



## I-115 – AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS PRÁTICOS EMPREGADOS PARA A DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS

### **Alexandre Marcos Freire da Costa e Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheiro da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Potiguar (UnP) - Laurente Internacional Universities.

### **Dickson Everton Souza da Silva**

Graduando do curso de Engenharia Civil pela Universidade Potiguar (UnP) - Laurente Internacional Universities.

### **Karenn Priscylla Gomes de Lucena Souto**

Engenheira Civil formado pela Universidade Potiguar (UnP) - Laurente Internacional Universities. Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

### **Maikon Johnatam Filgueira de Carvalho**

Graduando do curso de Engenharia Civil pela Universidade Potiguar (UnP) - Laurente Internacional Universities.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Nascimento de Castro, 1597, Dix-Sept Rosado, CEP: 59054-180 – Natal/RN – Brasil – Tel: (84) 3215 – 1234 – e-mail: [alexandre.freire@unp.br](mailto:alexandre.freire@unp.br).

### **RESUMO**

Face à necessidade de se ter boas alternativas que visem à sustentabilidade do meio ambiente, que atendam satisfatoriamente as necessidades da população sem incorrer em desperdícios de água, assim como, possam possibilitar o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água de forma econômica, o presente trabalho observou os comportamentos das perdas de carga calculadas para tubulações de sistemas hidráulicos pré estabelecidos; analisando e avaliando o comportamento e a eficiência de algumas formulações e metodologias práticas já existentes na literatura e, usualmente utilizadas, como a metodologia de Hazen-Williams. Devido à metodologia científica (fórmula universal), também conhecida como a fórmula de Darcy-Weissbach ser mais custosa a maior parte dos projetistas preferem utilizar essas fórmulas práticas, pois as mesmas foram criadas para facilitar o desenvolvimento do projeto. Neste sentido, este estudo visa avaliar a(s) metodologia(s) prática(s) que tenha(m) um comportamento o mais similar possível com a metodologia científica – a Fórmula Universal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perda de Carga, Fórmula Universal, Métodos Práticos.

### **INTRODUÇÃO**

É notório a preocupação crescente de governantes, profissionais, estudantes, pesquisadores, empresários e a própria sociedade com a escassez da água para o consumo humano. Tal preocupação se dá principalmente pela alta taxa do crescimento da população mundial, gerando cada vez mais o aumento da necessidade do consumo de água, ou seja, o aumento da demanda populacional que esbarra justamente em problemas com a oferta de água e em sistemas hidráulicos projetados à atender a demanda com um alcance futuro de crescimento populacional.

As tubulações de um sistema hidráulico são destinadas a conduzir água de unidades/dispositivos hidráulicos, como reservatórios e estações elevatórias, até as peças hidráulicas onde será realizado o consumo, como nas ligações prediais. Assim, de uma unidade de captação até o destino final, o consumidor, a água, por menor que seja o sistema hidráulico, proporcionalmente percorre um longo caminho. Durante o seu escoamento por meio de um conduto, sendo utilizadas tubulações para sistemas em condutos forçados, o qual ao longo do percurso ocorre perda de energia, energia esta, que é gasta segundo a necessidade em vencer as resistências existentes, como o atrito ocasionado em contato do fluido com a parede da tubulação e a própria resistência devido à viscosidade, que se opõem ao escoamento, e são dissipadas em forma de calor (NEVES, 1989).

Neste contexto, o tema foi desenvolvido devido à necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o comportamento da perda de carga em sistemas hidráulicos, segundo os métodos mais empregados no dimensionamento.

O presente trabalho observou o comportamento das perdas de carga em tubulações de sistemas hidráulicos pré estabelecidos, analisando e avaliando o comportamento e a eficiência de algumas formulações e metodologias práticas já existentes na literatura e, usualmente utilizadas, com a metodologia de Hazen-Williams.

Devido à metodologia científica (fórmula universal), também conhecida como a fórmula de Darcy-Weissbach, ser mais custosa, a maior parte dos projetistas preferem utilizar essas fórmulas práticas, pois as mesmas foram criadas para facilitar o desenvolvimento do projeto.

