

# Proposta de desenvolvimento de um protótipo de bancada didático para testes de perda de carga

*Proposal for the development of a didactic bench prototype for pressure loss tests*

Alexsander Martins Rodrigues

Jéssica Costa Martins

Faculdade de Tecnologia da Praia Grande

## RESUMO

A precisão na determinação da perda de carga é crucial para o dimensionamento adequado de sistemas hidráulicos, especialmente quando se trata de peças especiais utilizadas nessas instalações. As perdas localizadas são diretamente influenciadas pela geometria das conexões. É de total importância que, além de um conhecimento teórico referente à determinação dessa perda de carga, os alunos tenham contato direto com esses cálculos de maneira prática e precisa, aplicando os conhecimentos adquiridos em sala de aula em uma situação mais próxima da realidade do dia a dia no trabalho. O presente trabalho possui aplicabilidade em aula, pois visa a determinação da perda de carga localizada e distribuída e também conceitos de conservação de massa e energia, que são alguns conteúdos presentes na ementa da disciplina Mecânica dos Fluidos do curso de Tecnologia em Processos Químicos da Faculdade de Tecnologia da Praia Grande. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estabelecer uma base teórica e propor o desenvolvimento de um protótipo de ensaio para futura construção e definir uma metodologia para conduzir os ensaios e analisar os dados coletados, visando à organização dos parâmetros e mostrar para os alunos de maneira prática que a não consideração dos resultados de perda de carga em projetos hidráulicos, levam a erros de grande importância nos cálculos.

**PALAVRAS-CHAVE:** mecânica dos fluidos; perda; carga; hidráulicos; fluidos; protótipo.

## ABSTRACT

*Accuracy in determining pressure loss is crucial for the adequate sizing of hydraulic systems, especially when it comes to special parts used in these installations. Localized losses are directly influenced by the geometry of the connections. It is of utmost importance that, in addition to theoretical knowledge regarding the determination of this load loss, students have direct contact with these calculations in a practical and precise way, applying the knowledge acquired in the classroom in a situation closer to the reality of the day today at work. The present work has applicability in class, as it aims to determine the loss of localized and distributed load and also concepts of conservation of mass and energy, which are some of the contents present in the syllabus of the Fluid Mechanics discipline of the Technology in Chemical Processes course at the Faculdade de Tecnologia da Praia Grande. In this context, the objective of this work was to establish a theoretical basis and propose the development of a test prototype for future construction and define a methodology to conduct the tests and analyze the collected data, aiming to organize the parameters and show students in a way practice that failure to consider pressure loss results in hydraulic projects leads to major errors in calculations.*

**KEY-WORDS:** pressure; hydraulic; prototype; fluid.

## 1 INTRODUÇÃO

O escoamento de fluidos que ocorre dentro de tubulações sofre grande influência de paredes que dissipam a energia devido ao atrito que ocorre durante o trajeto percorrido por esse fluido. As partículas adquirem a velocidade da parede da tubulação quando entram em contato com a mesma, isso acaba afetando as demais partículas através da viscosidade e da turbulência, levando a dissipação da energia. Essa dissipação causa uma redução na pressão total do fluido ao longo do trajeto, essa dissipação é denominada de perda de carga. Essa perda de carga pode ser distribuída ou localizada. Esses conhecimentos teóricos em relação à perda de carga necessitam de um alinhamento prático para um completo entendimento.

Porém, muitos discentes encontram dificuldades de compreensão deste conteúdo. Estas dificuldades estão relacionadas a procedimentos práticos encontrados na grande maioria das fábricas e indústrias, na operação e manutenção destes tipos de equipamentos e na correlação de estudo teórico e prático, levando com que o discente não saiba como atuar corretamente diante de tal processo.

O que dificulta a maioria dos casos para os docentes é a falta de instrumentos necessários para a demonstração da relação entre a teoria e a prática. É possível observar que quando o conhecimento não vem acompanhado da prática, não existem questionamentos ou possíveis inovações para tal situação, porém quando a prática está alinhada, tem-se um desenvolvimento hipotético maior em relação as situações analisadas. Por isso, este trabalho de graduação tem por objetivo a proposta de um protótipo de uma bancada para o estudo de perda de carga em escoamento turbulento, sendo possível sua elaboração com a utilização de materiais de baixo custo, contendo elementos que possam proporcionar aos alunos e professores um ambiente prático, onde seja possível simular através de atividades o funcionamento deste tipo de equipamento.

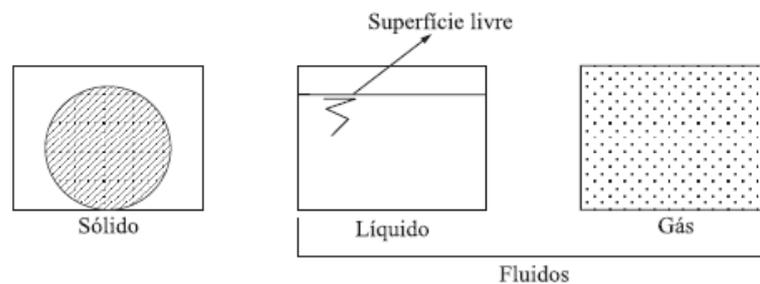
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

Antes de compreender as propriedades dos fluidos é necessário entender e definir o conceito de fluido. Çengel e Cimbala (2012) definem fluido como uma substância no estado líquido ou gasoso.

