



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS GOMES LIMA

**ANÁLISE DA PERDA DE CARGA EM UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS
FLUIDOS.**

RUSSAS - CE

2022

MATHEUS GOMES LIMA

ANÁLISE DA PERDA DE CARGA EM UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS
FLUIDOS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.

RUSSAS - CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L699a Lima, Matheus Gomes.
Análise da perda carga em uma bancada de mecânica dos fluidos / Matheus Gomes Lima. – 2022.
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.
1. Perda de Carga. 2. Bancada de mecânica dos fluidos. 3. Laboratório de Ciências Térmicas. 4.
Experimentos. I. Título.

CDD 620.1

MATHEUS GOMES LIMA

ANÁLISE DA PERDA DE CARGA EM UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS
FLUIDOS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: __ / __ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Silvia Teles Viana (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Erivan e Carmen.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado forças e muita resiliência para que fosse possível chegar até aqui e ser quem sou hoje.

Agradeço aos meus pais, Erivan e Carmen, por sempre me apoiarem e incentivarem. Vocês são minha base, meus exemplos e eu tenho a sorte de ter o melhor pai e melhor mãe da história, sem vocês nada disso teria sido possível. Obrigado por acreditarem em mim, até mesmo quando eu não acreditei (e foram muitas as vezes).

Agradeço a minha namorada linda e maravilhosa, Anna, por ser a melhor namorada que eu poderia ter e por sempre me apoiar e acreditar em mim. Muito obrigado pelo carinho, companheirismo e amor durante esses anos, espero que eles se prolonguem por mais muitos e muitos anos.

Ao irmão que Russas me deu, Ari, por ter me aguentado todos esses anos. Sei que não foi fácil (e não vai continuar sendo), mas espero que a nossa irmandade dure até o fim dos tempos e que nós possamos realizar tudo que sonhamos juntos. Com certeza não teria chegado até aqui sem sua ajuda e companheirismo.

À minha grande amiga Samille, por ter me aguentado e me ajudado na faculdade durante todos esses anos. Tenho certeza de que sem você eu ainda estaria na metade do curso. Muito obrigado por ter suportado meus choros, meus desesperos e por sempre estar disposta a me ajudar tirando minhas dúvidas. Você é muito especial e iluminada, espero que nossa amizade dure por muito tempo.

À skylie, pelo companheirismo e fidelidade. Você alegra meus dias e não poderia ser mais perfeita.

À minha orientadora, professora Dra. Silvia Teles Viana, pela orientação e ajuda na execução deste trabalho.

“Faça o que você pode, com o que você tem, no lugar
onde você está.”

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

O estudo da perda de carga é um dos assuntos com maior destaque na mecânica dos fluidos. Assim, buscando aplicar experimentalmente o conhecimento adquirido durante o curso de Engenharia Mecânica, através de uma bancada de sistema de treinamento modular em mecânica dos fluidos, foi feita uma análise da perda de carga em determinado trecho. Essa bancada, localizada no laboratório de ciências térmicas da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, possui justamente esse objetivo, auxiliar o aprendizado ao associar a parte prática com os conhecimentos teóricos. Após os experimentos de perda de carga, que foram realizados com auxílio de sensores de pressão e linguagem de programação python, foi feita uma comparação com os dados fornecidos pelo fabricante, buscando comprovar se as informações estavam de acordo com o informado. Mesmo os dados do fabricante sendo obtidos de forma manual, contrastando com os resultados obtidos neste trabalho, que foram através de sensores de pressão, após a comparação entre ambos foi possível chegar à conclusão que seguiram a mesma tendência de comportamento, sendo satisfatórios e semelhantes, com algumas poucas diferenças.

Palavras-chave: Perda de Carga. Bancada de mecânica dos fluidos. Experimentos. Laboratório de Ciências Térmicas.

ABSTRACT

The study of pressure drop is one of the most prominent subjects in fluid mechanics. Thus, seeking to experimentally apply the knowledge acquired during the Mechanical Engineering course, through a modular training system in fluid mechanics, an analysis of the pressure drop in specific parts was carried out. This bench, located in the laboratory of thermal sciences of the Federal University of Ceará - Campus Russas, has precisely this objective, to assist the learning of the associate in the practical part with theoretical knowledge. After the load experiments, which were carried out with the aid of pressure sensors and the python programming language, an experiment was tried with the data provided by the manufacturer, seeking if they were in accordance with the information. Even the manufacturer is being obtained manually, contrasting with the results obtained in this work, which were obtained through pressure sensors, after comparing both, it was possible to reach the conclusion that they followed the same trend of behavior, being satisfactory and similar, possible with some differences.

Keywords: Cargo loss. Fluid mechanics apparatus. Experiments. Thermal Sciences Laboratory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bancada de mecânica dos fluidos localizada no laboratório de ciências térmicas e fluidos da UFC.....	17
Figura 2 – Curva T, Cotovelo 45°, Curva Y, T Direto, Cotovelo 90°, Y Direto.	17
Figura 3 – Importância da vazão nos processos industriais	19
Figura 4 – Válvula de acesso para perda de carga.....	20
Figura 5 – Escoamento de um fluido por um tubo de corrente.	22
Figura 6 – Funcionamento de um tubo de venturi.	24
Figura 7 – Escoamento turbulento e Escoamento laminar	25
Figura 8 – Perda de energia sofrida por um fluido.	28
Figura 9 – Perda de carga distribuída e Perda de carga pontual.....	29
Figura 10 – Piezômetro presente na bancada	30
Figura 11 – Descrição dos principais componentes da bancada.	31
Figura 12 – Checagem de água nas tubulações.	32
Figura 13 – Bolhas de ar nas mangueiras.....	33
Figura 14 – Diagrama hidráulico das tubulações	33
Figura 15 – Válvula de acesso da tubulação da perda de carga	34
Figura 16 – Válvulas de controle da tubulação da perda de carga	35
Figura 17 – Sensor MPX5700	36
Figura 18 – Sensor de transmissão de pressão 60 psi	36
Figura 19 – Conexão na Curva T.....	38
Figura 20 – Conexão no Cotovelo 45°	39
Figura 21 – Conexão na Curva Y	40
Figura 22 – Conexão T Direto.....	42
Figura 23 – Conexão Cotovelo 90°.....	43
Figura 24 – Conexão Y Direto	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perda de carga Curva T.....	47
Gráfico 2 - Perda de carga Curva T fabricante.....	47
Gráfico 3 - Perda de carga Cotovelo 45°.....	49
Gráfico 4 - Perda de carga Cotovelo 45° fabricante.....	49
Gráfico 5 - Perda de carga Curva Y.....	51
Gráfico 6 - Perda de carga Curva Y fabricante.	51
Gráfico 7 - Perda de carga T Direto.....	53
Gráfico 8 - Perda de carga T Direto fabricante	53
Gráfico 9 - Perda de carga Cotovelo 90°.....	54
Gráfico 10 - Perda de carga Cotovelo 90° fabricante.....	55
Gráfico 11 - Perda de carga Y Direto	56
Gráfico 12 - Perda de carga Y Direto fabricante	57
Gráfico 13 - Perda de Carga	58
Gráfico 14 - Perda de Carga fabricante.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação da viscosidade da água com a temperatura.....	21
Tabela 2 – Limites dos regimes de escoamento laminar e turbulento	26
Tabela 3 – Válvulas de controle da tubulação de perda de carga.....	35
Tabela 4 – Referencial perda de carga Curva T	46
Tabela 5 – Perda de carga Curva T.....	46
Tabela 6 – Perda de carga Cotovelo 45°.....	48
Tabela 7 – Perda de carga Curva Y.....	50
Tabela 8 – Referencial perda de carga Curva Y.....	50
Tabela 9 – Referencial perda de carga T Direto.....	52
Tabela 10 – Perda de carga T Direto.....	52
Tabela 11 – Perda de carga Cotovelo 90°.....	54
Tabela 12 – Perda de carga Y Direto.....	55
Tabela 13 – Referencial perda de carga Y Direto	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

m	Massa
V	Volume
Q	Vazão
t	Tempo
A	Área
ρ	Densidade do Fluido
A1	Área de entrada do Venturi
A2	Área da garganta do Venturi
C _D	Coefficiente de Descarga
g	Gravidade
H	Carga Total
H ₁	Cargas totais
H ₂	Cargas totais
L	Diâmetro
p/y	Carga de pressão
Re	Reynolds
v	Velocidade
z	Carga potencial
μ	Viscosidade do fluido
D	Diâmetro
Δh	Diferença de altura
Δp	Diferença de pressão no tubo de Venturi
f	Fator de atrito
e	Rugosidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	17
1.1.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>17</i>
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
1.2	Estrutura do trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Vazão	19
2.2	Propriedades Físicas dos Fluidos	20
2.2.1	<i>Densidade ou Massa Específica.....</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Viscosidade</i>	<i>21</i>
2.3	Equações Básicas da Hidrodinâmica	22
2.3.1	<i>Equação da Continuidade.....</i>	<i>22</i>
2.3.2	<i>Bernoulli</i>	<i>23</i>
2.4	Tubo de Venturi.....	24
2.5	Número de Reynolds	25
2.6	Fator de Atrito	26
2.7	Perda de Carga	28
2.7.1	<i>Perda de Carga Distribuida</i>	<i>29</i>
2.7.2	<i>Perda de Carga Pontual ou Singular</i>	<i>29</i>
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Bancada.....	31
3.2	Experimentos de perda de carga.....	32
3.2.1	<i>Checagens iniciais.....</i>	<i>32</i>
3.2.2	<i>Sensores de pressão.....</i>	<i>36</i>
3.2.3	<i>Perda de carga distribuida</i>	<i>37</i>
3.2.4	<i>Perda de carga pontual</i>	<i>37</i>
3.2.4.1	<i>Referencial da curva T.....</i>	<i>37</i>
3.2.4.2	<i>Curva T.....</i>	<i>38</i>
3.2.4.3	<i>Cotovelo 45°.....</i>	<i>39</i>
3.2.4.4	<i>Curva Y.....</i>	<i>40</i>
3.2.4.5	<i>Referencial da Curva Y.....</i>	<i>41</i>
3.2.4.6	<i>Referencial do T Direto</i>	<i>41</i>
3.2.4.7	<i>T Direto.....</i>	<i>42</i>
3.2.4.8	<i>Cotovelo 90°.....</i>	<i>43</i>
3.2.4.9	<i>Y Direto.....</i>	<i>44</i>

3.2.4.10	Referencial do Y Direto	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Referencial Curva T.....	46
4.2	Curva T	46
4.3	Cotovelo 45°.....	48
4.4	Curva Y	50
4.5	Referencial Curva Y	50
4.6	Referencial T Direto	52
4.7	T Direto.....	52
4.8	Cotovelo 90°.....	54
4.9	Y Direto	55
4.10	Referencial Y Direto.....	56
5	CONCLUSÃO	60
5.1	Trabalhos Futuros.....	60
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON.....	62

1 INTRODUÇÃO

Çengel e Cimbala (2012) definem a mecânica dos fluidos como sendo a ciência que trata do comportamento dos fluidos em repouso (estática dos fluidos ou hidrostática) ou em movimento (dinâmica dos fluidos ou hidrodinâmica), bem como da interação entre fluidos e sólidos ou outros fluidos. Mas fica o questionamento: por que estudar mecânica dos fluidos? Qual sua importância e onde ela está inserida na prática do dia a dia?

A hidrodinâmica estuda o movimento dos fluidos e possui como subcategoria a hidráulica, responsável pelo escoamento dos líquidos em tubulações e canais abertos. Algumas aplicações típicas da mecânica dos fluidos estão nos projetos de tubulações, dutos, compressores e bombas usados nas casas e edifícios; aerodinâmicas de automóveis e aviões; transferência de calor e massa em equipamentos térmicos, como caldeiras e trocadores de calor; desenvolvimento de medidores de vazão, entre outros. Esses são apenas alguns exemplos do que se pode encontrar nessa disciplina tão complexa e importante para a engenharia.

Um assunto que tem bastante destaque na mecânica dos fluidos, e foco principal deste trabalho, é a perda de carga, que segundo Fox, McDonald e Pritchard (2010), definem como sendo a perda de energia que um fluido sofre no trajeto de todo o sistema, sendo dividida em perda de carga distribuída (atrito das partículas do fluido entre si) e perda de carga localizada (perturbações bruscas no escoamento, como válvulas, mudança de direção, alargamento, obstruções etc.).

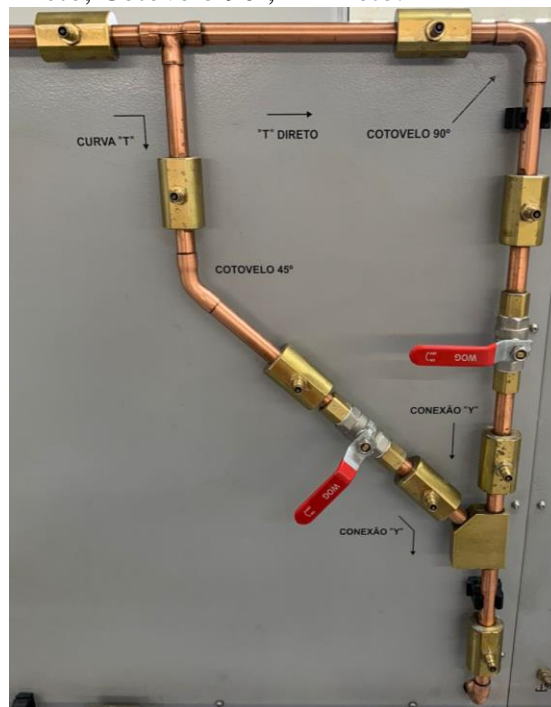
Dessa maneira, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de aplicar experimentalmente o conhecimento adquirido durante o curso de Engenharia Mecânica, por meio de uma bancada de sistema de treinamento modular em mecânica dos fluidos, localizada no laboratório de ciências térmicas e fluidos da Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Russas, mostrada na Figura 1. Foi feita uma análise da perda de carga em determinado trecho dessa bancada, representado pela Figura 2, com a utilização de sensores de pressão e linguagem de programação python.

Figura 1 - Bancada de mecânica dos fluídos localizada no laboratório de ciências térmicas e fluidos da UFC - campus Russas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 2 - Curva T, Cotovelo 45°, Curva Y, T Direto, Cotovelo 90°, Y Direto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a determinação da perda de carga em determinados pontos da bancada de mecânica dos fluidos de forma experimental, utilizando

sensores de pressão e linguagem de programação python, para que posteriormente possam ser feitas as análises dos resultados e comparações com os resultados fornecidos pelo fabricante.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar a perda de carga na Curva T, T Direto, Cotovelo 90°, Cotovelo 45°, Y Direto, Curva Y;
- Fazer uma análise dos dados obtidos através dos sensores nos experimentos;
- Fazer uma comparação dos resultados experimentais com os resultados fornecidos pelo fabricante.