O presente estudo visa avaliar a(s) metodologia(s) prática(s) que tenha(m) um comportamento o mais similar possível com a metodologia científica – a Fórmula Universal.

## METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O estudo desenvolveu-se por confrontar a fórmula universal da perda de carga com as formulações práticas usualmente empregadas em dimensionamentos de sistemas hidráulicos, como em sistemas de abastecimento de água, tendo por objetivo determinar o modelo matemático existente que gere um sistema mais econômico frente à menor perda de carga possível e a mais próxima da realidade. A comparação foi feita em relação à variação de diâmetros com vazões e materiais pré estabelecidos. Simulou-se modelos pré fixados e com a utilização de planilhas e gráficos identificou-se o modelo existente que possui um desvio padrão o mais linear em relação a fórmula universal (figura 01), sendo efetuado por análise das variações dos resultados obtidos por meio das diversas formulações. A pesquisa teve características descritivas, pois se trata da observação de fenômenos, os quais foram descritos, classificados e observados.

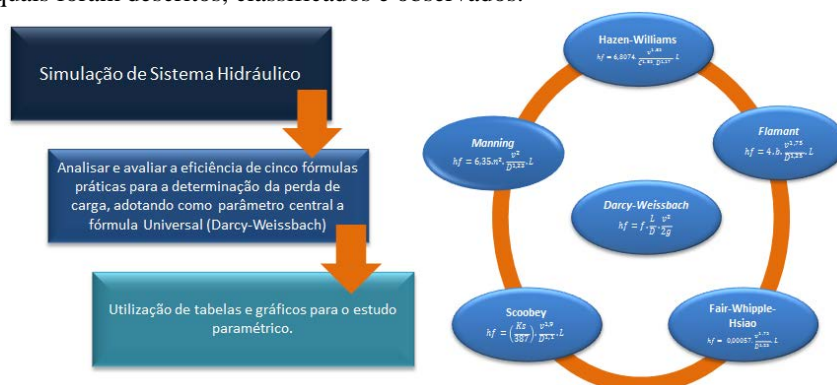


Figura 01. Definição da fórmula prática *c/* desvio padrão mais linear em relação à fórmula de Darcy-Weissbach.

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas. Sendo a primeira uma discussão literária das metodologias práticas utilizadas em dimensionamento de sistemas de abastecimento de água no Brasil, frente à metodologia científica – fórmula universal. A segunda etapa se realizou a simulação matemática entre as metodologias existentes em comparação aos sistemas hidráulicos quando determinados pela fórmula universal, sendo gerados tabelas e gráficos de simulação.

## PRIMEIRA ETAPA: ESTUDO DA LITERATURA

Os fluidos em maneira geral quando necessitam serem transportados ou conduzidos de um lugar para outro escoam em condutos e estão submetidos a pressões elevadas ou somente sob os efeitos da pressão atmosférica. Quando o transporte da massa fluida está submetido a pressões superiores a pressão atmosférica denomina-se que o escoamento está sendo efetuado por conduto forçado, ao contrário, quando somente há atuação da pressão atmosférica designa-se que o escoamento é realizado por condutos livres.

A maioria das aplicações da hidráulica na engenharia diz respeito à utilização de tubos. Tubo é o conduto usado para o transporte de fluidos, normalmente de seção transversal circular (AZEVEDO NETTO et al, 1998).

Assim o escoamento em tubulações pode ser definido por equações do movimento real ao longo de linhas de corrente, as quais estão confinadas pelas paredes da tubulação, em termos do escoamento médio.

Esta pesquisa limita-se as simulações matemáticas ao escoamento em condutos forçados, por se tratar da grande maioria das aplicações da hidráulica em sistemas de abastecimento.