Podemos ainda acrescentar a definição de que o fluido é uma substância que não possui uma forma definida e se adequa ao formato de um recipiente, diferentemente de um sólido.

**Figura 1 – Representação da diferença entre sólidos e fluidos**



Fonte: Brunetti (2008)

Como meio de facilitar o entendimento das principais propriedades dos fluidos, Brunetti (2008) traz as seguintes definições de variáveis que são importantes para o estudo da reologia dos fluidos e considerando que os fluidos são um meio contínuo e homogêneo:

- Tensão de cisalhamento: quociente entre o módulo da componente tangencial da força e a área sobre a qual essa força é aplicada. Ou seja, força tangencial por unidade de área.

$$\tau = \frac{F_t}{A} \quad (1)$$

-Viscosidade dinâmica: É estabelecida uma relação de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade segundo a lei de Newton da viscosidade. Esse coeficiente  $\mu$  indica a viscosidade dinâmica e é uma propriedade de cada fluido com suas condições.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

- Massa Específica: massa de fluido por unidade de volume

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Sendo:

m = massa

V = volume

- Peso Específico: peso de fluido por unidade de volume

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (4)$$

Sendo:

G = peso

V = volume

- Peso Específico relativo para líquidos: relação entre peso específico do líquido e o peso específico da água em condições padrão

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}} \quad (5)$$

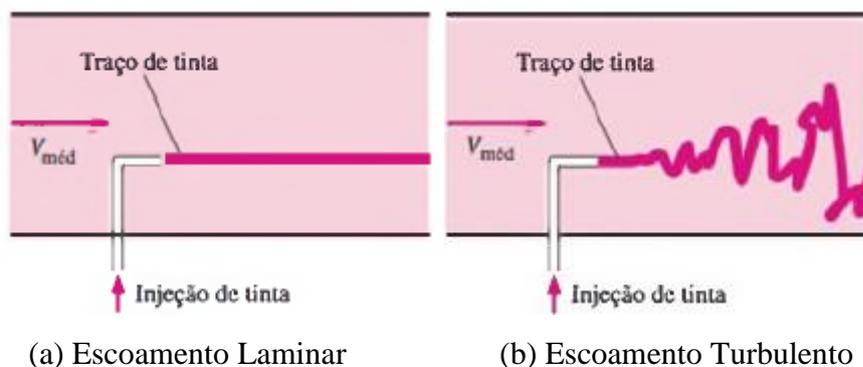
- Viscosidade cinemática: relação entre a viscosidade dinâmica e a massa específica

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

## 2.2 TIPOS DE ESCOAMENTO

Um ponto de atenção quando se refere a fluxo dentro de um tubo é a análise detalhada quanto ao seu movimento que se torna aerodinâmico em baixas velocidades e atinge movimentos desordenados a medida que a velocidade aumenta, ultrapassando o ponto crítico. No cenário de velocidade baixa tem-se um fluxo mais suave e altamente organizado, denominado escoamento laminar e no segundo caso, torna-se um escoamento turbulento caracterizado por flutuações de velocidade e movimentos completamente desorganizados (ÇENGEL E CIMBALA, 2012).

**Figura 2 – Comportamento do fluido em escoamentos laminar e turbulento**



Fonte: Çengel e Cimbala (2012)

Brunetti (2008) define escoamento laminar como aquele em que as partículas se descolam em lâminas individualizadas, sem trocas de massa entre elas. Çengel e Cimbala (2012) ainda dizem que o escoamento laminar é encontrado quando fluidos altamente viscosos, como óleos, escoam em pequenos tubos ou passagens estreitas.

Segundo Brunetti (2008) o escoamento turbulento é aquele em que as partículas apresentam um movimento aleatório, com alta velocidade. Isso aumenta a força de atrito na superfície, esse fator atinge o máximo quando o escoamento torna-se turbulento (Çengel e Cimbala, 2012).

Para determinar o tipo de escoamento, Reynolds propôs um parâmetro adimensional conhecido como número de Reynolds que relaciona algumas das propriedades dos fluidos que constituem a seguinte equação (Vilanova, 2011):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (7)$$

Sendo:

$\rho$  = densidade do fluido

$v$  = velocidade de escoamento

$D$  = diâmetro do tubo

$\mu$  = viscosidade do fluido

Çengel e Cimbala (2012) ainda trazem os valores referenciais para os tipos de escoamento:

$Re \leq 2300$  escoamento laminar

$2300 \leq Re \leq 4000$  escoamento de transição

$Re \geq 4000$  escoamento turbulento

### 2.3 EQUAÇÕES BÁSICAS

O objetivo da solução de um problema de escoamento de fluido é determinar as propriedades do fluido em uma seção específica, a partir do conhecimento das propriedades do fluido em uma seção inicial e das condições de contorno.

Para a resolução desses problemas, serão apresentadas a seguir as equações básicas pertinentes, considerando hipóteses fundamentais, nas quais o escoamento é unidimensional e em regime permanente.

### 2.3.1 Equação da continuidade

No presente projeto será adotado um regime permanente, ou seja, um regime em que não ocorra nenhum tipo de variação de propriedades, em nenhum ponto do fluido, em função do tempo.