1.2 Estrutura do trabalho

No capítulo a seguir, será apresentado um referencial teórico contendo informações e conceitos básicos relacionados a perda de carga.

No capítulo 3, o foco será no desenvolvimento dos experimentos, demonstrando detalhadamente o passo a passo de cada procedimento feito.

No capítulo 4 será exposto os resultados obtidos pelos experimentos realizados neste trabalho, bem como interpretações e discussões desses resultados.

No capítulo 5, e último, constará a conclusão do trabalho e algumas sugestões para futuros trabalhos.

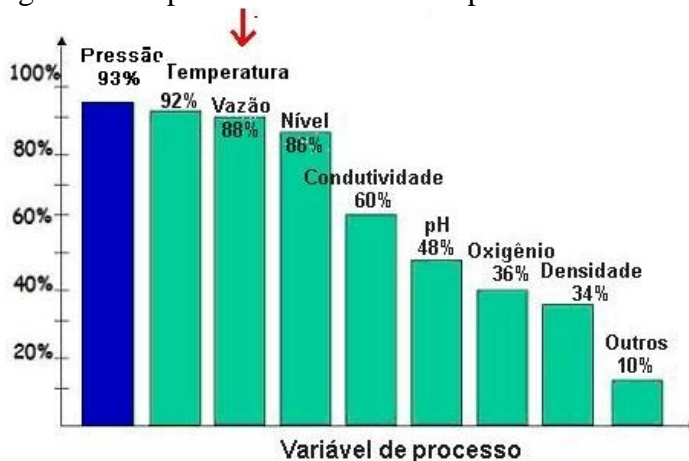
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordadas as principais informações e conceitos referentes a perda de carga. Será dividido em subtemas como vazão, propriedades físicas dos fluidos, equações da hidrodinâmica, Reynolds e fator de atrito, sendo assim fundamentos importantes para o entendimento deste trabalho.

2.1 Vazão

Como pode ser percebido na Figura 3, a vazão é uma das grandezas mais medidas nos processos industriais. Possui diversas aplicações no dia a dia, das mais simples até as mais complexas, como por exemplo: medição da vazão de água que sai nas torneiras das residências populares e estações de tratamento ou a medição de gases industriais e combustíveis (Brunetti, 2008).

Figura 3 – Importância da vazão nos processos industriais



Fonte: revista Control Engineering, 2012.

Vazão volumétrica pode ser definida como a quantidade em volume de fluido que atravessa determinada área de seção transversal por unidade de tempo. Dessa forma, temos a seguinte Equação 1:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica (m³/s);

V = volume (l);

t = tempo (s).

Uma outra forma de definir vazão é como sendo o produto da velocidade do fluido pela área da seção transversal, sendo essa Equação 2 mais utilizada do que a anterior.

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Onde:

A = área da seção transversal (m²);

v = velocidade do fluido (m/s)

Neste trabalho, a vazão foi encontrada através do uso de sensores juntamente com linguagem de programação python. O código está disponibilizado no Apêndice A. Para saber o valor da vazão em determinado ponto era preciso utilizar a válvula de acesso, representada pela Figura 4, onde a abertura ou fechamento desta válvula acarretava um novo registro de vazão através dos sensores.

Figura 4 – Válvula de acesso para perda de carga



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.2 Propriedades Físicas dos fluidos

Para que seja feita uma análise correta de um problema envolvendo mecânica dos fluidos, deve-se ter conhecimento das propriedades físicas para que seja feita uma relação adequada do comportamento com as solicitações impostas (NETTO et al., 1998). Com o objetivo de ter o conhecimento de alguns conceitos importantes relacionados à perda de carga, estão descritas algumas dessas propriedades.

2.2.1 Massa Específica

Massa específica, representada pela letra grega ρ , é definida como massa (m) por unidade de volume (V). Ficamos, então, com a seguinte Equação 3:

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

De uma forma geral, a densidade vai depender da pressão e temperatura do fluido, mas para líquidos e sólidos ela depende mais da temperatura. Um exemplo disso é a própria água, que a 20 °C possui uma densidade de 998 kg/m³ a 1 atm e muda para 1003 kg/m³ a 100 atm, demonstrando assim uma variação baixíssima de 0,5%. Dessa maneira, White (2011) afirma que a maioria dos escoamentos líquidos é tratada analiticamente como aproximadamente incompressível.

2.2.2 Viscosidade

Pode ser definida como a propriedade responsável pela resistência ao movimento dos fluidos. O diesel, que é espesso, tem dificuldade para escoar, em comparação com a água, por exemplo. Fluidos para os quais a taxa de deformação é proporcional à tensão de cisalhamento, são ditos fluidos newtonianos (Çengel, Cimbala 2007). Na Equação 4, vemos a maneira de como a tensão de cisalhamento é expressa no escoamento cisalhante unidimensional de fluidos newtonianos:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad (4)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (N/m²);

μ = coeficiente de viscosidade dinâmico (N.s/m²);

$\frac{du}{dy}$ = gradiente de velocidade. (1/s).

Um fator importante que influencia muito na viscosidade é a temperatura, como pode ser visto na Tabela 1. Pode-se perceber a grande variação da viscosidade (dinâmica e cinemática, respectivamente) da água de acordo com a mudança de temperatura.

Tabela 1 – Variação da viscosidade da água com a temperatura

Temperatura °C	Viscosidade dinâmica μ (mPa . s)	Viscosidade cinemática (cm ² /s)
0	1,787	1,787
20	1,0019	1,0037
40	0,6530	0,6581
60	0,4665	0,4744
80	0,3548	0,3651
100	0,2821	0,2944

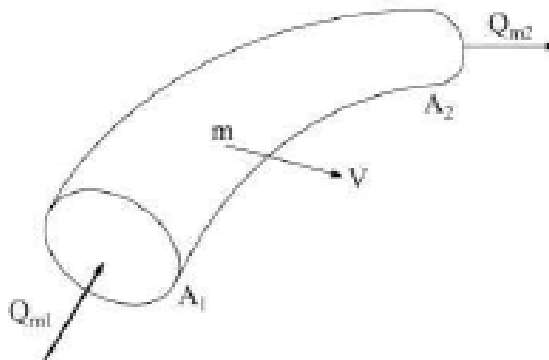
Fonte: adaptado de NETTO et al, 1998.

2.3 Equações básicas da Hidrodinâmica

2.3.1 Equação da Continuidade

Segundo Brunetti (2008), a Equação da continuidade pode ser demonstrada através da seguinte Figura 5:

Figura 5 – Escoamento de um fluido por um tubo de corrente.



Fonte: Franco Brunetti, 2008.

Sendo Q_{m1} a vazão em massa na seção de entrada e Q_{m2} a vazão em massa na seção de saída, e sabendo que num tubo de corrente não pode haver fluxo lateral de massa, é possível chegar à conclusão que, para que um regime seja dito permanente é imprescindível que não ocorra variações de propriedades com o tempo em nenhum momento (Crane, 1982). Ou seja, nos pontos internos do tubo não pode haver acúmulo ou redução de massa, de forma que ocorra sua conservação. Logo, a Equação da continuidade para um fluido qualquer em regime permanente pode ser descrita pela seguinte Equação 5:

$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad (5)$$

A Equação 5 ainda pode ser escrita da seguinte forma:

$$\rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad (6)$$

ou

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Onde:

ρ_1, ρ_2 = densidade ou massa específica na entrada e saída (kg/m³);

A_1, A_2 = Área na entrada e saída (m²);

v_1, v_2 = velocidade na entrada e saída (m/s).

Para um fluido incompressível, como a água, a massa específica deverá ser a mesma na entrada e saída do volume V . Assim, a Equação 6 ficará do seguinte modo:

$$\rho \cdot Q_1 = \rho \cdot Q_2$$

Ou

$$Q_1 = Q_2 \quad (7)$$

Assim, chega-se à conclusão de que a vazão em volume de um fluido incompressível será a mesma em qualquer seção do escoamento, sendo a Equação 7 a demonstração da Equação da continuidade para tal fluido.

2.3.2 Bernoulli

De acordo com White (2011), a Equação de Bernoulli foi estabelecida em 1738 pelo matemático holandês Daniell Bernoulli. Essa Equação é válida em regiões que possuem regime permanente, onde não haverá variação de velocidade em função do tempo, e escoamento incompressível, no qual não há variação da massa específica, sendo uma relação aproximada entre velocidade, altura e pressão (Çengel, Cimbala 2007).

Em suma, Bernoulli mostra que em um escoamento de fluido incompressível, quando houver aumento da velocidade haverá redução da pressão e vice-versa. Ou seja, a energia total será mantida, mesmo havendo troca de energia entre duas seções.

Além de se assumir o regime permanente e escoamento incompressível, também deve-se levar em consideração o efeito nulo da viscosidade, não havendo perda de carga entre dois pontos ao longo do trecho considerado de escoamento. Isso ocorre devido aos efeitos desprezivelmente pequenos acarretados das forças viscosas ou resultantes de atrito, quando comparados a outras forças que atuam sobre as partículas do fluido, como os efeitos da inércia, da gravidade e da pressão (Fox *et al*, 2010).

Através dessa Equação, pode-se afirmar que a energia cinética, potencial e de escoamento de uma partícula de fluido ao longo do tempo de uma linha de corrente, quando somadas, é constante. Logo, a energia potencial e cinética podem virar energia de escoamento e vice-versa, acarretando uma mudança de pressão (Brunetti, 2008).

A carga total pode ser descrita pela Equação 8.

$$H = \frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad (8)$$

Onde:

H = carga total (m);

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ = carga cinética (m);

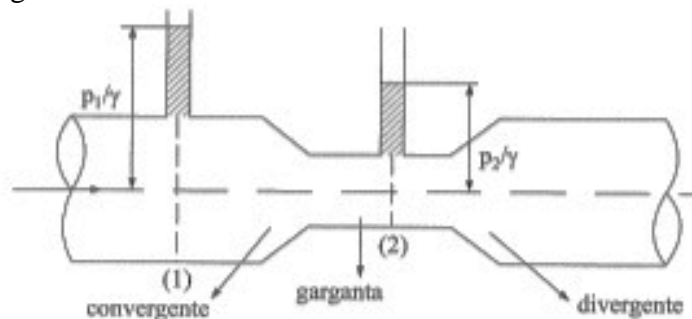
$\frac{p}{\gamma}$ = carga de pressão (mH_2O);

z = carga potencial (m).

2.4 Tubo de Venturi

O tubo de Venturi é um equipamento usado para medir a velocidade de um escoamento e a vazão de um fluido, baseando-se na diferença de pressão que é provocada por diferentes áreas da seção transversal da tubulação. A partir da Figura 6, podemos perceber que o tubo de Venturi é constituído de um tubo convergente, com uma seção mínima denominada garganta, e de extremidades divergentes. Basicamente, há uma medição de pressão na entrada e outra na garganta, de forma que essa diferença de pressão, causada pela diminuição da área, permite que a vazão e velocidade sejam determinadas (Çengel, Cimbala 2007).

Figura 6 – Funcionamento de um Tubo de Venturi



Fonte: Mecânica dos Fluidos – Franco Brunetti (2008).

Nota-se que a região (1) possui uma maior área de seção transversal, em comparação com a região (2), garganta. Através da Equação da continuidade, temos que para uma mesma vazão, quanto menor a área, maior será a velocidade de escoamento. Assim, conclui-se que realmente a velocidade na região (2), garganta, será maior. Dessa forma, para que a Equação de Bernoulli seja satisfeita teremos uma diminuição da pressão na região central (2), comprovando que realmente ocorre um aumento de velocidade e diminuição da pressão na garganta.

Para o cálculo da vazão teórica, é fornecida a seguinte Equação 9:

$$Q = C_D \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)}} \quad (9)$$

De forma que,

Q = Vazão Volumétrica Teórica (l/s);

C_D = Coeficiente de Descarga; (-);

A_1 = Área de Entrada do Venturi (m²);

A_2 = Área da Garganta do Venturi (m²);

ρ = Densidade do Fluido (kg/m³);

Δp = Queda de Pressão através do Venturi (Pascal ou N/m²).

2.5 Número de Reynolds

Antes de falar propriamente sobre o número de Reynolds, deve-se tratar de alguns conceitos que se relacionam diretamente com o tema, como regime de escoamento laminar e regime de escoamento turbulento. Diz-se que é laminar quando se encontra um movimento linear altamente ordenado e com linhas de correntes suaves. Entretanto, se o movimento for altamente desordenado e com a velocidade apresentando componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido, isto é, flutuações, diz-se turbulento. Ainda há também o escoamento de transição, que, como o próprio nome já permite deduzir, é uma passagem do estado laminar para o turbulento.

Segundo Gomes (2004), a maioria dos escoamentos encontrados no meio prático e na engenharia é turbulento. Na Figura 7, pode-se ver um exemplo prático de escoamento tubular e laminar.

Figura 7 – Escoamento turbulento e Escoamento laminar



Em 1883, Osborne Reynolds descobriu que o regime de escoamento vai depender de uma relação entre forças inerciais e forças viscosas, deduzindo assim a Equação que leva seu nome, onde:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{med} \cdot D}{\mu} \quad (10)$$

Onde:

Re = número de Reynolds;	(-);
ρ = densidade do fluido	(kg/m ³);
V_{med} = velocidade média	(m/s);
D = diâmetro	(m);
μ = viscosidade do fluido	(Pa.s).

Segundo Fox et al (2010), para Reynolds consideravelmente grande, na maior parte do escoamento, os efeitos viscosos poderão ser considerados desprezíveis. Entretanto, para um número de Reynolds pequeno, os efeitos viscosos serão dominantes.

Para este trabalho, dois pontos importantes: primeiro, foi levado em consideração a Tabela 2 como referência para o tipo de escoamento; segundo, a velocidade, usada na fórmula para o cálculo do valor de Reynolds, foi outro elemento determinado através de sensores e linguagem de programação *python*. Assim como a vazão, que já havia sido mencionada, o código está disponível no Apêndice A.

Tabela 2 – Limites dos regimes de escoamento laminar e turbulento

Escoamento Laminar	Re < 2000
Transição	2000 < Re < 4000
Escoamento Turbulento	Re > 4000

Fonte: adaptado de Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos

2.6 Fator de Atrito

Existem diversos modos diferentes de encontrar o fator de atrito, variando de autor

para autor, das características do fluido e do escoamento, como por exemplo, se o regime é laminar ou turbulento, sendo possível obtê-lo a partir de análise gráfica, como o diagrama de Moody, ou por meio de equações, como a de Colebrook-White. O fator de atrito pode ser definido como um parâmetro adimensional usado para mensurar as perdas de carga resultante do atrito no escoamento.

Para escoamento do tipo laminar, isto é, para ($Re < 2000$) o f de atrito pode ser representado pela seguinte Equação 11:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{Re} \quad (11)$$

Onde:

f_{laminar} = fator de atrito no escoamento laminar (-);

Re = número de Reynolds (-).