Ao longo da história inúmeros pesquisadores estudaram o comportamento do escoamento dos líquidos em canalizações e a determinação das perdas de carga. As dificuldades encontradas no estudo analítico da questão são muitas que a maioria das comprovações existentes foi definida experimentalmente. Na ocasião, após várias investigações experimentais conduzidas por Darcy e Weissbach, dentre outros, com tubos de seção circular, concluiu-se que a resistência ao escoamento da água é (AZEVEDO NETTO et al, 1998):

- a) diretamente proporcional ao comprimento da canalização ( $\pi DL$ );
- b) inversamente proporcional a uma potência do diâmetro ( $1/D^m$ );
- c) função de uma potência da velocidade média ( $v^n$ );
- d) variável com a natureza das paredes dos tubos (rugosidade), para o escoamento em regime turbulento;
- e) independente da posição do tubo;
- f) independente da pressão interna sob a qual o líquido escoar;
- g) função de uma potência da relação entre a viscosidade dinâmica e a massa específica do fluido ( $\mu/\rho$ )<sup>r</sup>.

As primeiras abordagens científicas referentes às relações físicas que regem o movimento dos líquidos em tubulações datam de meados do século XVIII, com Chezy e depois aprimorada com Darcy e Weissbach no século XIX, resultando na conhecida fórmula universal, ou fórmula de Darcy-Weissbach, sendo considerado o método científico para determinação da perda de carga no escoamento dos fluidos incompressíveis (AZEVEDO NETTO et al, 1998).

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \text{Equação 01.}$$

Onde:

hf: Perda de carga distribuída;

f: Coeficiente de atrito;

L: Comprimento da tubulação;

D: Diâmetro da tubulação;

v: velocidade média do escoamento;

g: Aceleração da gravidade.

Podendo ainda, a fórmula universal ser expressa em função da vazão de escoamento (Q):

$$hf = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5 \cdot g} = 0,0827 \cdot \frac{f \cdot L \cdot Q^2}{D^5} \quad \text{Equação 02.}$$

Conforme Azevedo Netto et al (1998), apesar de ser considerada a metodologia científica mais próxima de uma simulação real em relação a outros modelos matemáticos existentes, alguns fatores da fórmula universal descritos a seguir necessitam serem ajustados, os quais são compensados na determinação do coeficiente de atrito:

- a) a perda de carga não varia exatamente com o quadrado da velocidade, mais sim com uma potência que geralmente varia entre 1,75 a 2,0;
- b) quando expressa em função da vazão, experiências demonstram que a perda de carga varia mais próximo do real quando o expoente do diâmetro (D) é próximo de 5,25 e não necessariamente 5,0 como apresentado da fórmula;

- c) o coeficiente de atrito “f” é determinado em função da rugosidade do tubo, da viscosidade e da massa específica do líquido, da velocidade média de escoamento e do diâmetro, neste sentido, o seu cálculo passa ser um processo interativo mais complexo do que outros métodos usualmente utilizados no dimensionamento de sistemas hidráulicos.

### O COEFICIENTE DE ATRITO “f”.

Nos problemas de escoamento de líquidos em canalizações, o coeficiente de atrito, número adimensional, é função do número de Reynolds e da rugosidade, característica esta última devido ao material que constitui a tubulação. No cálculo do coeficiente de atrito considera-se para a resolução dos problemas hidráulicos a rugosidade relativa (k/D) (AZEVEDO NETTO et al, 1998).

Devido o coeficiente de atrito relacionar-se com o número de Reynolds (Re), no dimensionamento do escoamento dos líquidos em tubulações deve-se observar como se desenvolve o transporte da massa fluida ao longo da canalização; podendo, o movimento, em função do diâmetro interno da tubulação, a velocidade de escoamento e a viscosidade do líquido, desenvolver-se com as partículas fluidas bem definidas e ordenadas na linha corrente, denominando-se regime laminar, já o contrário, quando se identifica que as partículas distribuem-se bem desordenadas, o regime de escoamento é classificado como turbulento.

Pela definição teórica e experimental efetuada por Osborne Reynolds (1842 a 1912), devido à relação existente entre as forças de inércia e as de viscosidade”, tem-se:

$$Re = \frac{\rho.v.D}{\mu} = \frac{v.D}{\vartheta} \quad \text{Equação 03.}$$

Onde:

- ρ: massa específica do líquido;
- v: velocidade média de escoamento;
- D: diâmetro interno da tubulação;
- μ: viscosidade dinâmica do líquido;
- ϑ: viscosidade cinética do líquido.