Em caso de algum tipo de variação em algum ponto interno do percurso do fluido, como por exemplo as vazões em massa de entrada e saída ( $Q_{m1}$  e  $Q_{m2}$ ) sejam diferentes, a massa específica nesse ponto irá passar por uma determinada variação com o tempo, o que deixaria de ser um regime permanente. Brunetti (2008) determina que se  $Q_{m1} \neq Q_{m2}$ , então em algum ponto interno ao tubo de corrente está ocorrendo acúmulo ou redução de massa. Isso indica que a massa específica nesse ponto está variando com o tempo, o que, no caso, contraria a hipótese de regime permanente. Logo, Brunetti (2008) traz algumas igualdades para equação da continuidade para um fluido qualquer em regime permanente:

$$Q_{m1} = Q_{m2} \text{ ou } \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \text{ ou } \rho_1 v_1 A_1 = \rho_1 v_2 A_2 \quad (8)$$

Se o fluido for incompressível, a massa específica na entrada e na saída deverá ser a mesma:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \text{ ou } Q_1 = Q_2 \text{ ou } v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (9)$$

Então, a vazão em volume de um fluido incompressível se torna a mesma em qualquer seção do escoamento. Ainda é possível perceber a relação inversamente proporcional entre as medidas de velocidade e área, em que a diminuição da área corresponde ao aumento da velocidade na seção e vice-versa. (Brunetti, 2008)

### 2.3.2 Energia mecânica

Çengel e Cimbala (2012) definem energia mecânica como a forma de energia que pode ser convertida direta e completamente em trabalho mecânico por um dispositivo mecânico ideal como, por exemplo, uma turbina ideal. As energias cinética e potencial são as formas familiares de energia mecânica. Com isso podemos determinar a energia mecânica durante o escoamento de um fluido através de sua energia de escoamento, energia cinética e energia

potencial, tudo por unidade de massa. Vilanova (2011) traz a seguinte equação para determinar a variação de energia mecânica de um fluido durante seu escoamento:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + hp - ht - hl = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (10)$$

Sendo:

$z$  = altura de elevação

$V^2/2g$  = energia cinética ou carga de velocidade

$p/\gamma$  = carga de pressão

$hp, ht, hl$  = alturas de carga adicionadas ou subtraídas.

### 2.3.3 Equação de Bernoulli

A equação de Bernoulli é semelhante a equação de energia mecânica e é utilizada em casos de escoamentos em regime permanente de um fluido incompressível. Logo, os termos referentes a alturas de carga adicionadas ou subtraídas são nulos. Brunetti (2008) traz algumas hipóteses simplificadoras para a exatidão da equação:

- a) regime permanente;
- b) sem máquina no trecho de escoamento em estudo;
- c) sem perdas por atrito no escoamento do fluido ou fluido ideal;
- d) propriedades uniformes nas seções;
- e) fluido incompressível;
- f) sem trocas de calor.

Çengel e Cimbala (2012) afirmam que a equação de Bernoulli também pode ser escrita entre dois pontos quaisquer na mesma linha de corrente como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (11)$$

## 2.4 FATOR DE ATRITO

O fator de atrito é um adimensional que depende basicamente do regime de escoamento. No escoamento laminar, por exemplo, Baptista e Lara (2014) definem que para um  $Re < 2000$ , este coeficiente segue a seguinte expressão em que o fator de atrito depende do número de Reynolds:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (12)$$

Sendo:

f=fator de atrito

Re= número de Reynolds

Porem quando o escoamento chega a ser em regime turbulento( $Re > 4000$ ) o fator de atrito depende de algumas características do processo e do fluido em questão.

Em escoamentos turbulentos, o fator de atrito é obtido através de experimentação. Moody (1944) compilou os resultados de várias medições do fator de atrito para uma ampla gama de números de Reynolds e diversos valores de rugosidade equivalente.

Visando evitar a necessidade de métodos gráficos na determinação do fator de atrito em escoamentos turbulentos, diversas expressões matemáticas foram desenvolvidas com base em curvas de ajuste dos dados experimentais.

Baptista e Lara (2014) trazem alguns métodos para determinação do fator de atrito para regime turbulento como por exemplo o método de Blasius que avalia o fator em tubos lisos em relação a seguinte equação:

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad (13)$$

A equação de Colebrook é a expressão mais comumente utilizada para o cálculo do fator de atrito:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (14)$$

Sendo:

f=fator de atrito

$\varepsilon/D$  = rugosidade relativa

Re= número de Reynolds

## 2.5 PERDA DE CARGA DISTRIBUIDA E LOCALIZADA

Analisando escoamentos internos em dutos ou tubos, é uma prática comum a necessidade de determinar a perda de carga imposta pela tubulação ao sistema fluido. Esta perda de carga surge como resultado dos efeitos da viscosidade do fluido e pode ser calculada mediante a consideração dos efeitos localizados provocados por componentes como curvas, junções em T, joelhos, válvulas ou outros elementos que interfiram no fluxo do fluido, além dos efeitos

viscosos distribuídos associados à tubulação linear. Por isso, de acordo com Fox (2006) são consideradas as perdas maiores e menores separadamente.

$$h_L = h_{Loc} + h_d \quad (15)$$

Sendo:

$h_L$  = perda de carga

$h_{Loc}$  = perda de carga localizada

$h_d$  = perda de carga distribuída

Vilanova (2011) diz que as perdas de carga normais se manifestam em decorrência do efeito viscoso do fluido em escoamento, sendo influenciadas por variáveis como a velocidade do escoamento, a geometria da tubulação (incluindo comprimento e diâmetro), a rugosidade da superfície interna da tubulação, bem como as propriedades de viscosidade e densidade do fluido. Algebricamente, essas perdas de carga normais podem ser quantificadas utilizando a equação de Darcy-Weisbach:

$$h_d = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (16)$$

Sendo:

L = comprimento da tubulação

V = velocidade média do escoamento

D = diâmetro da tubulação

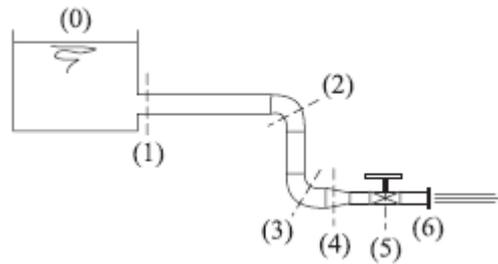
g = aceleração da gravidade

f = fator de atrito

Segundo Brunetti (2008) tal perda, como o próprio nome diz, é a que acontece ao longo de tubos retos, de seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si.

Brunetti(2008) define a perda de carga localizada como perdas que acontecem em locais das instalações em que o fluido sofre perturbações bruscas no seu escoamento. Essas perdas podem, diferentemente das anteriores, ser grandes em trechos relativamente curtos da instalação, como, por exemplo, em válvulas, mudanças de direção, alargamentos bruscos, obstruções parciais etc. Segundo Vilanova (2011) a quantificação dessas perdas está associada a um parâmetro empírico denominado coeficiente de perda  $K_L$ . Este coeficiente está ligado à geometria dos componentes da tubulação e exerce uma influência significativa sobre as perdas de carga, com uma relação limitada às condições específicas do escoamento.

**Figura 3 – Instalação com indicação dos tipos de perda**



Fonte: Brunetti (2008)

Nessa figura, Brunetti (2008) representa Entre (1 e 2), (2 e 3), (3 e 4), (4 e 5) e (5 e 6) perdas distribuídas e em (1) estreitamento brusco, (2) e (3) cotovelos, (4) estreitamento, (5) válvula, existem perdas singulares.

A determinação da perda localizada por um componente é dada por:

$$h_{LOC} = K_l \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

Sendo:

$K_l$  = coeficiente de perda

$V$  = velocidade média do escoamento

$g$  = aceleração da gravidade

**Figura 4 – Coeficientes de perda para escoamentos de entrada e saída**



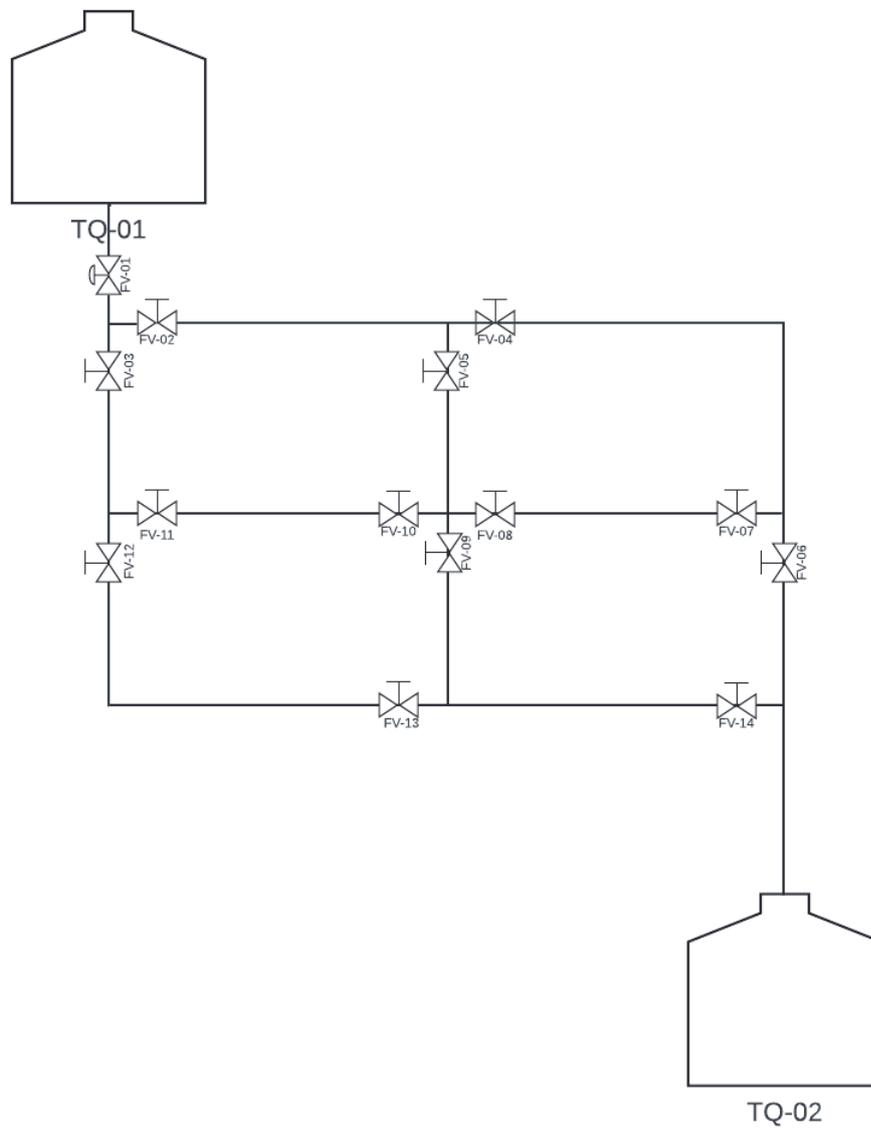
Fonte: Vilanova (2011)