Para escoamento do tipo turbulento, isto é, para ($Re > 4000$) o f de atrito pode ser representado pela seguinte Equação 12:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{e}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (12)$$

Conhecida como Equação de Colebrook-White, é a expressão mais usual para o cálculo do fator de atrito, sem que haja necessidade do uso de métodos gráficos (Fox *et al*, 2010).

Onde:

f = fator de atrito no escoamento turbulento (-);

D = diâmetro (m);

e = rugosidade (m);

Re = número de Reynolds (-).

Entretanto, a Equação utilizada neste trabalho e sugerida pelo manual da bancada estudada foi a Equação 13 de Paul Blasius, sendo uma alternativa bastante confiável para o escoamento turbulento em tubos lisos com valor de $4000 < Re < 10^5$:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (13)$$

Onde:

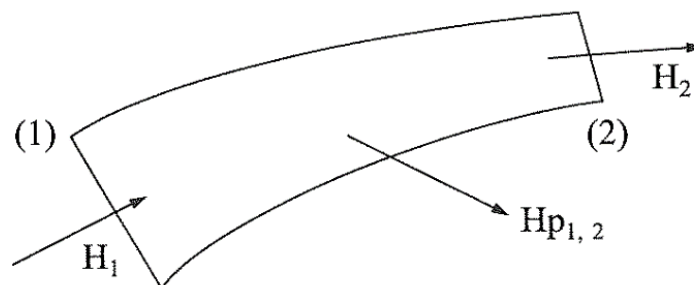
f = fator de atrito no escoamento turbulento para tubos lisos (-);

Re = número de Reynolds (-).

2.7 Perda de Carga

Conforme abordado na introdução, a perda de carga é a perda de energia que um fluido real sofre no trajeto do escoamento, seja devido ao atrito das partículas entre si ou com as mudanças de direções e perturbações (Fox et al, 2010).

Figura 8 – Perda de energia sofrida por um fluido



Fonte: Mecânica dos Fluidos – Bistafa (2010).

Devido a esse atrito existente no fluido ao longo do trajeto haverá uma perda de energia, representada por $H_{p1,2}$ na Figura 8, onde $H_1 > H_2$. Dessa forma, tem-se a seguinte Equação 14:

$$H_1 = H_2 + H_{p1,2} \quad (14)$$

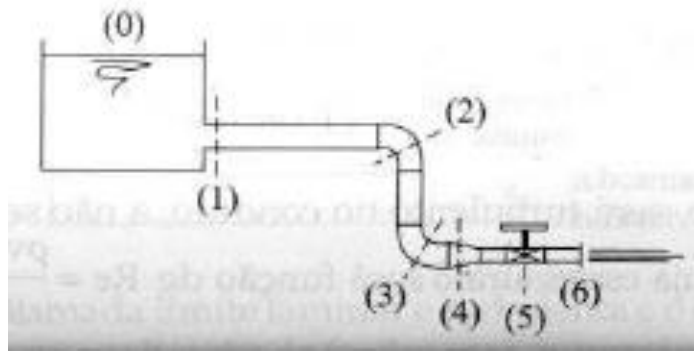
Onde:

H_1 e H_2 = cargas totais

$H_{p1,2}$ = perda de carga

A perda de carga pode ser subdividida em: perda de carga distribuída e perda de carga pontual ou singular. Um exemplo desses dois tipos de perda de carga pode ser verificado na Figura 9, e será melhor explicado mais adiante.

Figura 9 – Perda de carga distribuída e Perda de Carga pontual



Fonte: Mecânica dos Fluidos – Franco Brunetti (2008).

2.7.1 Perda de carga distribuída (h_f)

Esse tipo de perda, como já mencionado, ocorre devido ao atrito das partículas do fluido entre si, acontecendo ao longo de tubos retos, com seção constante. Por exemplo, na Figura 9 pode-se perceber essa perda de carga distribuída entre (1 e 2), (2 e 3), (3 e 4), (4 e 5) e (5 e 6).

De acordo com Crane (1982), a fórmula universal que descreve a perda de carga distribuída, representada por h_f , é demonstrada pela Equação 15, também conhecida como Equação de Darcy-Weisbach, de maneira que:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (15)$$

Onde:

h_f = perda de carga distribuída (m);

f = fator de atrito (-);

L = comprimento (m);

D = diâmetro (m);

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ = Carga cinética (m).

2.7.2 Perda de carga pontual ou singular (h_s)

Ainda usando a Figura 9 como exemplo, pode-se perceber um estreitamento nos pontos (1) e (4), cotovelos nos pontos (2) e (3), e uma válvula no ponto (5). Esses pontos, também conhecidos como singularidades, são representados por locais que causam perturbações bruscas no escoamento, acarretando a perda de carga singular, representada por h_s (Bistafa, 2010).

Há várias formas para o cálculo dessa perda de carga. No manual da bancada

estudada, fornecido pelo fabricante, essa perda de carga foi obtida através do piezômetro, exemplificado na Figura 10.

Figura 10 – Piezômetro presente na bancada



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para este trabalho, assim como vazão e velocidade, a perda de carga pontual ou singular foi determinada através de sensores de pressão e linguagem de programação python. E, da mesma maneira, o código utilizado está no apêndice A.

No piezômetro, a perda de carga pontual foi demonstrada pelo fabricante por meio da diferença de altura entre as colunas d'água, que variavam de acordo com a pressão nos pontos analisados. Entretanto, neste trabalho o piezômetro não foi usado, de maneira que os sensores determinavam a pressão nos pontos analisados.

Após a obtenção dessa pressão, foi utilizado o princípio fundamental da hidrostática, representado pela Equação 16, para o cálculo da perda de carga pontual, dada em função da pressão, gravidade e densidade do fluido:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (16)$$

Onde:

- ΔP = diferença de pressão (Pa);
- ρ = densidade do fluido (kg/m³);
- g = aceleração da gravidade (m²/s);
- Δh = diferença de altura, que representa a perda de carga pontual (m).

3 METODOLOGIA

A seguir serão mostradas as etapas e métodos empregados na realização dos experimentos de perda de carga que compõem este trabalho.

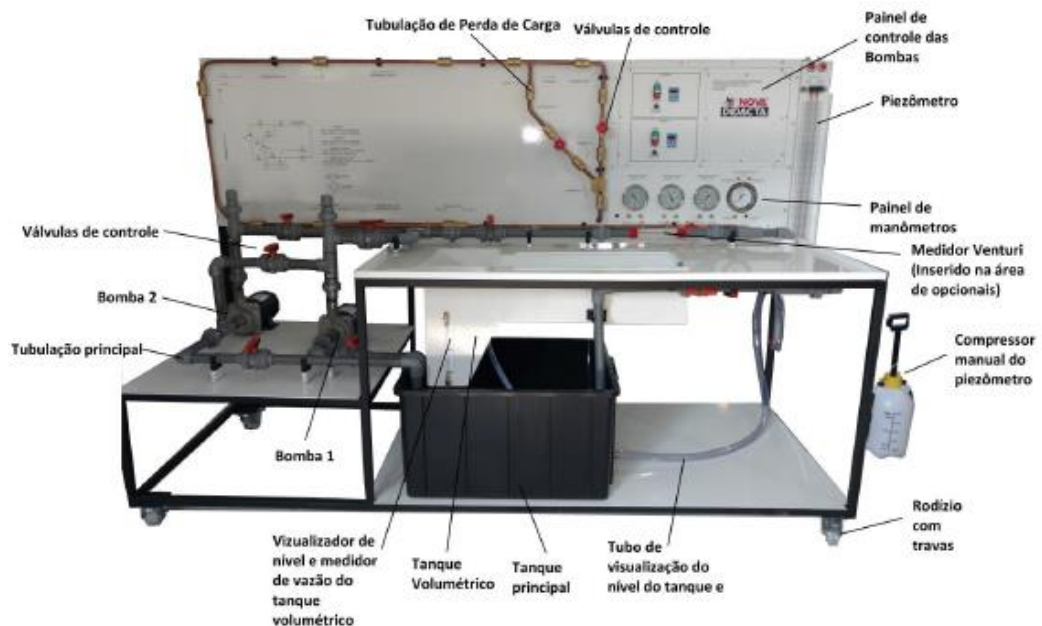
Primeiramente, serão vistos conceitos e características da bancada utilizada. Posteriormente, serão apresentados, de forma detalhada, os experimentos de perda de carga realizados.

3.1 Bancada

Estando localizada no Laboratório de Ciências Térmicas e Mecânica dos Fluidos da UFC - campus Russas, a bancada é composta por diversos equipamentos de extrema relevância para a compreensão da parte prática da Mecânica de Fluidos, sendo a parte referente a perda de carga o foco deste trabalho e um dos principais destaques desta área. Na Figura 11, além da parte relativa à perda de carga, é possível perceber bombas centrífugas, as quais são bastante importantes para as realizações dos experimentos, por ser possível o controle das rotações das bombas pelo painel presente na bancada; tubulações e válvulas que se relacionam com a vazão e perda de carga; mangueiras que possuem conectores de engate rápido e permitem a conexão entre os pontos analisados da perda de carga e os sensores utilizados.

Um outro fator importante é a possibilidade dessas bombas serem usadas em série ou em paralelo, entretanto para os experimentos de perda de carga foi utilizada apenas a bomba número 1.

Figura 11 – Descrição dos principais componentes da bancada



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016).

3.2 Experimentos de perda de carga

Em conformidade com o que foi citado anteriormente, o foco principal deste trabalho foi na determinação experimental e análise da perda de carga em um trecho da bancada de mecânica dos fluidos, exemplificado na Figura 2. A perda de carga foi calculada nos seguintes pontos: Curva T, Cotovelo 45°, Curva Y, T direto, Cotovelo 90° e Y direto, seguindo as orientações que constam no manual do fabricante, para que posteriormente fosse feita uma análise comparativa entre os experimentos realizados presentes no manual e neste trabalho.

Uma observação importante é que foram utilizados sensores de pressão para o auxílio dos experimentos. Juntamente com linguagem de programação python, esses sensores permitiram a obtenção das pressões pontuais nos diferentes pontos analisados, fazendo com que seja possível determinar a perda de carga pontual ou singular e, conseqüentemente, a perda de carga total, as quais serão demonstradas detalhadamente nos próximos tópicos.

3.2.1 Checagens iniciais

Os passos iniciais, que devem ser realizados antes dos experimentos propriamente ditos, são as checagens dos componentes da bancada, para que não ocorra nenhum tipo de interferência nos resultados acarretando erros.

Primeiramente, antes mesmo de ligar a bancada, deve-se checar o nível de água nas tubulações da bomba e no tanque, para que elas não operem sem água e acabem sendo danificadas, podendo, após isso, dar início nas bombas para que seja verificado se a água está fluindo de maneira normal. Na Figura 12 é possível perceber a checagem de água nas tubulações.

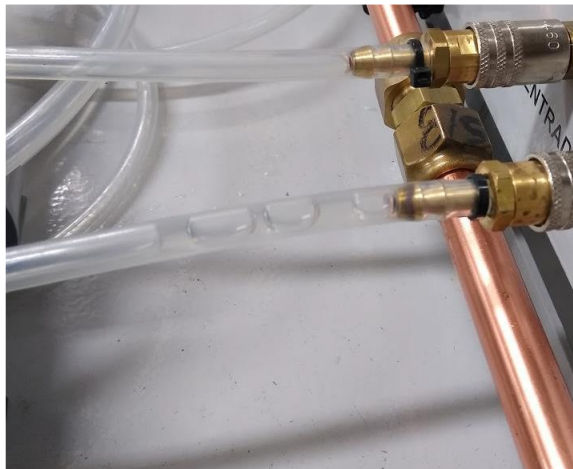
Figura 12 – Checagem de água nas tubulações



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

É necessário, também, ficar atento a alguns pontos que podem influenciar nos resultados dos experimentos de perda de carga, como a presença de bolhas de ar nas mangueiras que unem os pontos desejados aos sensores utilizados. Para que essas bolhas sejam retiradas, é preciso realizar um processo denominado de sangria. Tal processo é feito conectando a mangueira em um local específico da bancada que realiza essa retirada das bolhas de ar do sistema. Na Figura 13 é possível observar a presença de bolhas de ar nas mangueiras.

Figura 13 – Bolhas de ar nas mangueiras

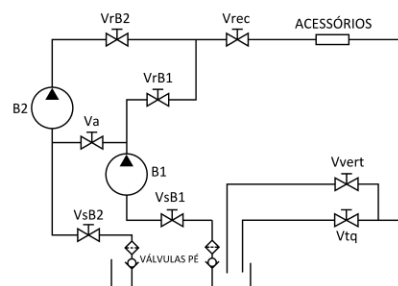


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Só após essas checagens iniciais é possível começar os experimentos de perda de carga, com a convicção de que os possíveis erros que viriam a existir foram eliminados ou reduzidos ao extremo.

Através da Figura 14 pode-se perceber o diagrama hidráulico das tubulações da bancada. É importante, principalmente, pois por meio dele é possível ter uma melhor noção das diferentes configurações que serão impostas à bancada para a realização dos diversos pontos de perda de carga.

Figura 14 – Diagrama hidráulico das tubulações



B1 - Bomba 1
B2 - Bomba 2
VrB1 - Válvula de Recalque da Bomba 1
VrB2 - Válvula de Recalque da Bomba 2
VsB1 - Válvula de Sucção da Bomba 1
VsB2 - Válvula de Sucção da Bomba 2
Va - Válvula de Associação das Bombas
Vrec - Válvula de Recalque das Bombas
Vvert - Válvula do Vertedouro
Vtq - Válvula do Tanque

Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016).

Para o cálculo da perda de carga foi utilizada a Bomba 1, de modo que a bancada ficasse com a seguinte configuração:

- V_{sB1} ; V_{rB1} ; V_{rec} – abertas.
- V_{sB2} ; V_{rB2} ; V_a ; V_{vert} ; V_{tq} – fechadas.

Da mesma maneira, a rotação da bomba 1 deverá estar ajustada em 3300 rpm, e a válvula de acesso da tubulação da perda de carga, mostrada na Figura 15, deverá estar completamente aberta. O motivo pela utilização da bomba 1 e desta rotação se dá pelas configurações que constam no manual do fabricante. Assim, os resultados obtidos nos experimentos podem ser analisados de forma precisa.

Figura 15 – Válvula de acesso da tubulação da perda de carga



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Uma observação importante é que a abertura dessa válvula de acesso da tubulação da perda de carga irá variar com o tempo, de modo que no decorrer do experimento deve-se fechá-la gradativamente para que se obtenha diversos valores de vazão nos pontos desejados.