No estudo do escoamento dos líquidos, o que se verifica é que este quando em movimento estabelece uma camada aderente e estacionária, atribuindo-se um gradiente de velocidade nulo, junto à parede da tubulação denominada de filme ou película laminar. No regime laminar, face à estabilidade das partículas no escoamento, a película laminar junto ao material não interfere no transporte da massa fluida, o que se verifica é tão somente uma deformação contínua desta massa deslocada, sendo a viscosidade responsável pela perda de carga (AZEVEDO NETTO et al, 1998).

Conforme pode ser observado em Neves (1989), para os encanamentos em que o escoamento dar-se no regime laminar o número de Reynolds é inferior a 2100 e, por meio da fórmula de Hagen-Poiseuille, dois cientistas que primeiros verificaram o comportamento da perda de carga face à variação de velocidade, sendo expressa por:

$$hf = \frac{128.\mu}{\pi.\gamma} \cdot \frac{Q}{D^4} \cdot L = \frac{32.\mu}{\gamma} \cdot \frac{v}{D^2} \cdot L \quad \text{Equação 04.}$$

Fazendo-se a igualdade entre as equações (04) e (07), obtêm a expressão para determinação do coeficiente de atrito no regime de escoamento laminar:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Equação 05.}$$

Já no regime turbulento, o coeficiente “f” é dado por expressões relacionando-o com a rugosidade da parede da tubulação e com o número de Reynolds, sendo inicialmente determinado pelas expressões de Niruradse, Prandtl e Colebrook, uma vez que, neste regime admite-se ocorrer três ocorrências segundo as asperezas da canalização, o regime hidraulicamente liso, rugoso ou misto (NEVES, 1989).

Em 1938, C. F. Colebrook propôs uma equação semi-empírica para a região compreendida entre as condições precedentes que estabelece as condições de tubos lisos e rugosos, levando-se em consideração respectivamente a parcela lisa devida principalmente ao número de Reynolds e a parcela rugosa, considerada como a zona de turbulência completa, assim admite-se a possibilidade do seu para as situações do regime turbulento (AZEVEDO NETTO et al, 1998):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \rightarrow f = \left[ -2 \cdot \log \left[ \frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \right]^{-2} \quad \text{Equação 06.}$$

A fórmula de Colebrook, também conhecida pela equação de Colebrook-White, tem sido considerada como a mais precisa lei de resistência ao escoamento e tem sido empregada como padrão referencial. No entanto, apesar de todo fundamentalismo e embasamento teórico agregado à mesma, tem uma pelicularidade pouco conveniente, é implícita em relação ao fator de atrito, ou seja, a grandeza “f” está presente nos dois membros da equação, sem possibilidade de ser explicitada em relação às demais grandezas, sendo necessário para a sua resolução um processo iterativo (CAMARGO, 2001).

### PRATICIDADE NA DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA – FÓRMULAS PRÁTICAS.

Na história da engenharia hidráulica, muitos engenheiros e pesquisadores se dedicaram na simulação de gráficos a partir de dados observados na prática, objetivando desenvolver equações empíricas que possam ser utilizadas na resolução de problemas (AZEVEDO NETTO et al, 1998).

Essa tentativa, de se empregar fórmulas práticas para o dimensionamento de sistemas hidráulicos, visa à eliminação dos processos mais interativos e demorados como a utilização da fórmula universal. Sendo estas aplicadas aos líquidos já ensaiados, os quais são conhecidos além das propriedades físicas dos fluidos, se é conhecido também às características dos materiais que os conduzem.

O quadro 01 apresenta as primeiras quarenta fórmulas desenvolvidas ao longo da história com seus respectivos autores.

**Quadro 01. Alguns autores de fórmulas para dimensionamento hidráulico.**

	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

Fonte: Azevedo Netto et al (1998), Manual de Hidráulica.