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No capítulo anterior foi desenvolvida uma fundamentação teórica com alguns conceitos relacionados a disciplina de mecânica dos fluidos de uma maneira resumida que se referem a tópicos necessários para o entendimento de perda de carga. Foi elaborada com o intuito de demonstrar as principais equações para a determinação da perda de carga de uma forma didática, para que seja possível a aplicação experimental no protótipo proposto. Através do estudo prático é possível entender como os regimes de escoamento tem ligação direta com as razões aos quais o fluido em questão perde energia no regime turbulento, que é o caso a ser estudado. Através do objetivo desse trabalho, que é a proposta da elaboração de um protótipo de tubulações para a determinação da perda de carga, utilizando como fluido a água em temperatura ambiente, que irá percorrer alguns percursos em tubo PVC, que serão determinados através de abertura e fechamento de válvulas e outros acessórios que estarão presentes na composição do protótipo como um todo.

Para a elaboração do protótipo foi utilizado o software LucidChart que é um aplicativo de diagramação. Nele foi possível demonstrar de maneira visual um modelo de proposta para a elaboração do protótipo em questão. Foram adotadas algumas sugestões de materiais e outros dados necessários para os cálculos de possível projeção. O protótipo em si conta com 2 tanques de 5 Litros cada. O tanque 1 será o tanque abastecido e o tanque 2 será o tanque que irá receber a carga do fluido de processo por gravidade. A sugestão de tubulação será policloreto de vinila(PVC) com diâmetro de 2,5 cm, utilizando algumas válvulas, sendo uma globo na saída do tanque 1 e o restante válvulas do tipo esfera, e durante o percurso, alguns conectores de tipo cotovelo de 90° e Tê. A estimativa de cálculo teórico conta com as válvulas completamente abertas nos caminhos a serem estudados, não tendo nenhuma alteração no controle de vazão que será constante de 0,5 L/min. Três caminhos diferentes foram estabelecidos para demonstração didática da aplicação do protótipo e determinações teóricas das perdas de carga nos diferentes caminhos pré estabelecidos. Durante o experimento será possível a aplicação de diversos conceitos como a determinação do regime de escoamento definido através do número de Reynolds, equações gerais de movimento, continuidade, determinação de fatores de atrito, estudo de energia, equação de Bernoulli, e por fim o objetivo principal que é a perda de carga.

**Figura 5 - Croquis do protótipo de ensaio**



**Quadro 1 – Dados para os três trajetos do fluido na tubulação**

Caminhos	Vazão = 0,5 L/min	
	Válvulas	Curvas
1	5	2
2	5	4
3	10	6

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para dar início aos cálculos, alguns dados teóricos foram adotados para que fosse possível chegar nos resultados de proposta do protótipo:

- Volume dos tanques: 5 Litros
- Vazão Volumétrica: 0,5L/min
- Diâmetro da tubulação: 2,5 cm
- Fluido de Processo: Água em temperatura ambiente
- Massa específica da Água:  $10^3 \text{ kg/m}^3$
- Viscosidade da água:  $10^{-3} \text{ kg/m.s}$
- Viscosidade Cinemática:  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Trechos de tubulação: 0,5 m

Para os dados adotados em relação a vazão, foi levado em consideração que as válvulas estão 100% abertas e um tempo médio se torna necessário para a realização do experimento. Com a vazão e o diâmetro, é possível calcular o tempo médio para os caminhos estabelecidos.

Para determinação do tempo médio:  $\Delta t = \frac{\Delta s}{v}$  (20)

Para o caminho mais curto (2,5 m):

$$(1,69 \times 10^{-2} \text{ m/s} = \frac{2,5 \text{ m}}{t}) / 60 = 2,46 \text{ min}$$

Para o caminho mais longo (4,5 m):

$$(1,69 \times 10^{-2} \text{ m/s} = \frac{4,5 \text{ m}}{t}) / 60 = 4,44 \text{ min}$$

Um tempo aproximado de 2 a 5 minutos para executar o experimento com a vazão adotada

Determinação do tipo de escoamento:

Cálculo do número de Reynolds:  $Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu}$

$$Re = \frac{1,69 \times 10^{-2} \text{ m/s} \cdot 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 13750$$