Para o cálculo da perda de carga, além das configurações já mencionadas, deve-se também levar a seguinte Tabela 3 em consideração:

Tabela 3 – Válvulas de controle da tubulação de perda de carga

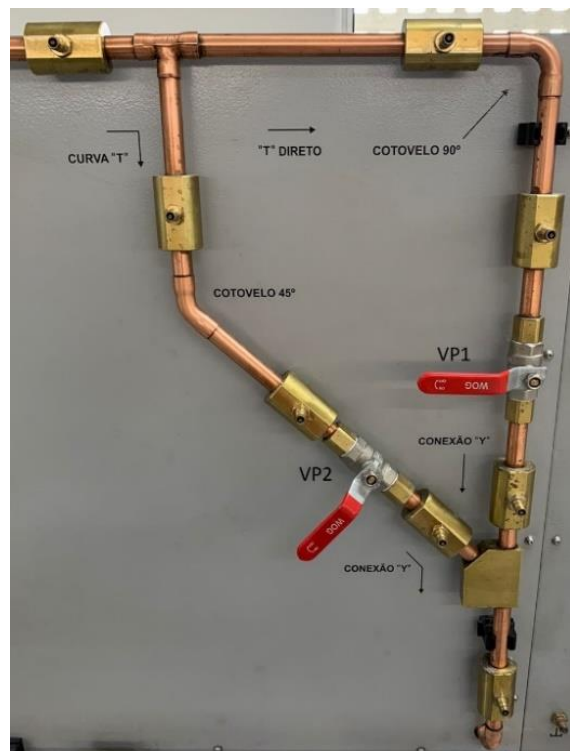
Curva T	Fechar VP1
Cotovelo 45°	Abrir VP2
Curva Y	
T Direto	Fechar VP2
Cotovelo 90°	Abrir VP1
Y Direto	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Exemplificando melhor, na Figura 16 pode-se perceber as válvulas VP1 e VP2 citadas, de maneira que elas fiquem abertas ou fechadas de acordo com o ponto que está sendo analisado.

Essas válvulas VP1 e VP2 dividem os experimentos em 2 partes, onde em um primeiro momento VP1 fica fechada e VP2 aberta e num segundo momento VP1 fica aberta e VP2 fechada. Dessa forma, assim foram feitos os experimentos.

Figura 16 – Válvulas de controle da tubulação da perda de carga

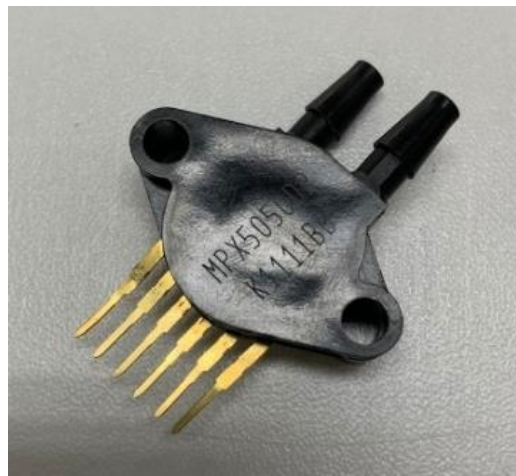


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.2 Sensores de pressão

Os experimentos realizados neste trabalho foram auxiliados por dois sensores de pressão: o primeiro é o MPX5050DP, representado pela Figura 17, onde foi usado para determinar a diferença de pressão no Venturi e permitir a obtenção de dados como vazão e velocidade, necessários para a perda de carga distribuída h_f ; o segundo é o Transmissor de pressão de 60 psi, mostrado na Figura 18, utilizado para obter a pressão pontual ou singular nos pontos da perda de carga, conhecida como perda de carga singular h_s .

Figura 17 – Sensor MPX5050DP



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 18 – Sensor de transmissão de pressão 60 psi



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.3 Perda de Carga Distribuída

Como já foi visto, a perda de carga distribuída depende do fator de atrito e cinética, comprimento e diâmetro da tubulação. O fator de atrito e cinética são obtidos por meio do sensor MPX5050DP, demonstrado na Figura 17, utilizando a linguagem de programação python.

Assim, para os valores de vazão que foram escolhidos é possível obter os dados do fator de atrito e cinética através dos cálculos ou pelo próprio programa, permitindo posteriormente calcular a perda de carga distribuída em todos os pontos.

3.2.4 Perda de Carga Pontual

3.2.4.1 Referencial da Curva T

Esse ponto marca o início da primeira parte dos experimentos deste trabalho, já que ele serve como ponto de referência para a obtenção da perda de carga na Curva T. De maneira sucinta, é o ponto de partida para o cálculo da perda de carga, que será usado como referência para o cálculo da perda de carga pontual, demonstrado na Figura 19.

Após todas as checagens iniciais, foi usado o seguinte procedimento para a obtenção dos dados desse ponto:

1. Conexão do ponto referencial inicial, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi, mostrado na Figura 18;
2. Abertura da válvula VP2 e fechamento da válvula VP1, mostradas na Figura 16;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, representada pela Figura 15, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

3.2.4.2 Curva T

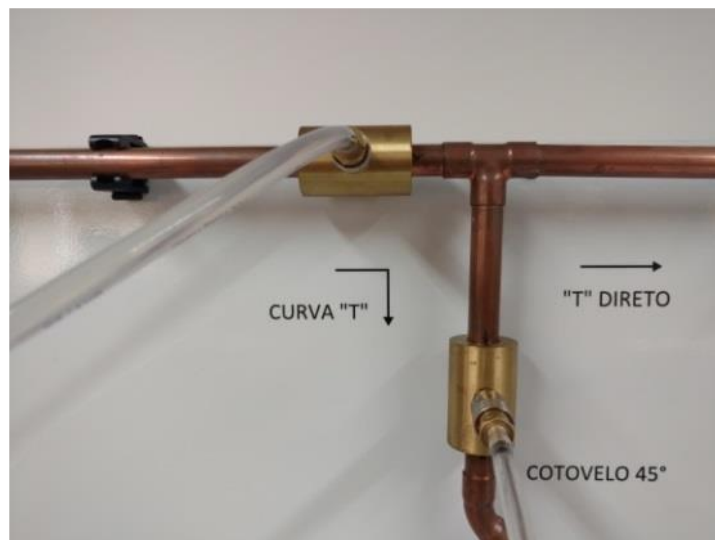
Para o cálculo da perda de carga na curva T, é colocada a mangueira de engate rápido no ponto da curva T interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 19, de maneira que o sensor de pressão transmita as informações do ponto por meio da linguagem de programação python.

A perda de carga pontual ou singular na curva T é obtida através da diferença de pressão entre o referencial inicial e a curva T, usando o princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto da Curva T, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP2 e fechamento da válvula VP1;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 19 – Conexão na curva T



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.3 Cotovelo 45°

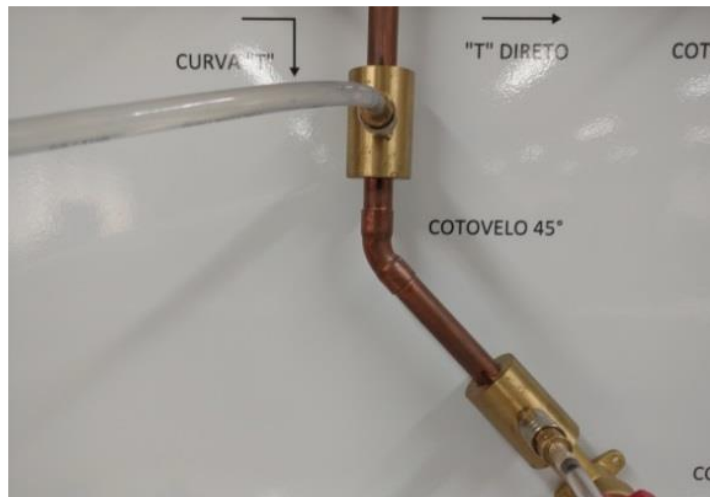
A perda de carga do ponto chamado Cotovelo de 45° é obtida colocando-se a mangueira de engate rápido no ponto citado e interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 20.

A perda de carga pontual ou singular nesse ponto é obtida através da diferença de pressão entre o ponto anterior, representado pela Curva T, e o ponto do Cotovelo de 45°, usando o mesmo princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto do Cotovelo de 45°, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP2 e fechamento da válvula VP1;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 20 – Conexão no Cotovelo 45°



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.4 Curva Y

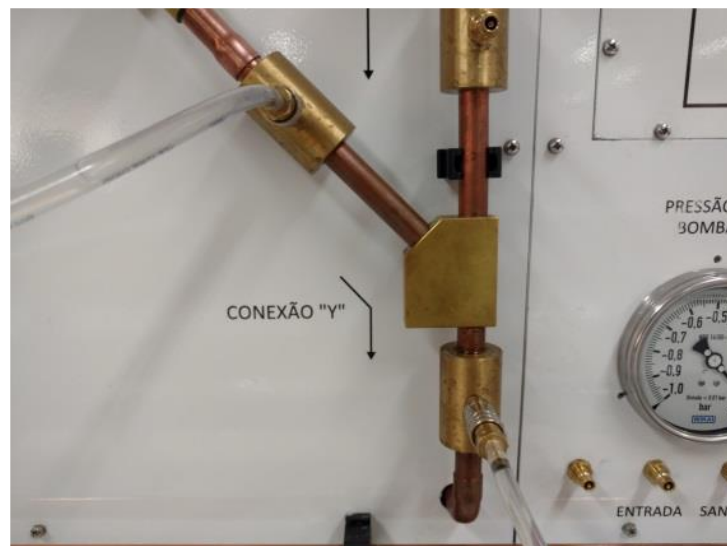
De modo semelhante, a perda de carga da Curva Y é obtida colocando-se a mangueira de engate rápido no ponto citado e interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 21.

A perda de carga pontual nesse ponto é obtida através da diferença de pressão entre o ponto da Curva Y e o ponto posterior, representado pelo referencial final da Curva Y, através do princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto da Curva Y, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP2 e fechamento da válvula VP1;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 21 – Conexão na Curva Y



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.5 Referencial da Curva Y

Esse ponto marca o final da primeira parte dos experimentos deste trabalho, já que ele serve como ponto de referência final para a obtenção da perda de carga na Curva Y. Basicamente, é o ponto de chegada para o cálculo da perda de carga, que será usado como referência para o cálculo da perda de carga pontual. Pode ser observado na Figura 21.

Após todas as checagens iniciais, foi usado o seguinte passo a passo para a obtenção dos dados desse ponto:

1. Conexão do ponto referencial final, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP2 e fechamento da válvula VP1;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

3.2.4.6 Referencial do T Direto

Esse ponto marca o início da segunda parte dos experimentos deste trabalho, já que ele serve como ponto de referência para a obtenção da perda de carga no T Direto. De forma resumida, é o ponto de partida para o cálculo da perda de carga, que será usado como referência para o cálculo da perda de carga pontual, demonstrado na Figura 22. É o mesmo ponto do referencial inicial do T Direto, mudando apenas a configuração das válvulas VP1 e VP2.

Após todas as checagens iniciais, foi usado o seguinte passo a passo para a obtenção dos dados desse ponto:

1. Conexão do ponto referencial inicial, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP1 e fechamento da válvula VP2;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

3.2.4.7 T Direto

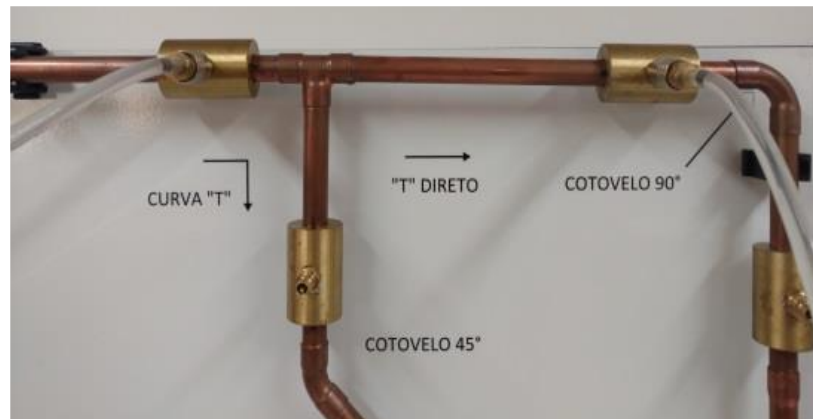
Para o cálculo da perda de carga no T Direto, é colocada a mangueira de engate rápido no ponto do T Direto interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 22, de maneira que o sensor de pressão transmita as informações do ponto por meio da linguagem de programação python, para o cálculo da perda de carga.

A perda de carga pontual no T Direto é obtida através da diferença de pressão entre o referencial inicial e o T Direto, usando o princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto do T Direto, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP1 e fechamento da válvula VP2;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 22 – Conexão T Direto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.8 Cotovelo 90°

A perda de carga do ponto chamado Cotovelo de 90° é obtida colocando-se a mangueira de engate rápido no ponto citado e interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 23.

A perda de carga pontual ou singular nesse ponto é obtida através da diferença de pressão entre o ponto anterior, representado pelo T Direto, e o ponto do Cotovelo de 90°, usando o mesmo princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto do Cotovelo de 90°, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP1 e fechamento da válvula VP2;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 23 – Conexão Cotovelo 90°



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.9 Y Direto

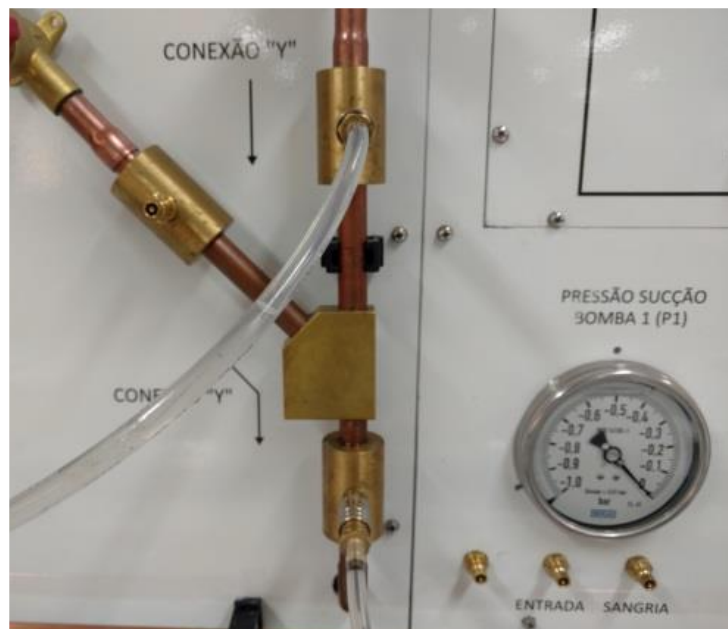
De modo semelhante, a perda de carga do Y Direto é obtida colocando-se a mangueira de engate rápido no ponto citado e interligando ao sensor de transmissão de pressão de 60 psi, como mostra a Figura 24.