No desenvolvimento do presente trabalho, foram consideradas cinco formulações práticas bem empregadas na atualidade para dimensionamento de sistemas hidráulicos e avaliada a variação e desvio padrão das perdas destas equações com o método científico, a fórmula universal.

O objetivo desta análise é verificar a fórmula prática que possua uma menor variação em relação à fórmula de Darcy-Weissbach, assim como, a que possuir uma melhor linearidade com a fórmula universal para diâmetros de diferentes exemplos instituídos, sendo observado por meio de gráficos de desvio padrão.

Neste contexto, são apresentadas as fórmulas práticas e algumas considerações:

a) Fórmula de Flamant:

$$hf = 4. b. \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \cdot L = 6,11. b. \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot L \quad \text{Equação 07.}$$

Onde:

hf: perda de carga do sistema;

v: velocidade média de escoamento;

D: diâmetro da tubulação;

Q: vazão de escoamento;

L: comprimento da tubulação;

b: coeficiente de Flamant referente ao tipo de material empregado.

Embora durante muito tempo a fórmula tenha sido bastante aproveitada, atualmente é utilizada para sistemas que possuam pequenos diâmetros ( $D < 100\text{mm}$ ), como os usados nas instalações prediais de edificações, face aos devios de resultados quando empregada para grandes diâmetros (NEVES, 1989).

Para tubulações em PVC geralmente adota-se o coeficiente de flamant (b) correspondendo a  $0,000135 \text{ s}^{1,75}/\text{m}^{0,5}$ .

b) Fórmula de Manning:

$$hf = 6,35. n^2. \frac{v^2}{D^{1,23}} \cdot L = 10,295. n^2. \frac{Q^2}{D^{5,23}} \cdot L \quad (*)\text{Equação 08.}$$

Onde:

n: coeficiente de Manning referente ao tipo de material empregado.

(\*): demais variáveis correspondem à mesma denominação da equação 07.

Embora mais utilizada para o cálculo de canais, nos Estados Unidos e Inglaterra é também empregada para o de condutos sob pressão, com os valores de “n” sendo tabelados (NEVES, 1989).

Para tubulações em PVC geralmente adota-se o coeficiente de manning (n) igual a 0,010.

c) Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao:

$$hf = 0,00057. \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}} \cdot L = 0,00087. \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot L \quad (*)\text{Equação 09.}$$

Onde:

(\*): demais variáveis correspondem à mesma denominação da equação 07.

A fórmula de Fair-Whipple-Hsiao apresentada pode ser aplicada para dimensionamento de sistemas hidráulicos de água fria e escoamento por tubos de cobre e PVC. E, normalmente utilizada para pequenos diâmetros ( $D < 100\text{mm}$ ), como em dimensionamento de instalações prediais (CREDER, 1991).

d) Fórmula de Scoobey:

$$hf = \left( \frac{Ks}{387} \right) \cdot \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}} \cdot L = \left( \frac{Ks}{244,56} \right) \cdot \frac{Q^{1,9}}{D^{4,9}} \cdot L \quad (*) \text{Equação 10.}$$

Onde:

Ks: coeficiente de Scoobey referente ao tipo de material empregado.

(\*): demais variáveis correspondem à mesma denominação da equação 07.

A fórmula de Scoobey normalmente se apresenta de forma própria para o material a ser empregado. E, normalmente é mais empregada para o cálculo de condutos de aço, madeira e concreto, tendo um bom emprego nos Estados Unidos (NEVES, 1989).

A fórmula apresentada está apropriada para o emprego de escoamento de água em canalizações de PVC, sendo  $Ks = 0,32$ .

e) Fórmula de Hazen-Williams:

$$hf = 6,8074 \cdot \frac{v^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{1,17}} \cdot L = 10,643 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot L \quad (*) \text{Equação 11.}$$

Onde:

C: coeficiente de Hazen-Williams referente ao tipo de material empregado.

(\*): demais variáveis correspondem à mesma denominação da equação 07.

