill</i>
0,0	0,0	0,0
3,4	2,2	2,2
8,3	7,1	7,1
1,2	2,8	2,8
3,6	2,0	2,0
3,9	1,9	1,9
1,6	3,3	3,3
10,2	8,4	8,4
1,3	3,3	3,3
8,9	11,0	11,0

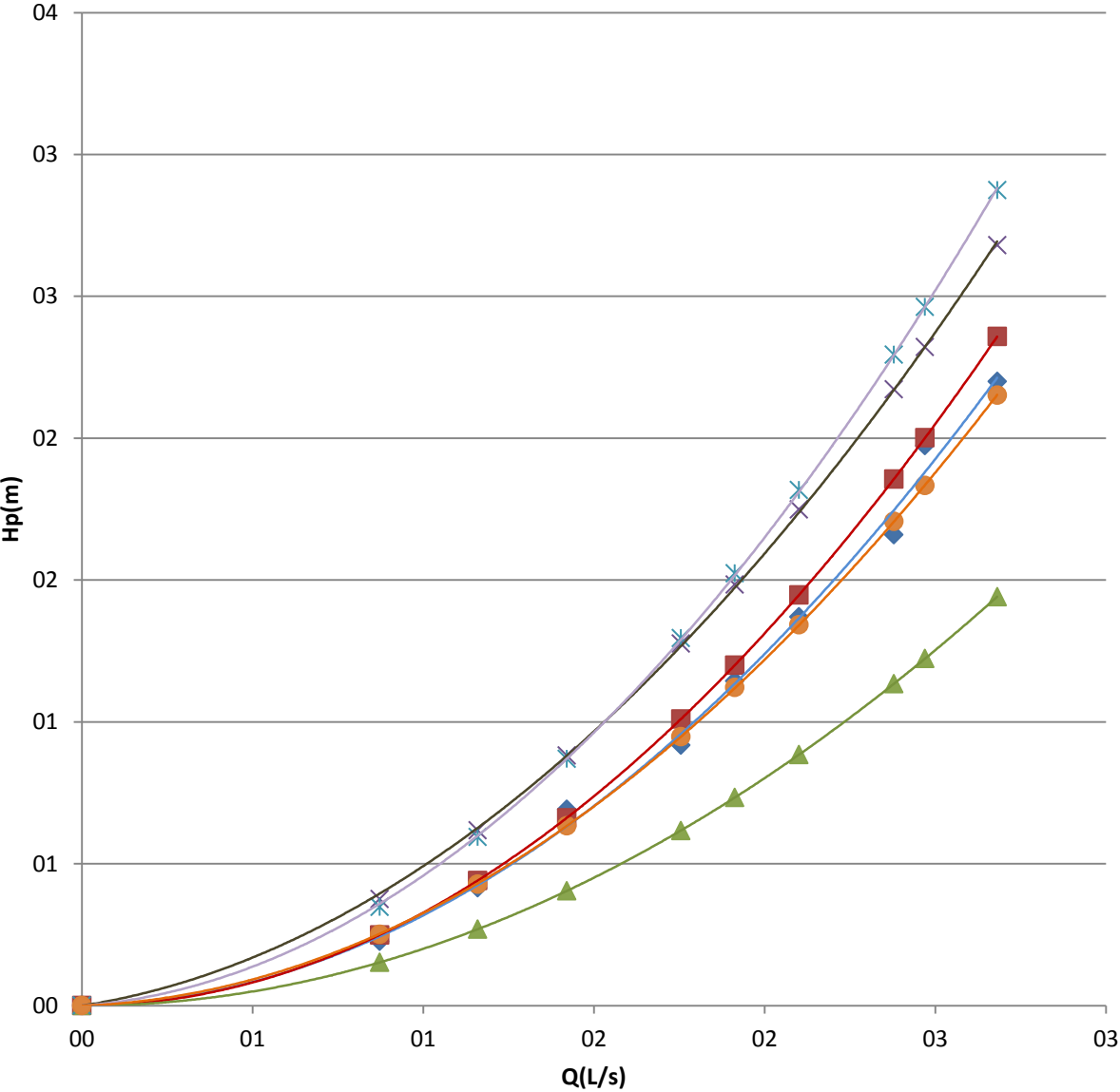
Maurice Lévy		
Usada	Pouco usada	Nova
0,0	0,0	0,0
180,1	106,0	7,2
164,9	94,8	1,4
192,1	114,8	11,8
176,1	103,0	5,7
174,1	101,6	4,9
187,5	111,4	10,0
150,0	83,8	4,3
177,6	104,1	6,2
188,2	111,9	10,3

Flammant
0,0
21,8
17,6
30,9
27,6
29,7
39,0
27,5
48,9
66,0

Manning					
<i>com n=0,014</i>	<i>com n=0,015</i>	<i>com n=0,016</i>	<i>com n=0,017</i>	<i>com n=0,018</i>	<i>com n=0,019</i>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31,1	50,4	71,2	93,2	116,6	141,4
24,0	42,3	61,9	82,8	104,9	128,3
36,7	56,9	78,5	101,5	126,0	151,8
29,2	48,3	68,7	90,5	113,5	137,9
28,3	47,2	67,5	89,1	112,0	136,2
34,5	54,4	75,7	98,4	122,4	147,8
17,0	34,3	52,8	72,5	93,4	115,4
29,9	49,1	69,6	91,5	114,7	139,2
34,8	54,8	76,1	98,8	122,9	148,4

Fair-Whipple-Hsiao
0,0
30,7
24,8
38,2
32,6
33,2
41,1
25,8
43,2
53,8

Comparação gráfica



$H_p = 0,3016Q^2 + 0,0166Q$
 $R^2 = 0,9956$

$H_p = 0,2005Q^2 - 2E-15Q$
 $R^2 = 1$

$H_p = 0,328Q^2 - 4E-15Q$
 $R^2 = 1$

$H_p = 0,3666Q^2 + 0,0918Q$
 $R^2 = 1$

$H_p = 0,305Q^2 + 0,1868Q$
 $R^2 = 0,9999$

$H_p = 0,2833Q^2 + 0,0432Q$
 $R^2 = 1$

- ◆ Hp_exp
- Hp_Maurice Lévy_nova
- ▲ Hp_Manning_n=0,014
- × Hp_Flammant
- ✱ Hp_Fair-Whipple-Hsiao
- Hp_universal_Churchill/Swamee e Jain



Centro Universitário da **FEI**

Referências Bibliograficas

- http://www3.fsa.br/LocalUser/barral/Op_unit/Perda_de_carga.pdf (acessado em 03/05)
- <http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/manual/carga.asp> (acessado em 03/05)
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Perda_de_carga (acessado em 03/05)
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%A1ulica_aplicada_a_tubula%C3%A7%C3%B5es (acessado em 03/05)
- <http://www.escoladavida.eng.br/> (acessado em 16/05)
- http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluid_0540.shtml (acessado em 17/05)
- BASTOS, Francisco de Assis A.; **Problemas de Mecânica dos fluidos**. Editora Guanabara Dois S.A., 1983
- NETTO, Azevedo; **Manual de Hidráulica**. 8ª ed. Editora Edgard Blucher Ltda, 1998.



Centro Universitário da **FEI**

Igor Hannonen Peão

Giuliana Bertaglia

Filipi Martins

Bruna Quagliano

Samir Santinho

Bruno Fantini