A perda de carga pontual nesse ponto é obtida através da diferença de pressão entre o ponto do Y Direto e o ponto posterior, representado pelo referencial final do Y Direto, através do princípio fundamental da hidrostática.

A perda de carga foi determinada seguindo o seguinte procedimento:

1. Conexão do ponto do Y Direto, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP1 e fechamento da válvula VP2;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

Figura 24 – Conexão Y Direto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.4.10 Referencial do Y Direto

Esse ponto marca o final da segunda parte dos experimentos deste trabalho, já que ele serve como ponto de referência final para a obtenção da perda de carga no Y Direto. Basicamente, é o ponto de chegada para o cálculo da perda de carga, que será usado como referência para o cálculo da perda de carga pontual. Pode ser observado na Figura 24.

Após todas as checagens iniciais, foi usado o seguinte procedimento para a obtenção dos dados desse ponto:

1. Conexão do ponto referencial final, através da mangueira de engate rápido, com o sensor de transmissão de pressão de 60 psi;
2. Abertura da válvula VP1 e fechamento da válvula VP2;
3. Execução do programa para a obtenção dos dados, por meio de linguagem de programação python;
4. Fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, de modo que fosse obtida diversas vazões;
5. Análise preliminar dos dados e prosseguimento para os demais pontos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através dos experimentos realizados em todos os pontos já conhecidos. Com base nesses resultados, foram gerados gráficos e tabelas para auxiliar na comparação com os resultados fornecidos pelo fabricante da bancada.

4.1 Referencial Curva T

Na Tabela 4, é possível observar os valores de referência usados para o cálculo da perda de carga na Curva T, obtidos através dos sensores nos experimentos realizados.

Tabela 4 – Referencial perda de carga Curva T

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão pontual – HL (bar)
33,0322	3,6220	0,6693	54135	0,0207	0,1297	0,4084
32,061	3,5155	0,6305	52543	0,0209	0,1231	0,3885
30,0664	3,2968	0,5545	49274	0,0212	0,1100	0,3415
29,4242	3,2263	0,5311	48222	0,0213	0,1059	0,2976
25,0069	2,7420	0,3836	40982	0,0222	0,0797	0,2065
17,0571	1,8703	0,1785	27954	0,0244	0,0408	0,0987
16,1226	1,7678	0,1594	26422	0,0248	0,0370	0,0754
15,0212	1,6471	0,1384	24617	0,0252	0,0327	0,0512
13,0123	1,4268	0,1039	21325	0,0261	0,0254	0,0391

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os diferentes valores de vazão foram obtidos através do fechamento gradativo da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, como já foi detalhadamente descrito no capítulo anterior. Tais valores foram escolhidos, dentre vários obtidos, de maneira que fossem os mais próximos possíveis para todos os experimentos, já que não era possível haver um controle minucioso da abertura da válvula e, conseqüentemente, obter os mesmos valores de vazão para todos os pontos.

4.2 Curva T

A Tabela 5 mostra os valores do experimento de perda de carga para a Curva T.

Tabela 5 – Perda de carga Curva T

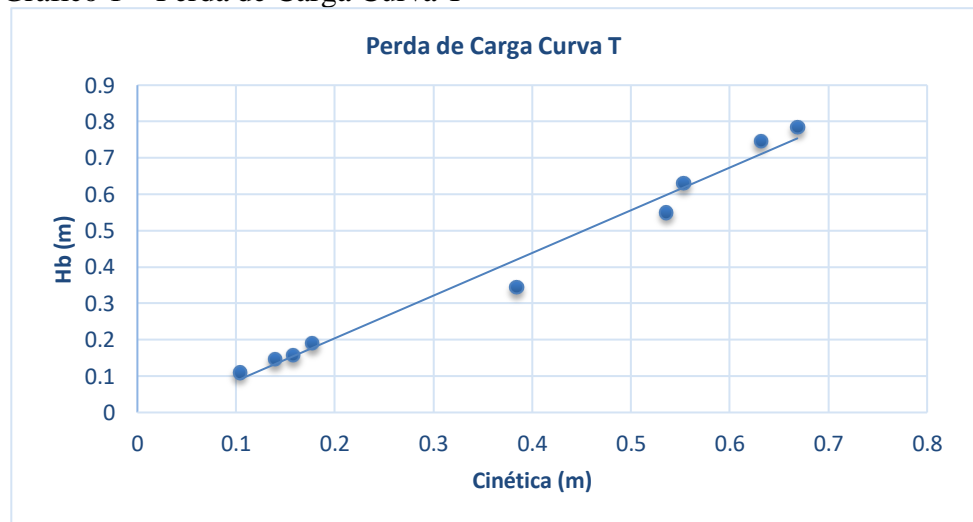
Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda Distribuída – HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
33,012	3,6197	0,6685	54101	0,0207	0,1295	0,3188	0,0896	0,9144	0,7849
32,0991	3,5196	0,6320	52605	0,0209	0,1233	0,3035	0,0851	0,8679	0,7445
30,0414	3,2940	0,5536	49233	0,0212	0,1098	0,2690	0,0725	0,7402	0,6303

29,5501	3,2401	0,5356	48428	0,0213	0,1067	0,2333	0,0644	0,6568	0,5501
25,0335	2,7449	0,3844	41026	0,0222	0,0798	0,1650	0,0415	0,4235	0,3436
17,0108	1,8652	0,1775	27878	0,0245	0,0406	0,0761	0,0227	0,2312	0,1906
16,0316	1,7579	0,1577	26273	0,0248	0,0366	0,0564	0,0191	0,1946	0,1580
15,0977	1,6554	0,1398	24743	0,0252	0,0329	0,0336	0,0176	0,1796	0,1467
13,0305	1,4288	0,1042	21355	0,0261	0,0255	0,0258	0,0133	0,1358	0,1103

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

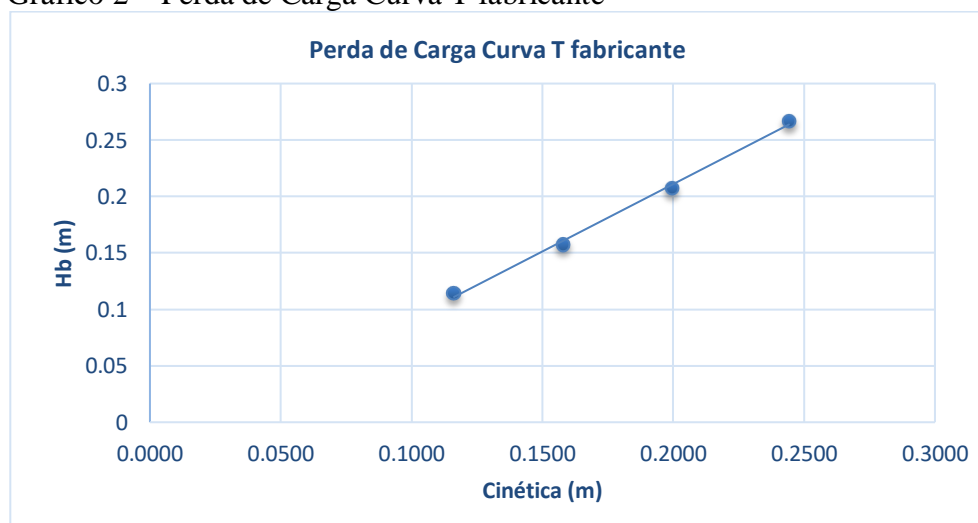
A partir dos dados do referencial da Curva T, exibidos na Tabela 4, foi possível calcular a perda total (HB) na Curva T para os valores de vazão mais próximos possíveis. Através do Gráfico 1 e Gráfico 2, é possível fazer uma comparação com os dados obtidos no experimento e os dados fornecidos pelo fabricante, respectivamente.

Gráfico 1 – Perda de Carga Curva T



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 2 – Perda de Carga Curva T fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Comparando os dois gráficos, é possível perceber que as linhas de tendência possuem basicamente a mesma inclinação, variando justamente a quantidade de pontos analisados em cada um deles. No primeiro gráfico, representado pelos experimentos deste trabalho, a vazão varia de 13 até 33. Já no segundo gráfico, representado pelo fabricante, a vazão varia de 13 até 20. Desta forma, fica claro que não é possível obter exatamente a mesma inclinação. Ao mesmo tempo, há o fato de o fabricante realizar seus experimentos e obter dados de forma manual, enquanto os experimentos e dados deste trabalho foram obtidos com auxílios de sensores de pressão, sendo assim menos sujeitos a erros.

Em comparação com o Gráfico 2, no Gráfico 1 é possível perceber uma variação maior da perda de carga à medida que a vazão aumenta. Nos primeiros pontos, para HB até 0,25 nos dois gráficos, é nítida a linha de tendência atravessando praticamente por cima dos pontos, contrastando com os últimos em que há uma variação bem maior para os pontos em que a vazão já está mais elevada. Possíveis explicações para isso seriam o fato de que quanto maior a vazão, maiores serão fatores como turbulência e fricção, acarretando perdas de carga maiores e com maiores variações entre si.

4.3 Cotovelo 45°

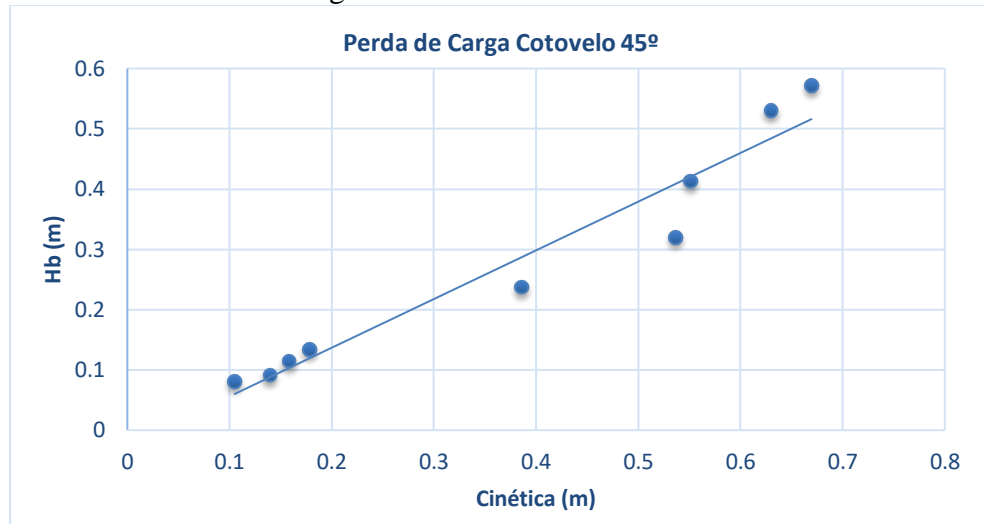
A Tabela 6 mostra os dados obtidos para o experimento da perda de carga no Cotovelo de 45°.

Tabela 6 – Perda de carga Cotovelo 45°

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynolds	Fator de Atrito	Perda Distribuída – HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
33,0376	3,6225	0,6695	54143	0,0207	0,1297	0,2502	0,0686	0,7004	0,5707
32,0502	3,5143	0,6301	52525	0,0209	0,1230	0,2395	0,0640	0,6527	0,5297
29,9824	3,2875	0,5514	49136	0,0212	0,1095	0,2178	0,0512	0,5223	0,4128
29,5894	3,2445	0,5371	48492	0,0213	0,1070	0,1915	0,0417	0,4260	0,3190
25,0866	2,7507	0,3860	41113	0,0222	0,0801	0,1339	0,0311	0,3173	0,2372
17,0714	1,8719	0,1788	27977	0,0244	0,0409	0,0591	0,0170	0,1738	0,1329
16,0639	1,7614	0,1583	26326	0,0248	0,0367	0,0415	0,0148	0,1514	0,1147
15,0839	1,6539	0,1396	24720	0,0252	0,0329	0,0215	0,0121	0,1239	0,0910
13,0804	1,4343	0,1050	21437	0,0261	0,0256	0,0155	0,0103	0,1054	0,0798

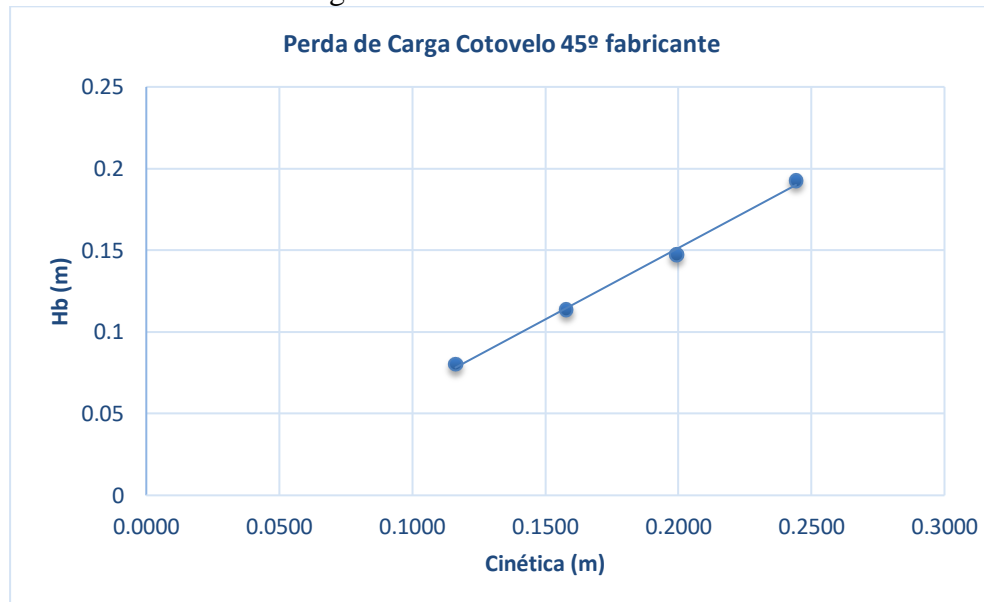
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 3 – Perda de Carga Cotovelo 45°



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 4 – Perda de Carga Cotovelo 45° fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Por meio do Gráfico 3 e Gráfico 4 é possível fazer uma comparação entre a perda de carga no cotovelo 45° obtida pelos dados obtidos nos experimentos deste trabalho e pelos dados fornecidos pelo fabricante. Novamente, é nítido que as duas linhas de tendência possuem inclinações com grande semelhança, variando a quantidade de pontos e o intervalo analisado, bem como a forma com que esses dados foram obtidos.

No Gráfico 3, também é nítida a grande variação nos últimos pontos da perda de carga, em comparação com os primeiros. Da mesma maneira, uma possível explicação pra isso é que justamente com o aumento da vazão ocorre também uma maior perturbação e fricção das partículas do fluido, aumentando assim a perda de carga e também tornando sua variação maior entre si.

4.4 Curva Y

A Tabela 7 e Tabela 8 são referentes aos dados da perda de carga na Curva Y e ao ponto de referência utilizado para os cálculos e obtenção desses dados, respectivamente.