Neves (1989) afirma que, a fórmula de hazen-williams, além da vantagem de ser aplicável a condutos de diversos materiais e em difentes condições, tem a permitir a fácil comparação e adaptação dos resultados obtidos com valores de "C", sendo verificado experimentalmente o escoamento em materiais distintos para coeficientes não conhecidos e por relações com "C" já tabelados determina-se um novo valor.

Para tubulações em PVC é comum os projetistas adotarem o coeficiente de hazen-williams (C) igual a 140.

## SEGUNDA ETAPA: AVALIAÇÃO DAS FÓRMULAS PRÁTICAS PROPOSTAS EM RELAÇÃO À FÓRMULA UNIVERSAL FRENTE À VARIAÇÃO DE DIÂMETROS – SISTEMAS HIPOTETICAMENTE PROPOSTOS.

Como mencionado, inicialmente utilizou-se cinco fórmulas práticas bastantes empregadas em dimensionamento de sistemas hidráulicos e, por meio de uma simulação de três sistemas hipotéticos (figura 02), sendo empregado diâmetros de 50mm, 100mm e 500mm, verificou-se o comportamento da variação linear das perdas de carga obtidas em relação a fórmula de Darcy-Weissbach, definindo-se para a sequência do estudo, a fórmula prática que teve a menor variação angular de desvio padrão.

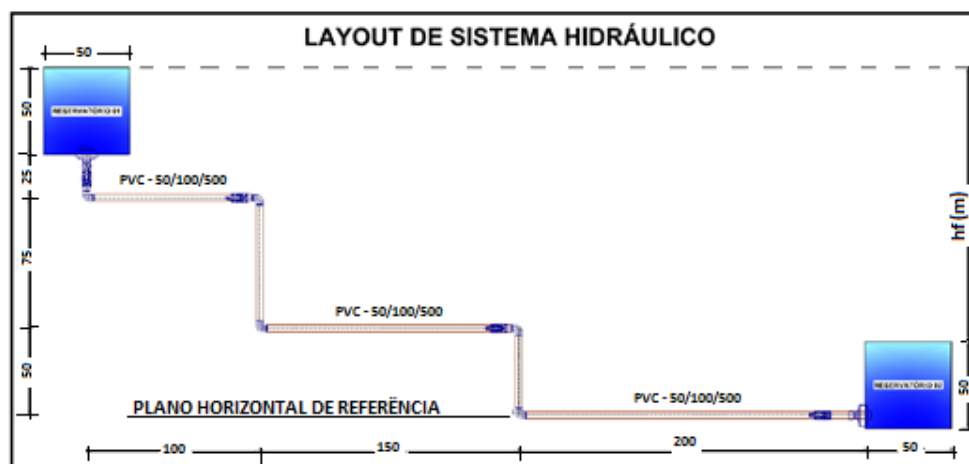


Figura 02. Sistemas hidráulicos hipotéticos com diâmetros de 50mm, 100mm e 500mm.

Para a referida simulação hidráulica, além da variação dos diâmetros citados, adotou-se também:

- i. Material empregado em PVC nas 03 situações visto ser o mais empregado atualmente nos sistemas de abastecimento, consequentemente um dos mais testados;
- ii. Comprimento total da canalização para os 03 sistemas propostos:  $L = 600\text{m}$ ;
- iii. Velocidade média de escoamento de  $1\text{m/s}$  para as 03 propostas;
- iv. No referido estudo foram desprezadas as perdas de cargas localizadas.

A tabela 01 apresenta os dados das simulações efetuadas dos três sistemas hipoteticamente propostos para se avaliar o comportamento das perdas de cargas obtidas por meio das fórmulas práticas utilizadas em relação à perda determinada pela fórmula de Darcy-Weissbach. Já na tabela 02 é apresentada justamente a variação de perdas de cargas em função da perda calculada pela fórmula universal, tanto em unidade de comprimento como em percentual, assim como, é determinado o desvio padrão dos resultados obtidos, tendo a fórmula de darcy como referência.