$Re > 2400$  = escoamento turbulento

Cálculo do fator de atrito:  $f = \frac{0,316}{Re^{1/4}}$

\*Para escoamento turbulento em tubo liso:  $\frac{\varepsilon}{D} = 0$

$$f = \frac{0,316}{13750^{1/4}} = 0,029$$

Para perda de carga distribuída:  $h_d = f \frac{LV^2}{D2g}$

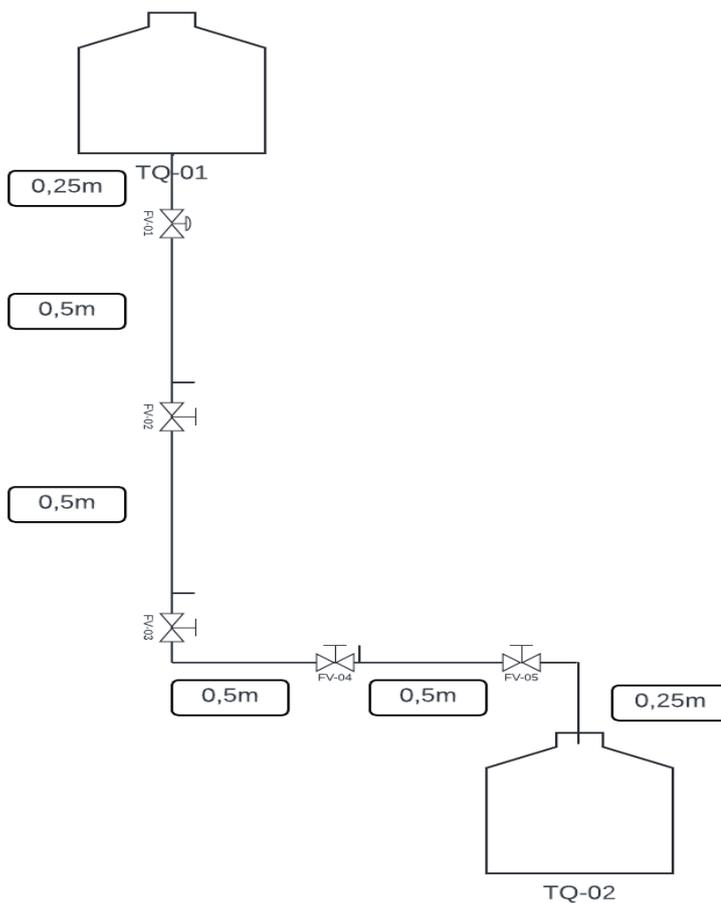
Para perda de carga localizada:  $h_{LOC} = K_l \frac{V^2}{2g}$

Sistema cuja tubulação tem um mesmo diâmetro, a perda de carga total será calculada:

$$\Delta H_{total} = \Delta H_{1,2} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum_{i=1}^n K_s \right) \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

Como foi mencionado no capítulo anterior, para fins de cálculos demonstrativos e comparativos, foram escolhidos três caminhos diferentes da passagem do fluido dentro da proposta do protótipo.

**Figura 6 – Demonstração do primeiro caminho**



1 Captação de reservatório –  $K_s=0,5$

1 Válvula Globo –  $K_s = 10$  (100% aberta)

4 Válvulas Esfera –  $K_s = 0,05 \times 4 = 0,2$  (100% aberta)

2 Cotovelos a  $90^\circ$  -  $K_s = 1,17 \times 2 = 2,34$

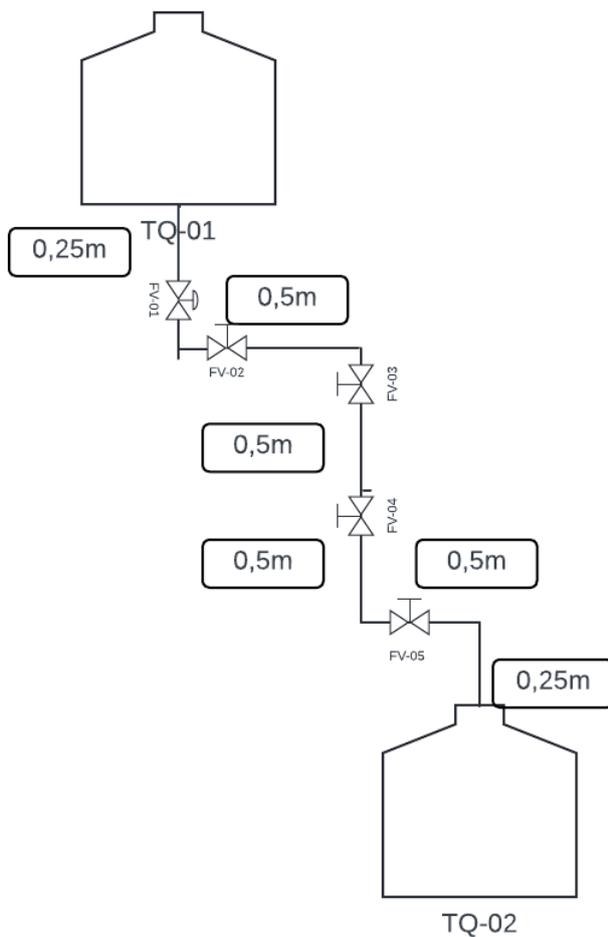
$L_{\text{tub}} = 2,5 \text{ m}$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum_{i=1}^n K_s \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( 0,029 \cdot \frac{2,5}{2,5 \times 10^{-2}} + 0,5 + 10 + 0,2 + 2,34 \right) \times \frac{(1,69 \times 10^{-2})^2}{2 \times 9,81}$$