Tabela 7 – Perda de carga Curva Y

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
32,9834	3,6166	0,6673	54055	0,0207	0,1293	0,2188	0,0579	0,5909	0,4616
32,0243	3,5114	0,6291	52483	0,0209	0,1228	0,2056	0,0497	0,5072	0,3844
30,0137	3,2910	0,5526	49188	0,0212	0,1097	0,1816	0,0431	0,4398	0,3302
29,5232	3,2372	0,5347	48384	0,0213	0,1065	0,1647	0,0384	0,3913	0,2847
25,1198	2,7544	0,3871	41167	0,0222	0,0803	0,1246	0,0276	0,2816	0,2013
17,107	1,8758	0,1795	28036	0,0244	0,0410	0,0361	0,0159	0,1618	0,1208
15,9836	1,7526	0,1567	26195	0,0248	0,0364	0,0305	0,0128	0,1306	0,0942
15,0336	1,6484	0,1386	24638	0,0252	0,0327	0,0268	0,0117	0,1191	0,0864
13,0252	1,4282	0,1041	21346	0,0261	0,0254	0,0169	0,0099	0,1007	0,0753

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

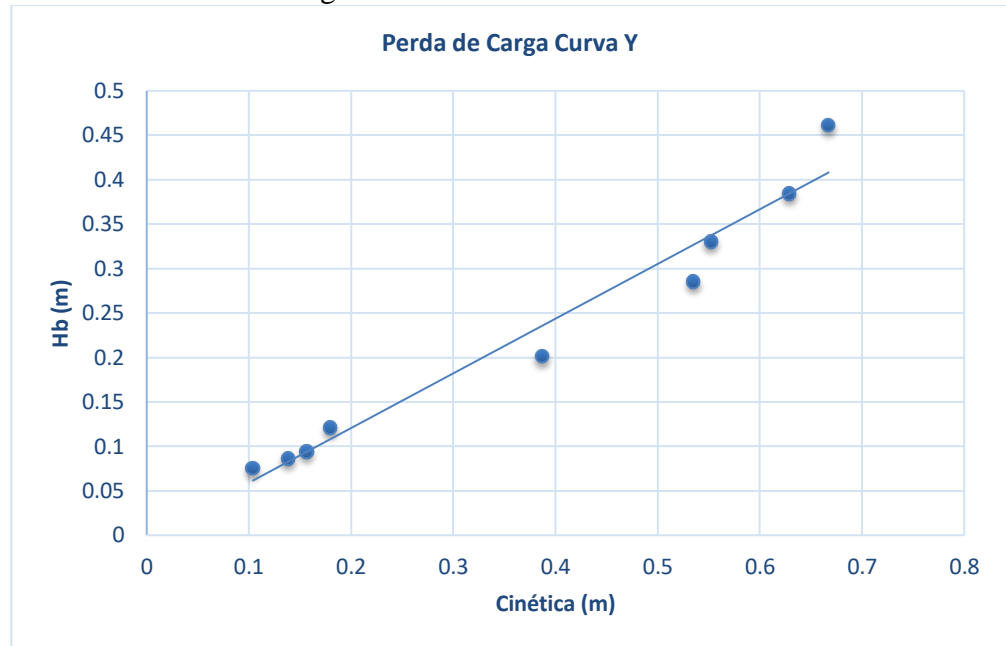
4.5 Referencial Curva Y

Tabela 8 – Referencial perda de carga Curva Y

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão pontual – HL (bar)
33,0377	3,6226	0,6695	54144	0,0207	0,1297	0,1609
32,0465	3,5139	0,6300	52519	0,0209	0,1230	0,1559
29,9715	3,2863	0,5510	49119	0,0212	0,1094	0,1384
29,5529	3,2404	0,5357	48433	0,0213	0,1067	0,1263
25,08	2,7500	0,3858	41102	0,0222	0,0801	0,0970
16,9458	1,8581	0,1761	27771	0,0245	0,0403	0,0202
16,1672	1,7727	0,1603	26495	0,0248	0,0371	0,0178
15,0482	1,6500	0,1389	24662	0,0252	0,0328	0,0152
13,0181	1,4274	0,1040	21335	0,0261	0,0254	0,0070

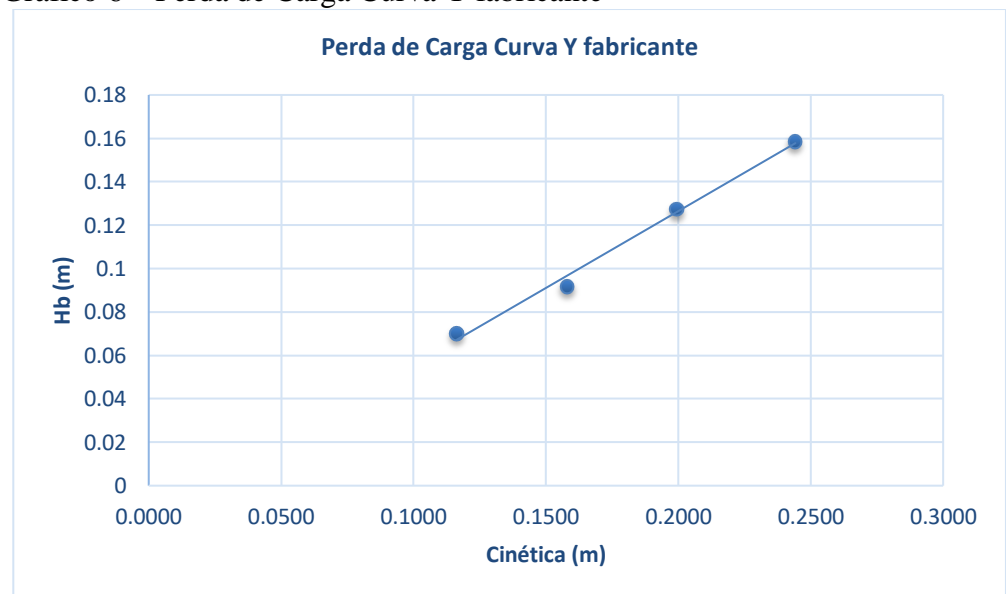
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 5 – Perda de Carga Curva Y



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 6 – Perda de Carga Curva Y fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Os Gráficos 5 e 6 mostram, respectivamente, as linhas de tendência da perda de carga dos experimentos deste trabalho e do fabricante. Como nos pontos anteriores, observa-se como diferença a quantidade de pontos analisados e o intervalo entre eles. É possível perceber, entretanto, que as linhas de tendência seguem um mesmo padrão de inclinação.

No Gráfico 5 também é possível perceber a grande variação da perda de carga entre os pontos de maior vazão em comparação com os primeiros pontos. Igualmente, isso ocorre devido a uma maior perturbação e fricção das partículas do fluido por conta da maior vazão do experimento.

4.6 Referencial T Direto

Na Tabela 9 e Tabela 10 estão contidos os valores de referência e perda de carga para o ponto do T Direto obtidos por meio dos experimentos deste trabalho.

Tabela 9 – Referencial perda de carga T Direto

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão pontual – HL (bar)
33,0732	3,6264	0,6710	54202	0,0207	0,1300	0,3714
32,0585	3,5152	0,6304	52539	0,0209	0,1231	0,3638
29,9774	3,2870	0,5512	49128	0,0212	0,1094	0,3214
29,5866	3,2441	0,5370	48488	0,0213	0,1069	0,2707
25,1222	2,7546	0,3871	41171	0,0222	0,0803	0,1916
17,0186	1,8661	0,1777	27891	0,0245	0,0406	0,1137
16,1015	1,7655	0,1590	26388	0,0248	0,0369	0,0905
15,002	1,6450	0,1381	24586	0,0252	0,0326	0,0718
13,0347	1,4292	0,1042	21362	0,0261	0,0255	0,0568

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

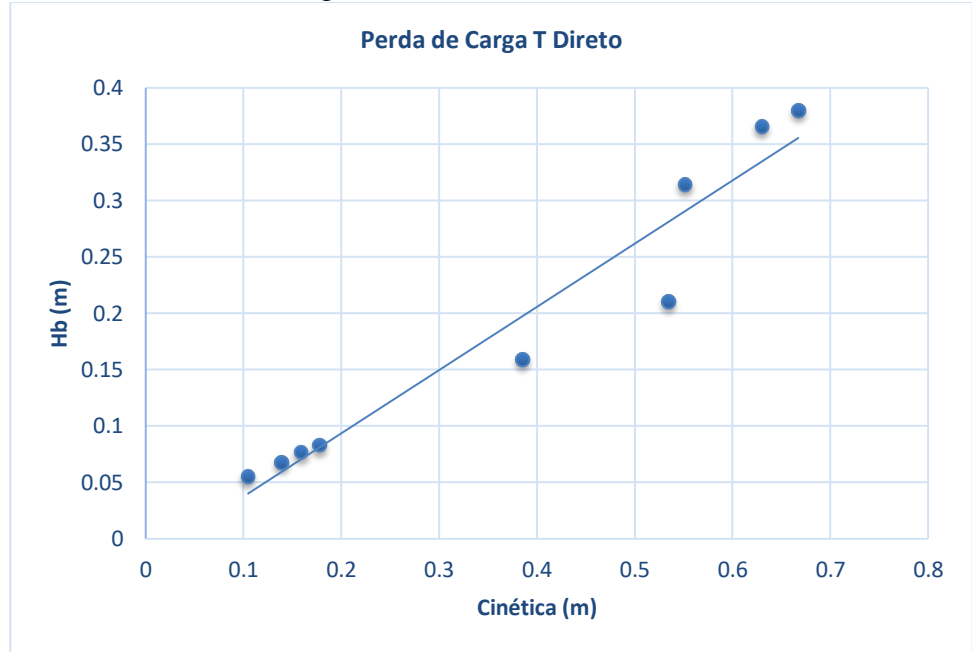
4.7 T Direto

Tabela 10 – Perda de carga T Direto

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
32,9811	3,6163	0,6672	54051	0,0207	0,1293	0,3215	0,0499	0,5092	0,3799
32,0455	3,5138	0,6299	52518	0,0209	0,1230	0,3159	0,0479	0,4888	0,3658
29,9859	3,2879	0,5516	49142	0,0212	0,1095	0,2799	0,0415	0,4238	0,3143
29,5246	3,2373	0,5347	48386	0,0213	0,1066	0,2397	0,0311	0,3169	0,2103
25,0595	2,7478	0,3852	41069	0,0222	0,0800	0,1681	0,0234	0,2390	0,1590
17,0144	1,8656	0,1776	27884	0,0245	0,0406	0,1016	0,0121	0,1235	0,0828
16,1021	1,7656	0,1590	26389	0,0248	0,0369	0,0794	0,0111	0,1132	0,0764
15,0705	1,6525	0,1393	24698	0,0252	0,0328	0,0619	0,0098	0,1003	0,0674
13,0617	1,4322	0,1047	21406	0,0261	0,0256	0,0489	0,0079	0,0808	0,0553

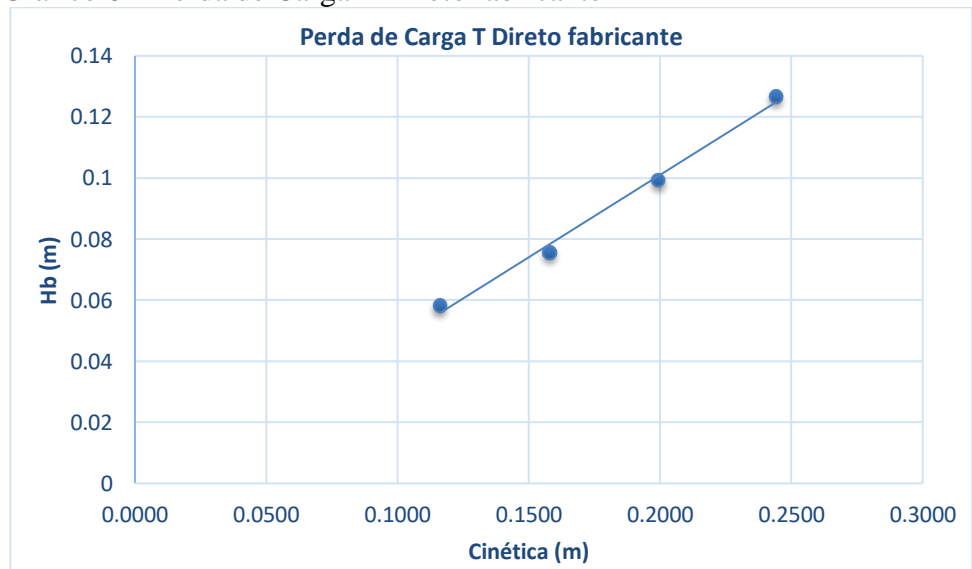
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 7 – Perda de Carga T Direto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 8 – Perda de Carga T Direto fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Os Gráficos 7 e 8 representam as perdas de carga dos experimentos feitos neste trabalho e do fabricante, respectivamente. Além da diferença da quantidade de pontos e do intervalo analisados, pode-se notar uma grande variação da perda de carga entre os pontos com maior vazão, se comparados com os de menor vazão. Uma explicação para este fato é, também, a maior turbulência e fricção das partículas do fluido por conta desse aumento da vazão. Entretanto, mesmo com essas diferenças é possível notar que as linhas de tendência possuem uma inclinação semelhante em ambos os gráficos.

4.8 Cotovelo 90°

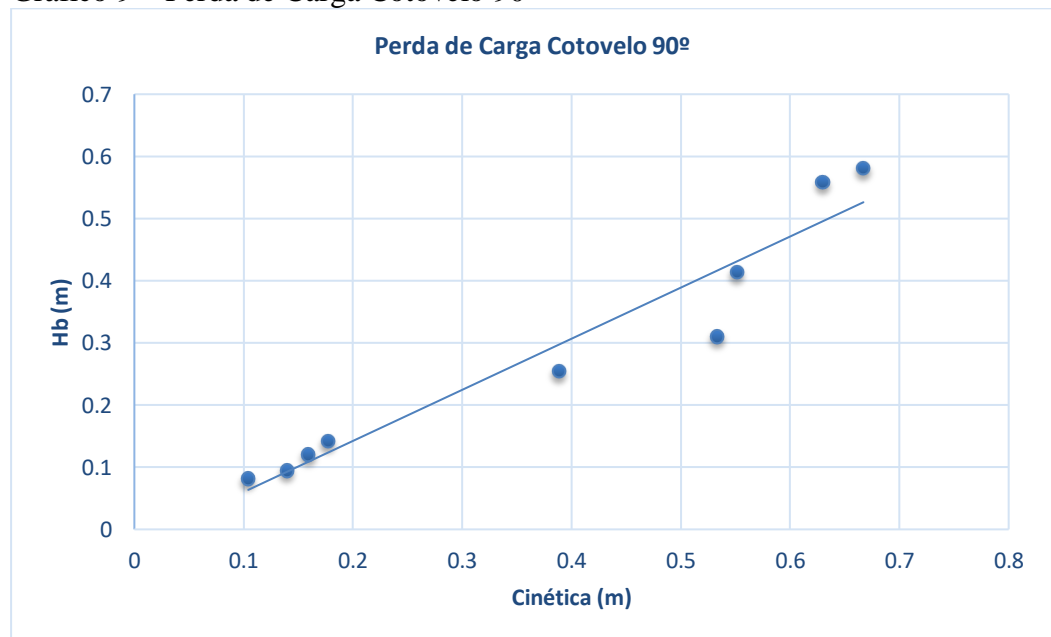
A Tabela 11 mostra os dados de perda de carga para o cotovelo de 90°.