**Tabela 01. Dados dos sistemas hipotéticos de abastecimento de água.**

Dados dos sistemas propostos			
Descrição	Sigla	Valor	Unidade
Diâmetro 01 - 50mm	D	0,050	m
Diâmetro 02 - 100mm	D	0,100	m
Diâmetro 03 - 500mm	D	0,500	m
Comprimento real	L	600,00	m
Velocidade média de escoamento	v	1,0	m/s
Vazão de escoamento 01	Q	0,00196	m <sup>3</sup> /s
Vazão de escoamento 02	Q	0,00785	m <sup>3</sup> /s
Vazão de escoamento 03	Q	0,19635	m <sup>3</sup> /s
Aceleração da gravidade	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Rugosidade média absoluta - PVC	k	0,00001	m
Viscosidade cinética da água - T = 20°C	$\nu$	1E-06	m <sup>2</sup> /s
Coefficiente de atrito 01 - Darcy	f	0,02084	-
Coefficiente de atrito 02 - Darcy	f	0,01796	-
Coefficiente de atrito 03 - Darcy	f	0,01322	-
Coefficiente de Flamant - PVC	b	0,00014	s <sup>1,75</sup> /m <sup>0,5</sup>
Coefficiente de Manning - PVC	n	0,010	-
Coefficiente de Scoobey - PVC	Ks	0,32	-
Coefficiente de Hazen-Williams - PVC	C	140	-

**Tabela 02. Variação percentual e o desvio padrão das perdas de carga obtidas em relação à fórmula universal.**

Fórmulas	Determinação da Perdas de Carga para os sistema propostos											
	D1 = 50mm				D2 = 100mm				D3 = 500mm			
	hf	Variação		Desvio padrão	hf	Variação		Desvio padrão	hf	Variação		Desvio padrão
(m)	(m)	(%)	-	(m)	(m)	(%)	-	(m)	(m)	(%)	-	
Fórmula Universal (Darcy-Weissbach)	12,74	0,00	0,00%	0,00	5,49	0,00	0,00%	0,00	0,81	0,00	0,00%	0,00
Fórmula de Flamant	13,70	0,96	7,01%	0,68	5,76	0,27	4,68%	0,19	0,77	-0,04	-4,93%	0,03
Fórmula de Manning	15,18	2,43	16,04%	1,72	6,47	0,98	15,12%	0,69	0,89	0,09	9,53%	0,06
Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao	14,46	1,72	11,90%	1,22	6,08	0,59	9,70%	0,42	0,81	0,00	0,60%	0,00
Fórmula de Scoobey	13,39	0,64	4,82%	0,46	6,25	0,75	12,07%	0,53	1,06	0,25	23,97%	0,18
Fórmula de Hazen-Williams	14,52	1,77	12,22%	1,25	6,45	0,96	14,88%	0,68	0,98	0,17	17,62%	0,12

Na figura 03 se observa dois tipos de gráficos: o primeiro apresentando a variação percentual de cada fórmula prática em função da fórmula universal, e o segundo, respectivamente, é exposto à variação de desvio padrão das fórmulas estudadas também em relação à fórmula de referência.

No gráfico de variação percentual verifica-se nas simulações que as fórmulas de flamant, manning e fair-whipple-hsiao tiveram um decréscimo da variação percentual na medida em que se aumentava o diâmetro, sendo estas fórmulas mais recomendadas para diâmetros inferiores a 100mm. No mesmo gráfico, para a fórmula de scoobey percebe-se um aumento significativo desta variação em função do aumento do diâmetro. E, ainda na mesma ótica de análise, a fórmula de hazen-williams, que normalmente é utilizada para tubulações de diâmetros superiores a 100mm, identificou-se que houve um aumento gradual da variação percentual da perda de carga na medida do aumento do diâmetro.

Para o gráfico de desvios padrão, verifica-se que para as fórmulas de flamant, manning, fair-whipple-hsiao e scoobey em relação à fórmula universal, todas possuem uma variação linear para os diâmetros utilizados. E, somente se percebe um mesmo comportamento linear de desvio padrão em relação ao método científico com a fórmula de hazen-williams, ou seja, é a única simulação que possui um mesmo coeficiente angular para a mudança de diâmetro, de 50mm para 100mm e de 100mm para 500mm.