$$\Delta H_{1,2} \cong 2,32 \times 10^{-4} \text{ m}$$

**Figura 7 – Demonstração do segundo caminho**



1 Captação de reservatório –  $K_s=0,5$

1 Válvula Globo –  $K_s = 10$  (100% aberta)

4 Válvulas Esfera –  $K_s = 0,05 \times 4 = 0,2$  (100% aberta)

4 Cotovelos a  $90^\circ$  -  $K_s = 1,17 \times 4 = 4,68$

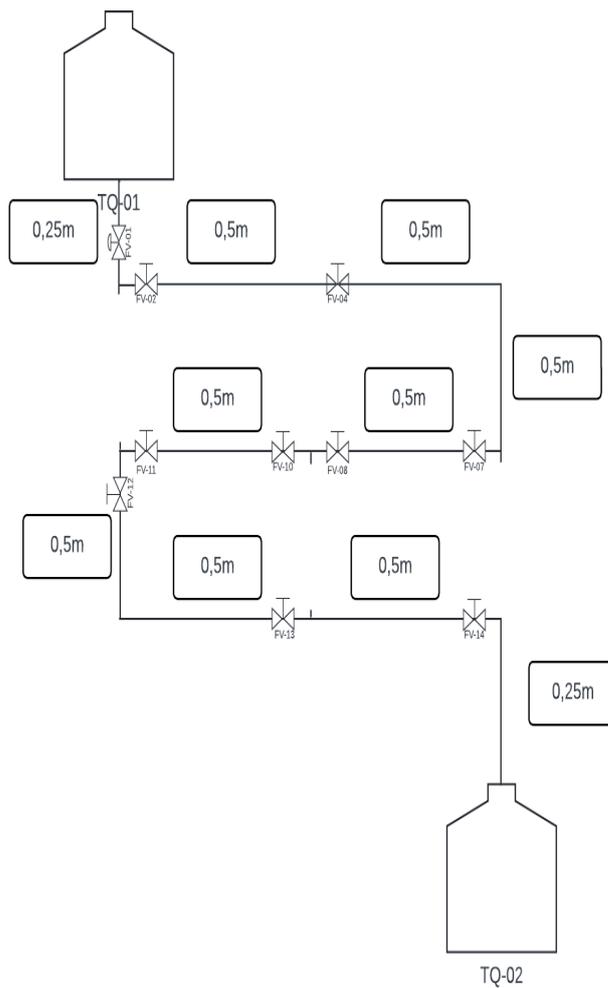
$L_{\text{tub}} = 2,5 \text{ m}$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum_{i=1}^n K_s \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( 0,029 \cdot \frac{2,5}{2,5 \times 10^{-2}} + 0,5 + 10 + 0,2 + 4,68 \right) \times \frac{(1,69 \times 10^{-2})^2}{2 \times 9,81}$$

$$\Delta H_{1,2} \cong 2,661 \times 10^{-4} \text{ m}$$

**Figura 8 – Demonstração do terceiro caminho**



1 Captação de reservatório –  $K_s=0,5$

1 Válvula Globo –  $K_s = 10$  (100% aberta)

9 Válvulas Esfera –  $K_s = 0,05 \times 9 = 0,45$  (100% aberta)

6 Cotovelos a  $90^\circ$  -  $K_s = 1,17 \times 6 = 7,02$

$L_{\text{tub}} = 4,5$  m

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum_{i=1}^n K_s \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{1,2} = \left( 0,029 \cdot \frac{4,5}{2,5 \times 10^{-2}} + 0,5 + 10 + 0,45 + 7,02 \right) \times \frac{(1,69 \times 10^{-2})^2}{2 \times 9,81}$$

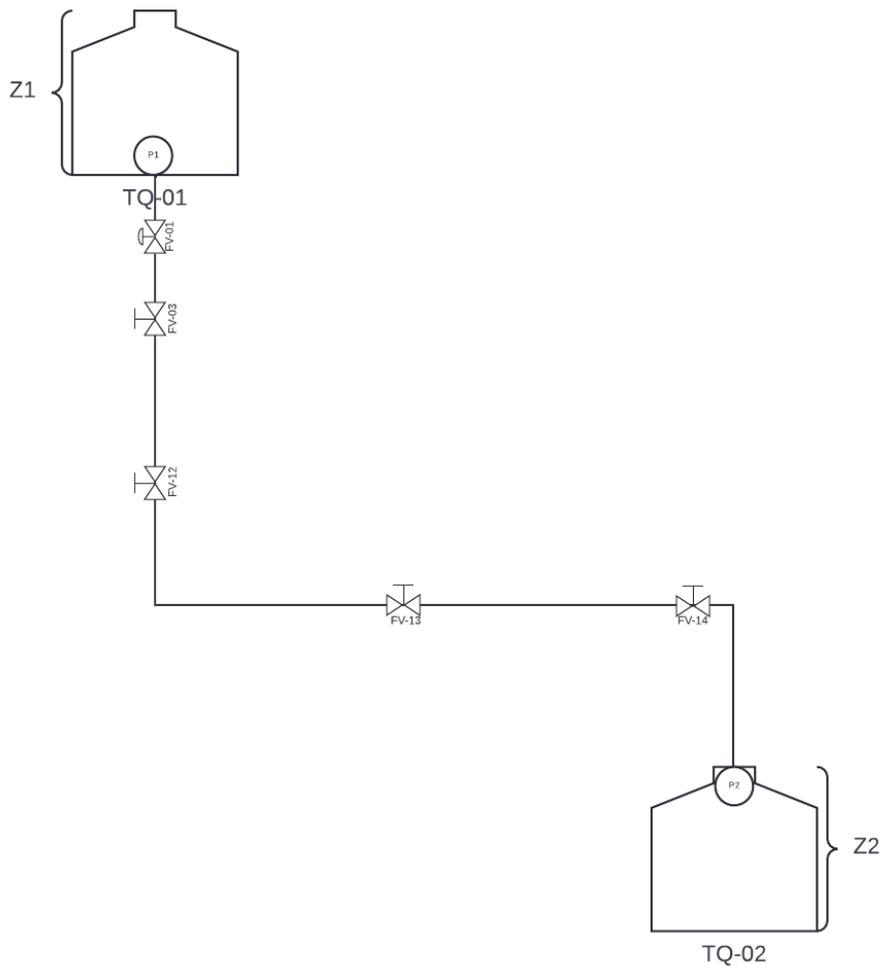
$$\Delta H_{1,2} \cong 3,376 \times 10^{-4} \text{ m}$$