Tabela 11 – Perda de carga Cotovelo 90°

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída - HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
32,978	3,6160	0,6671	54046	0,0207	0,1293	0,2519	0,0696	0,7100	0,5807
32,0481	3,5140	0,6300	52522	0,0209	0,1230	0,2492	0,0668	0,6812	0,5582
29,9904	3,2884	0,5517	49150	0,0212	0,1095	0,2286	0,0513	0,5236	0,4141
29,4909	3,2337	0,5335	48331	0,0213	0,1063	0,1989	0,0408	0,4164	0,3100
25,1622	2,7590	0,3884	41237	0,0222	0,0805	0,1353	0,0328	0,3352	0,2546
16,9967	1,8637	0,1772	27855	0,0245	0,0405	0,0837	0,0179	0,1824	0,1418
16,0967	1,7650	0,1589	26380	0,0248	0,0369	0,0640	0,0154	0,1574	0,1205
15,0867	1,6542	0,1396	24725	0,0252	0,0329	0,0495	0,0125	0,1272	0,0943
13,0314	1,4289	0,1042	21356	0,0261	0,0255	0,0385	0,0104	0,1064	0,0810

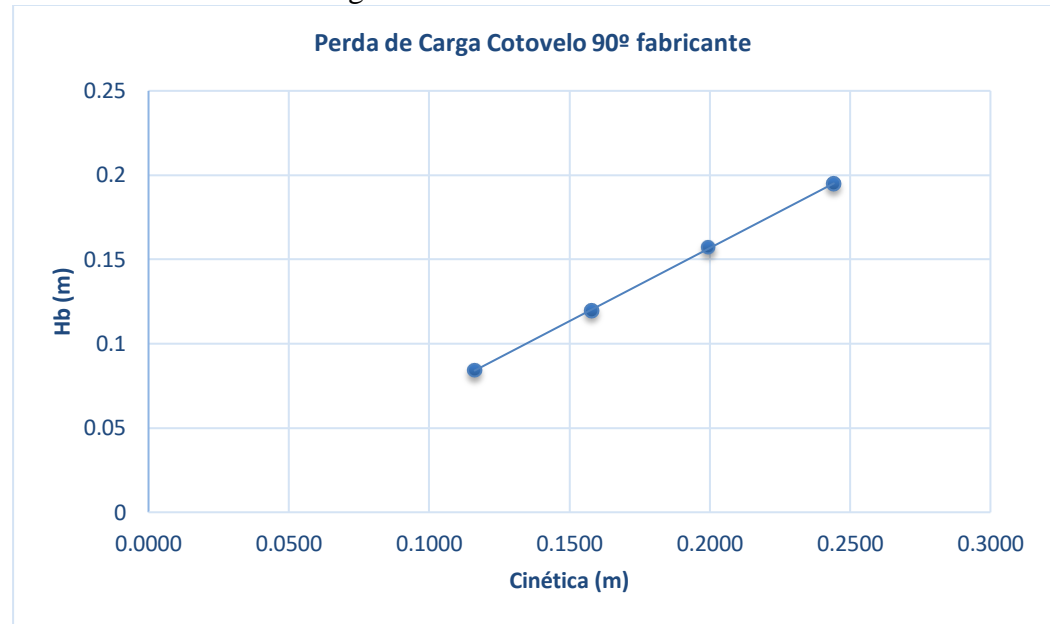
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 9 – Perda de Carga Cotovelo 90°



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 10 – Perda de Carga Cotovelo 90° fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Os Gráficos 9 e 10 também mostram as perdas de carga deste experimento e do fabricante, respectivamente. De forma semelhante aos anteriores, observa-se uma curva de tendência semelhante em ambos os gráficos, mesmo com um maior intervalo de vazão e quantidade de pontos analisados, com variações maiores da perda de carga nos últimos pontos, representados por valores maiores de vazão, causadas por conta do aumento da turbulência e fricção das partículas do fluido.

4.9 Y Direto

A Tabela 12 e 13 mostram respectivamente os dados de perda de carga para o último ponto analisado, chamado de Y Direto, e os dados de referência que foram usados para os cálculos dessa perda de carga.

Tabela 12 – Perda de carga Y Direto

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynolds	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão Pontual - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (bar)	Pressão Diferencial - HL (m)	Perda Total - HB
33,0147	3,6200	0,668604	54106	0,0207	0,1296	0,2126	0,0513	0,5238	0,3942
32,0117	3,5101	0,628596	52462	0,0209	0,1228	0,2015	0,0485	0,4945	0,3718
30,0939	3,2998	0,555535	49319	0,0212	0,1102	0,1834	0,0422	0,4305	0,3203
29,5208	3,2369	0,534577	48380	0,0213	0,1065	0,1555	0,0332	0,3393	0,2327
25,0661	2,7485	0,385414	41079	0,0222	0,0800	0,1007	0,0249	0,2541	0,1741
17,0144	1,8656	0,177577	27884	0,0245	0,0406	0,0418	0,0137	0,1397	0,0991

16,0225	1,7569	0,157476	26258	0,0248	0,0366	0,0352	0,0117	0,1191	0,0825
15,0093	1,6458	0,13819	24598	0,0252	0,0326	0,0222	0,0093	0,0951	0,0624
12,9251	1,4172	0,102476	21182	0,0262	0,0251	0,0136	0,0069	0,0702	0,0451

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

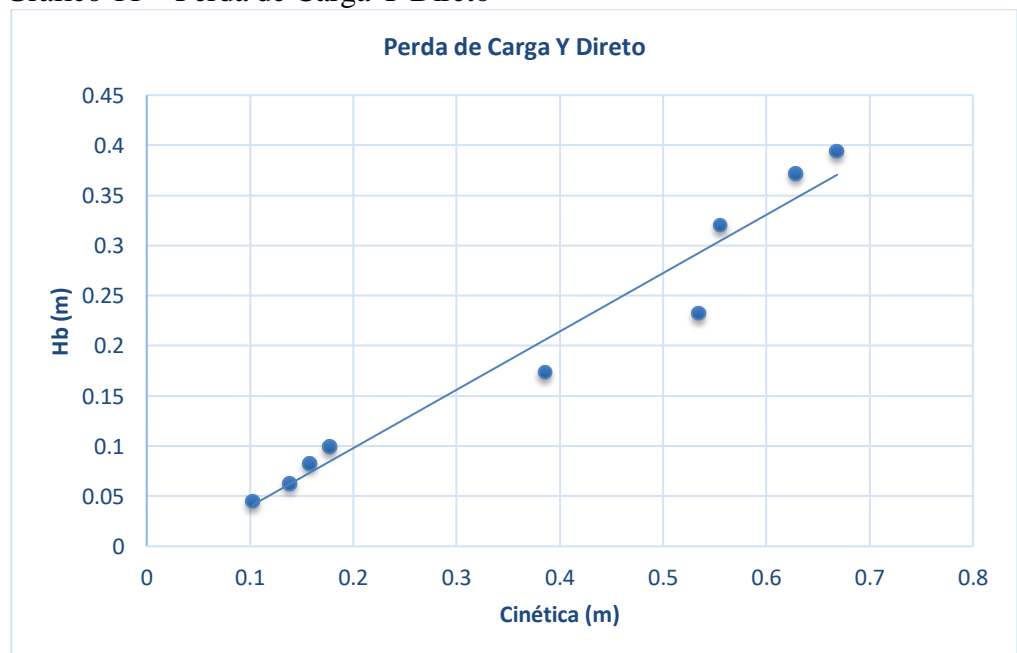
4.10 Referencial Y Direto

Tabela 13 – Referencial perda de carga Y Direto

Vazão (l/min)	Velocidade (m/s)	Cinética (m)	Reynods	Fator de Atrito	Perda distribuída – HF (m)	Pressão pontual – HL (bar)
32,9994	3,6184	0,667984	54081	0,0207	0,1295	0,1613
31,9859	3,5072	0,627583	52420	0,0209	0,1226	0,1530
30,0492	3,2949	0,553886	49246	0,0212	0,1099	0,1412
29,5417	3,2392	0,535334	48414	0,0213	0,1067	0,1222
25,0473	2,7464	0,384836	41049	0,0222	0,0799	0,0758
17,0681	1,8715	0,1787	27972	0,0244	0,0408	0,0282
16,0331	1,7580	0,157685	26276	0,0248	0,0366	0,0235
15,0591	1,6512	0,139108	24679	0,0252	0,0328	0,0129
13,1007	1,4365	0,105279	21470	0,0261	0,0257	0,0067

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 11 – Perda de Carga Y Direto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 12 – Perda de Carga Y Direto fabricante

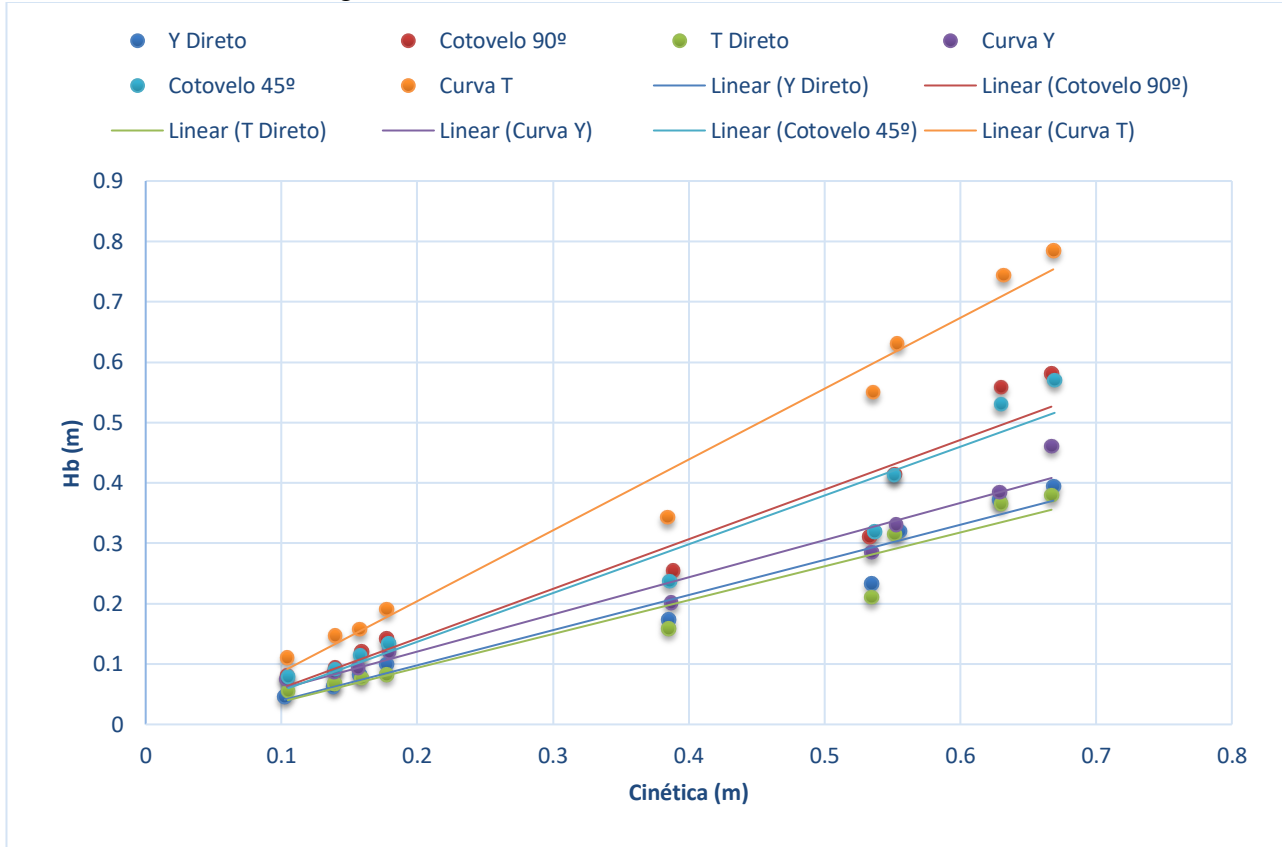


Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado)

Os Gráficos 11 e 12 demonstram a linha de tendência da perda de carga dos experimentos deste trabalho e do fabricante, respectivamente. Seguindo os mesmos padrões anteriores, pode-se notar diferenças entre ambos devido a quantidade de pontos e intervalo analisado, já que o intervalo de vazão analisado no Gráfico 11 varia de 13 até 33 e no Gráfico 12 varia de 13 até 20. Entretanto, observa-se que o padrão é mantido e que a linha de tendência nos 2 casos possui inclinações semelhantes. Uma outra observação que também foi mantida é o fato dos últimos pontos de perda de carga do Gráfico 11 estarem com uma maior variação entre si, se comparado aos primeiros pontos ou ao Gráfico 12. Uma explicação para isso também é o fato de o aumento de vazão proporcionar uma maior turbulência e fricção nas partículas do fluido, aumentando assim a perda de carga e a sua variação.