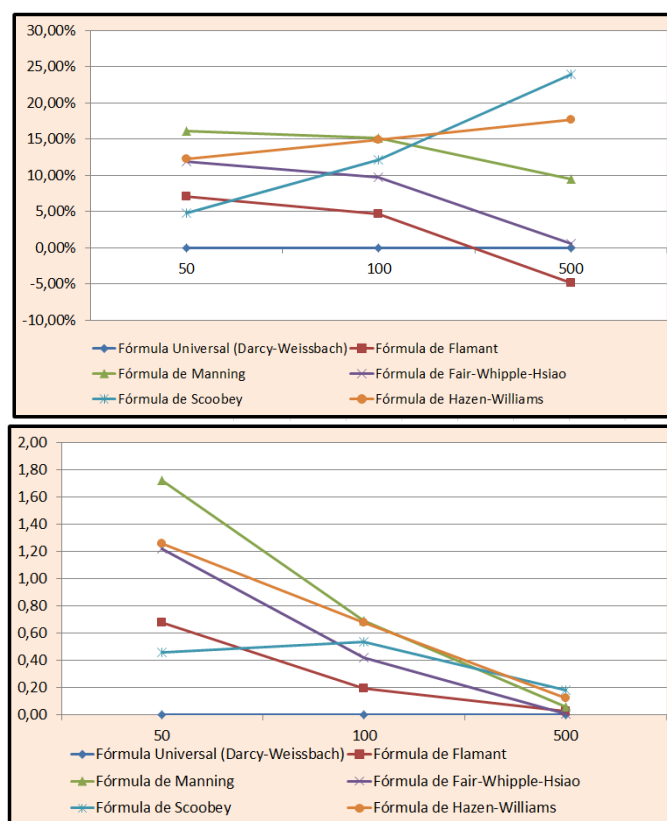


Figura 03. Gráficos da variação percentual e do desvio padrão, respectivamente, conforme simulação das fórmulas práticas com a fórmula universal.

Apesar de se ter verificado um aumento na variação percentual quando do emprego da fórmula de hazen-williams em relação à fórmula universal na medida em que se aumentava o diâmetro do sistema, esta variação deu-se de forma gradual (linear), como também, apresentou-se linearmente distribuída na análise de desvio padrão. Por esta razão, verifica-se que, atualmente, frente as fórmulas práticas existentes, a fórmula de hazen-williams é a mais recomendada para dimensionar os sistemas hidráulicos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho tem como importância o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água mais econômicos e que funcionem adequadamente segundo necessidade (demanda) de cada localidade por meio do emprego da metodologia prática que esteja mais consoante com a metodologia científica (fórmula universal).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, Miguel; ARAUJO, Roberto de; EIJI ITO, Acácio. Manual de hidráulica. 8.ed. São Paulo. Editora: Blücher, 1998.
2. BROWN, Glenn - (2000). Traduzido por: CAMARGO, Luiz - (2001). A História da Equação de Darcy-Weisbach. Sítio<<http://biosystems.okstate.edu/darcy/Portuguese/HistoriaDarcy-Weisbach.htm>> visitado em: 06/05/2013.
3. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, de 05 de outubro de 1988.
4. CREDER, Hélio. Instalações Hidráulicas e Sanitárias. 5ª edição. Rio de Janeiro. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
5. DEZOTTI, Mateus Caetano. Modulo I Perdas. Rio de Janeiro, 2013. Sítio <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAflesAG/modulo-i-perdas?part=2>> visitado em: 26/08/2013.
6. HIDROTEC CALCULADOR - Eng.º Luiz A. Carmago (2001). Equações Explícitas para o Fator de Atrito de Darcy-Weisbach. Sítio<[www.hidrotec.xpg.com.br/EquExpli.htm](http://www.hidrotec.xpg.com.br/EquExpli.htm)> visitado em: 29/04/2013.
7. NEVES, Eurico Trindade. Curso de hidráulica. 9.ed. São Paulo. Editora: Globo, 1989.