**Quadro 2 – Resultados de perda de carga para cada caminho**

Caminhos	Vazão = 0,5 L/min		
	Válvulas	Curvas	Perda de Carga
1	5	2	$2,32 \times 10^{-4}$ m
2	5	4	$2,661 \times 10^{-4}$ m
3	10	6	$3,376 \times 10^{-4}$ m

É possível ainda aplicar a Equação de Bernoulli para relacionar a conservação de energia. Tendo como exemplo o primeiro caminho:

**Figura 9 – Aplicação de Bernoulli no primeiro caminho**



Equação de Bernoulli(Conservação de energia):

$$Z_1 = 2\text{m} ; Z_2 = 0$$

$$H_1 + \cancel{H_m} = H_2 + H_{1,2}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}} + \cancel{z_1} = \frac{P_2}{\gamma} + \cancel{\frac{v_2^2}{2g}} + \cancel{z_2} + H_{1,2}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + H_{1,2}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + H_{1,2}$$

$$\frac{P_1}{9810 \frac{N}{m^3}} + 2\text{m} = \frac{101325 \frac{N}{m^2}}{9810 \frac{N}{m^3}} + 2,408 \times 10^{-4} \text{m}$$

$$P_1 = 101325,36 \frac{N}{m^2}$$

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma fundamentação teórica aprofundada sobre os temas relacionados a perda de carga, com a finalidade de analisar uma proposta de desenvolvimento de um protótipo de ensaio para definir as perdas de carga localizada e distribuída em conexões de um sistema de tubulação PVC utilizando água em temperatura ambiente como fluido experimental. A construção lógica do referencial teórico foi feita destacando os principais passos nesta área da mecânica dos fluidos, contribuindo com definições de variáveis que são importantes para o estudo da reologia dos fluidos até as definições teóricas detalhadas dos regimes de escoamento. Assim, este trabalho alcançou seu objetivo inicial ao fornecer a fundamentação necessária para definir a perda de carga em conexões de tubulações e mostrar a possibilidade de desenvolver o protótipo para utilização experimental em sala de aula.

Através da análise de trabalhos já realizados, utilizou-se o referencial teórico para identificar os pontos críticos de cada experimento e desenvolver uma proposta de protótipo de ensaio que atendesse às necessidades para utilização em aulas práticas. O protótipo e a metodologia de ensaio foram detalhadamente explicados, justificando suas principais características como: dimensões, sequência de ações, e observações necessárias. Por meio de quadros e figuras, os detalhes da proposta foram abordados de forma qualitativa e quantitativa, com o intuito de facilitar a construção e realização do ensaio. Ao final, de maneira objetiva, foi demonstrado através das equações abordadas no referencial teórico comodeterminar a perda de carga total.

Como sugestões para trabalhos futuros, de acordo com o estudo realizado, pode-se elencar:

- Desenvolver o protótipo com o mesmo material proposto ou algum outro.
- Realizar ensaios modificando os valores de algumas variáveis como vazão, nível dos tanques, entre outras
- Determinar resultados experimentais nas mesmas condições dos dados teóricos e analisar o desvio dos resultados teórico X experimental.
- Realizar ensaios em caminhos diferentes dos propostos no trabalho para analisar as diferentes possibilidades de cálculo.
- Acrescentar equipamentos ao protótipo para uso em diferentes disciplinas

A fim de concretizar o desenvolvimento do protótipo, foi feito um levantamento de valores a serem aplicados na construção do mesmo:

**Quadro 3 – Estimativa de valores para tubulações e conexões**

Estimativa	Tubulação PVC 6,5 m Comprimento 2,5 cm Diâmetro	2 Curvas de 90°	7 Tê PVC
Leroy Merlin	R\$ 50,97	R\$ 1,42	R\$ 8,12
Obramax	R\$ 26,70	R\$ 6,58	R\$ 7,98

**Quadro 4 – Estimativa de valores para válvulas**

Estimativa	Válvula Esfera	Válvula Globo
Loja Merc	R\$ 20,90	-
Amazon	R\$ 17,93	-
Aliexpress	-	R\$ 17,86

## REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. 3 ed. Ver. E ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos** — 2. ed. rev. — São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2008.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e aplicações**. 2012. Mcgraw-Hill, 2012.

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Oitava Edição. ed. Grupo Editorial Nacional.

Moody, L. F. 1944. **Friction factors for pipe flow**. Transactions of the ASME, 66(8), 671-684. FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. Oitava Edição. ed. Grupo Editorial Nacional.

VILANOVA, Luciano Caldeira. **Mecânica dos Fluidos. 3-ed.** Santa Maria - RS: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011. 82 p.