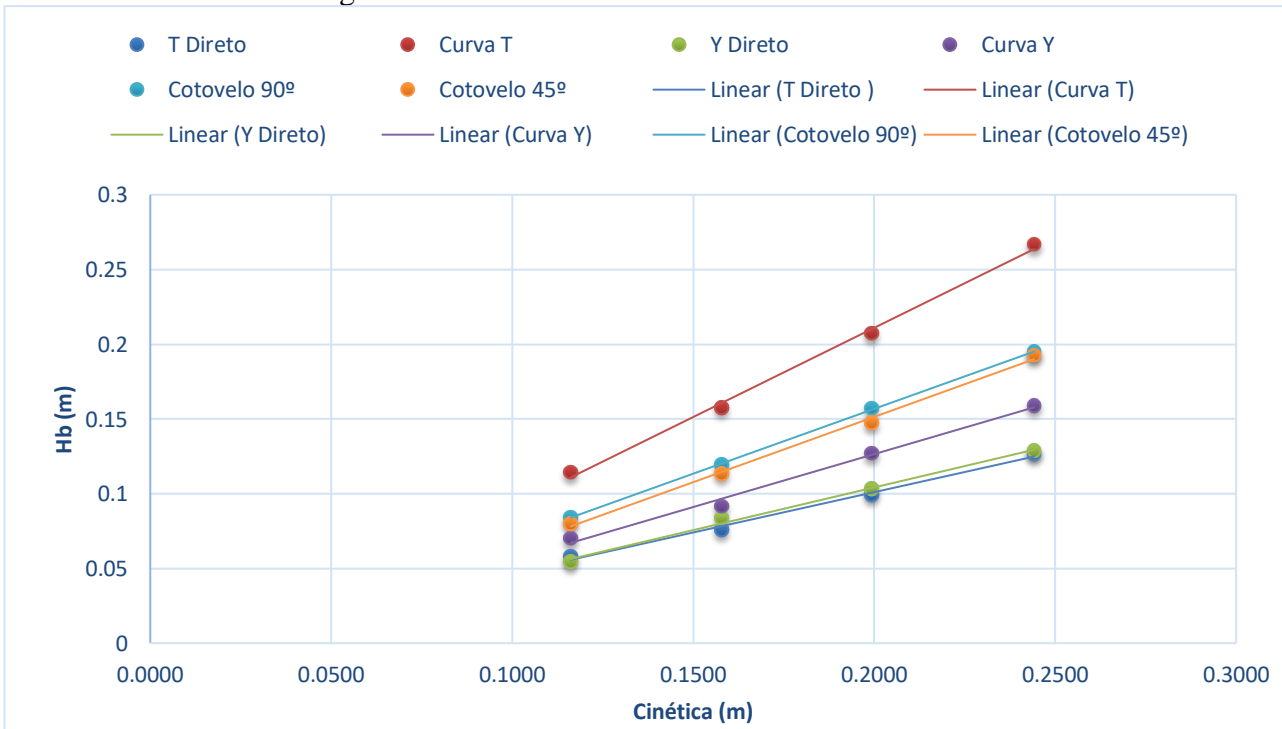
O Gráfico 13 e Gráfico 14 tem o intuito de demonstrar de maneira mais geral todos os pontos analisados neste trabalho e comparar com os fornecidos pelo fabricante.

Gráfico 13 – Perda de Carga



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 14 – Perda de Carga fabricante



Fonte: Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos (2016) (Adaptado).

Fazendo uma análise do Gráfico 13, é possível perceber que o ponto representado pela Curva T possui a maior perda de carga, fato que pode ser explicado pela mudança abrupta de direção, gerando uma maior turbulência. Através do Gráfico 14, constando os dados de perda de carga fornecidos pelo fabricante, pode-se comprovar que a Curva T realmente foi o ponto com a maior perda de carga.

Seguido pela Curva T, nota-se o Cotovelo 90° e Cotovelo 45° bem próximos, respectivamente, demonstrando que o escoamento não é alterado de maneira significativa por essas curvas com diâmetros pequenos e iguais.

Após os dois cotovelos vem a Curva Y, que deveria ter uma linha de tendência bem próxima do Cotovelo 45°, entretanto isso não ocorre por conta do formato da curva, já que o Cotovelo 45° possui uma curva mais fechada, causando maior fricção, e a Curva Y é mais aberta, causando assim menos fricção já que só uma parte da curva está em contato.

Por último, e com as linhas de tendência praticamente iguais, estão o Y Direto e T Direto, com as menores perdas de carga de acordo com os experimentos e os dados fornecidos pelo fabricante.

5 CONCLUSÃO

Analisando os dados obtidos por meio dos experimentos realizados neste trabalho, pode-se concluir que os resultados foram satisfatórios, mas apenas para as faixas semelhantemente utilizadas pelo fabricante. É possível notar similaridade nos dados quando é feita uma comparação para os mesmos intervalos de vazão, entretanto para faixas de vazão muito maiores percebe-se que os valores de perda de carga começam a ter discrepâncias muito grandes e isso não é mencionado pelo fabricante. De uma maneira geral, ainda que haja algumas diferenças existentes entre os dados deste trabalho e os dados fornecidos pelo fabricante, como a quantidade de pontos analisados e os intervalos de vazão, foi possível perceber semelhanças nas linhas de tendência da perda de carga de ambos.

No entanto, há alguns pontos que merecem ser levantados. A válvula de acesso da tubulação da perda de carga, mostrada na Figura 15, não possui nenhuma marcação, ou seja, é de difícil precisão já que em um primeiro momento ela está completamente aberta e no decorrer dos experimentos deve-se fechá-la manualmente, de forma gradativa, para a obtenção dos mais variados valores de vazão. Esse fato faz com que não seja possível obter vazões específicas e iguais aos dos demais pontos ou as do fabricante, e sim vazões absolutamente próximas umas das outras como foi o caso deste trabalho. Esse foi o principal motivo para as escolhas das vazões, já que elas devem ser iguais ou extremamente próximas para todos os pontos analisados. Além disso, para melhorar os experimentos seria recomendado trocar as mangueiras de engate rápido, pois elas não vedam totalmente a entrada do bocal, acarretando a entrada de bolhas de ar no sistema e em vazamentos de água, gerando erros nos resultados obtidos.

Para finalizar, pôde-se alcançar todos os objetivos propostos e comprovar que os dados referentes a perda de carga fornecidos pelo fabricante estão corretos, para a faixa analisada, visto que, mesmo os experimentos deste trabalho sendo realizados através de sensores de pressão muito mais precisos do que os métodos manuais do fabricante, foi possível obter linhas de tendência e valores de perda de carga semelhantes para todos os pontos.

5.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros podem ser realizados os outros experimentos da bancada, como o cálculo da perda de carga para expansão e contração súbita, curvas com raio de 50 cm e 100 cm e cálculo da perda de carga das válvulas. É recomendado a correção dos pontos citados acima, principalmente com relação as mangueiras de engate rápido, para evitar as recorrentes bolhas de ar no sistema e vazamentos, e a substituição da válvula de acesso da tubulação da perda de carga, para que os experimentos possam ser feitos de maneira mais precisa.

REFERÊNCIAS

- BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. Pearson Educación, 2008.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos**. 1ª. Edição. 2007.
- FOX, Robert W. et al. **Fluid mechanics**. Hoboken. 2012.
- SANTOS, L. **Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos**. Nova Didacta, 2016.
- CRANE. **Flow of Fluids – Through valves, fittings and pipe**. Metric Edition, SI Units, 1982.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, Helena MM. **Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?**.
- CID, A. S.; CORREA, T. Venturino: **análise da variação de pressão em um tubo de Venturi utilizando Arduino e sensor de pressão**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 3, 2019.
- ENGINEERING TOOLBOX. **Types of Fluid Flow Meters**. 2003.
- https://www.engineeringtoolbox.com/flow-meters-d_493.html. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.
- GARCIA, R. L et al. **Tanque Hidráulico Experimental para cálculo de perda de carga em tubulações**. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v. 2, n. 1, p. 54-62, 2016.
- NETTO, José M. A. **Perdas de cargas localizadas em canalizações**. Revista DAE, nº 25 edição 1000, 1953.
- BATCHELOR, G. K. **Introduction to Fluid Dynamics**. 1. ed. reimp. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. 615 p.
- SOUSA, José S. C. et al. **EQUAÇÃO EXPLÍCITA PARA CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO DE DARCY-WEISBACH EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADA**. v.19, nº 1, p 137-148, 2014.
- ALLEN, R. G. **Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction loss equations for pressurized irrigation**. Applied Engineering in Agriculture, v.12, n.6, p.685-693, 1996.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: Ed. Blücher, 1998. 670p.
- PORTO; R. M. **Hidráulica básica**. 4.ed. São Carlos: Ed. EESC-USP, 2006. 540p.
- CARDOSO, Gabriel G. et al. **Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros**. Acta Sci. Agron. v. 30, n. 3, p. 299-305, 2008.

APÊNDICE A – CÓDIGO PYTHON

```
import serial
import time
import math
import numpy as np
import CoolProp.CoolProp as cp

porta = 'COM3'
velocidade = 9600

fluido = 'Water'
temperatura = 297.15
pressao = 101325
rho = cp.PropsSI('D', 'T', temperatura, 'P', pressao, fluido)

vanalog_0 = 0.0
vanalog_1 = 0.0
vanalog_mpx = 0.0

tensao_s1 = 0.0
tensao_mpx = 0.0

offset_s0 = 0.011696777343750
offset_mpx = 0.043909179687500
offset_vetor = np.array([], dtype=float)

pressao_psi_s0 = 0.0
pressao_bar_s0 = 0.0
pressao_bar_s0_vetor = np.array([], dtype=float)

pressao_bar_mpx = 0.0
pressao_bar_mpx_vetor = np.array([], dtype=float)

pressao_dif_venturi = 0.0
vazao_venturi_vetor = np.array([], dtype=float)
velocidade_venturi_mpx_vetor = np.array([], dtype=float)
cinetica_vetor = np.array([], dtype=float)
reynolds_vetor = np.array([], dtype=float)
fator_de_atrito_vetor = np.array([], dtype=float)
perda_distribuida_vetor = np.array([], dtype=float)

i = 0
soma_0 = 0.0
media_0 = 0.0
soma_2 = 0.0
media_2 = 0.0
```

```

arduino = serial.Serial (porta, velocidade

def calcular_tensao_sensor(vanalog, offset):
    return (vanalog*5/(1024.0)) + offset

def calcular_pressao_bar_s0(tensao):
    pressao_psi = ((tensao - 0.4999998)/0.06666667)
    return pressao_psi*0.0689476

def calcular_pressao_bar_mpx(tensao):
    pressao_kpa = ((tensao/5)-0.04)/0.018
    return pressao_kpa*0.01

def velocidade_venturi_entrada(deltap, dens):
    rho = dens
    D1 = 24.3/1000
    D2 = 15.55/1000
    A1 = math.pi*math.pow(D1, 2)/4
    A2 = math.pi*math.pow(D2, 2)/4

    velocidade_vent = math.sqrt(((2*deltap*100000)/(rho*((math.pow(A1,2)/math.pow(A2,2))-
1))))
    return velocidade_vent

def calcular_vazao_venturi(vel):
    cd = 0.99
    D1 = 24.3/1000
    A1 = math.pi*math.pow(D1, 2)/4
    vazao = cd*A1*vel
    vazao_l_min = vazao*60000
    return vazao_l_min

def calcular_velocidade_tubo(vazao):
    D = 13.9/1000
    A = math.pi*math.pow(D, 2)/4
    velocidade_tubo = (vazao)/(A*60000)
    return velocidade_tubo

def calcular_cinetica(vel):
    cinetica = ((math.pow(vel, 2))/(2*9.8))
    return cinetica

def calcular_reynolds(vel, dens):
    rho = dens
    D = 0.0139
    visc = 0.00093
    reynolds = (rho*vel*D)/(visc)
    return reynolds

```

```

def calcular_fator_de_atrito(reynolds):
    fator_de_atrito = (0.316)/(math.pow(reynolds, 0.25))
    return fator_de_atrito

def calcular_perda_distribuida(fator_de_atrito,cinetica):
    L = 0.13
    D = 0.0139
    perda_distribuida = fator_de_atrito*(L/D)*cinetica
    return perda_distribuida

while True:
    """
    while i < 100:
        linha = str(arduino.readline())
        linhaFormat = linha[2:-5]
        vanalog_s0 = float(linhaFormat.split(" ")[0])
        vanalog_mpx = float(linhaFormat.split(" ")[2])
        tensao_s0 = ((vanalog_s0)*5/(1024.0))
        tensao_mpx = (vanalog_mpx*5/(1024.0))
        soma_0 += tensao_s0
        soma_2 += tensao_mpx
        i += 1

    media_0 = soma_0/i
    media_2 = soma_2/i
    offset_s0 = 0.5 - media_0
    offset_mpx = 0.2 - media_2
    offset_vetor = np.append(offset_vetor, offset_s0)
    offset_vetor = np.append(offset_vetor, offset_mpx)
    print("Offset Sensor 0:",offset_s0," ",media_2," ", "Offset sensor mpx: ", offset_mpx, "\n")
    np.save('offset0.npy',offset_vetor)
    break
    """

    linha = str(arduino.readline())
    linhaFormat = linha[2:-5]

    vanalog_s0 = float(linhaFormat.split(" ")[0])
    vanalog_mpx = float(linhaFormat.split(" ")[2])

    tensao_s0 = calcular_tensao_sensor(vanalog_s0, offset_s0)
    tensao_mpx = calcular_tensao_sensor(vanalog_mpx, offset_mpx)

    pressao_bar_s0 = calcular_pressao_bar_s0(tensao_s0)
    pressao_bar_mpx = calcular_pressao_bar_mpx(tensao_mpx)

```



```

velocidade_venturi_mpx = velocidade_venturi_entrada(pressao_bar_mpx, rho)
vazao_venturi_mpx = calcular_vazao_venturi(velocidade_venturi_mpx)
velocidade_tubo = calcular_velocidade_tubo(vazao_venturi_mpx)
cinetica = calcular_cinetica(velocidade_tubo)
reynolds = calcular_reynolds(velocidade_tubo, rho)
fator_de_atrito = calcular_fator_de_atrito(reynolds)
perda_distribuida = calcular_perda_distribuida(fator_de_atrito, cinetica)

print("velocidade: ",round(velocidade_tubo,4), "m/s" " ", "vazao: ",round(vazao_venturi_mpx,4),
      "l/min" " ", "Sensor 60psi - hL:", round(pressao_bar_s0,4), "bar" " ", "Cinética:", round(cinetica,4),
      "m" " ", "Reynolds:", round(reynolds,4), " ", "Fator de Atrito:", round(fator_de_atrito,4)," ", "Perda
distribuida - hF:", round(perda_distribuida,4), "m" " ", "i:", i)

vazao_venturi_vetor = np.append(vazao_venturi_vetor, vazao_venturi_mpx)
pressao_bar_s0_vetor = np.append(pressao_bar_s0_vetor, pressao_bar_s0)
velocidade_venturi_mpx_vetor = np.append(velocidade_venturi_mpx_vetor, velocidade_tubo)
cinetica_vetor = np.append(cinetica_vetor, cinetica)
reynolds_vetor = np.append(reynolds_vetor, reynolds)
fator_de_atrito_vetor = np.append(fator_de_atrito_vetor, fator_de_atrito)
perda_distribuida_vetor = np.append(perda_distribuida_vetor, perda_distribuida)

i+=1

if i==100:
    break

arduino.close()

np.save('test1vazaolmin_refer.npy', vazao_venturi_vetor)
np.save('test1pressaos0bar_refer.npy', pressao_bar_s0_vetor)
np.save('test1velocidadems_refer.npy', velocidade_venturi_mpx_vetor)
np.save('test1cineticam_refer.npy', cinetica_vetor)
np.save('test1reynolds_refer.npy', reynolds_vetor)
np.save('test1fatordeatrito_refer.npy', fator_de_atrito_vetor)
np.save('test1perdadistribuidam_refer.npy', perda_distribuida_vetor)

```