



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS

JOÃO EMÍDIO REBOUÇAS GONÇALVES

**ESTUDO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS
LOCALIZADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS RUSSAS.**

RUSSAS - CE
2021

ESTUDO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS
LOCALIZADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS RUSSAS.

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.

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)

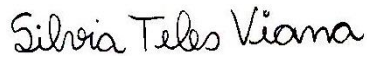
- G625e Gonçalves, João Emídio Rebouças.
Estudo e análise de uma bancada de mecânica dos fluídos localizada na Universidade Federal do Ceará - campus Russas / João Emídio Rebouças Gonçalves. – 2021.
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Silvia Teles Viana.
1. Bancada de mecânica dos fluídos. 2. Experimentos. 3. Laboratório de Ciências Térmicas. I. Título.
CDD 620.1
-

ESTUDO E ANÁLISE DE UMA BANCADA DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS
LOCALIZADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS RUSSAS.

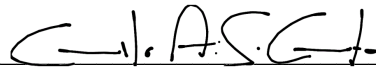
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de Graduação
em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal do Ceará –
Campus Russas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 31/03/2021.

BANCA EXAMINADORA



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



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

 texto aqui

Prof. Ms. Daniela Lima Machado da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Emilson e Neide.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Emilson e Neide, e aos meus irmãos, Neylson e Emilcy, por todo apoio dado durante a minha vida.

Aos meus amigos do grupo Roda Viga, especialmente, Anderson, Severiano, João Pedro, Maurício, Pedro Karol, Rilmar, Michelle, Fernanda, Leonardo, Igor, Hugo, Raí, Yago e Cintra, por compartilharem seus conhecimentos e estarem comigo desde começo dessa jornada.

À minha orientadora Profa. Dra. Silvia Teles Viana, pelo apoio na execução deste trabalho.

“Nós somos o que repetidamente fazemos. A excelência, então, não é um ato, mas um hábito”

(Will Durant)

RESUMO

Na universidade é comum, principalmente na engenharia, alunos terem obstáculos no aprendizado, isso em virtude tanto na dificuldade das disciplinas quanto no fato do estudante não ter muita motivação para estudar apenas a teoria. Com práticas laboratoriais na disciplina o interesse do aluno em estudar é maior, pelo fato dele estar vendo o processo acontecer. A bancada de mecânica dos fluídos localizada no laboratório de ciências térmicas possui esse objetivo, fazer com que o universitário aprenda aliando a prática com os conhecimentos teóricos. Neste trabalho foi realizada uma análise de resultados da bancada de mecânica dos fluídos com os resultados do fabricante. Assim, foi analisado se os resultados do fabricante são coerentes com os resultados reais, com o objetivo de verificar se a bancada é realmente satisfatória com a teoria de mecânica dos fluidos vista em sala de aula. A comparação obtida foi satisfatória, mesmo com algumas imprecisões de resultados de alguns experimentos.

Palavras-chave: Bancada de mecânica dos fluídos. Experimentos. Laboratório de Ciências Térmicas.

ABSTRACT

It is common at the university, especially in engineering, the students to have obstacles in learning, due to both the difficulty of the subjects and the fact that the student does not have much motivation to study only theory. It is evident that with laboratory practices in the discipline the student's interest in studying is greater, because he is seeing the process happen. The fluid mechanics apparatus located in the thermal science laboratory has this objective, to make the student learn in a more practical way what they only saw in theory. In this work, an analysis of the results of the fluid mechanics apparatus was performed with the manufacturer results. Thus, it was analyzed whether the manufacturer's results are consistent with the actual results. In order to obtain whether the apparatus is really satisfactory with what the students study in theory. The comparison obtained was satisfactory, even with some inaccuracies in the results of some experiments.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bancada de mecânica dos fluídos localizado na UFC campus Russas.....	14
Figura 2 - Bancada de mecânica dos fluídos no Laboratório de Ciências Térmicas.....	16
Figura 3 - Bomba hidráulica.....	17
Figura 4 - Piezômetro da bancada.	17
Figura 5 - Manômetros.	18
Figura 6 - Painel eletrônico.	18
Figura 7 - Ilustração de uma torneira enchendo um tanque com água.....	19
Figura 8 - Ilustração das fendas.....	20
Figura 9 - Cotovelo usado para direcionar o escoamento de água.....	22
Figura 10 - Característica de um tubo de Venturi.....	23
Figura 11 - Medidores de pressão.....	25
Figura 12 - Manômetros da bancada de mecânica dos fluídos.....	25
Figura 13 - Bancada mecânica dos fluídos.....	26
Figura 14 - Enchendo a bomba com água.	27
Figura 15 - Manômetro para pressão de sucção com conexão para sangria.....	28
Figura 16 - Sangramento no piezômetro.	28
Figura 17 - Diagrama da bancada de mecânica dos fluídos.	29
Figura 18 - Tubo de Venturi.....	29
Figura 19 - Tanque principal.....	30
Figura 20 - Perfil em V com 30° de abertura.	30
Figura 21 - Perfil em V com 90° de abertura.	31
Figura 22 - Perfil retangular.....	31
Figura 23 - Manômetros.	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de calibração.....	35
Gráfico 2 - Curva de calibração do fabricante.....	35
Gráfico 3 - Coeficiente de descarga médio.	36
Gráfico 4 - Coeficiente de descarga médio do fabricante.	36
Gráfico 5 - Curva característica Venturi.	37
Gráfico 6 - Curva característica Venturi do fabricante.	37
Gráfico 7 - KR Fenda retangular.	39
Gráfico 8 - KR Fenda retangular fabricante.	39
Gráfico 9 - CDR Fenda retangular.....	40
Gráfico 10 - CDR Fenda retangular fabricante.	40
Gráfico 11 - KV Fenda de 30°.	42
Gráfico 12 - KV Fenda de 30° do fabricante.....	43
Gráfico 13 - KV Fenda de 90°.	43
Gráfico 14 - KV Fenda de 90° do fabricante.....	44
Gráfico 15 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30°.	44
Gráfico 16 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30° do fabricante.....	45
Gráfico 17 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90°.	45
Gráfico 18 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90° do fabricante.....	46
Gráfico 19 - Curva de instalação.	47
Gráfico 20 - Curva de instalação do fabricante.	48
Gráfico 21 - Curva da bomba.	50
Gráfico 22 - Curva da bomba fabricante.	50
Gráfico 23 - Variação da abertura da válvula.	54
Gráfico 24 - Variação da abertura da válvula do fabricante.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de descarga de Venturi.....	34
Tabela 2 - Coeficiente de descarga da fenda retangular.	38
Tabela 3 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30°.	41
Tabela 4 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90°.	42
Tabela 5 - Curva de instalação.....	47
Tabela 6 - Curva da bomba 1.....	49
Tabela 7 - Curva de Instalação - 100% Abertura.....	51
Tabela 8 - Curva de Instalação - 75% Abertura.....	52
Tabela 9 - Curva de Instalação - 50% Abertura.....	53
Tabela 10 - Curva de Instalação - 25% Abertura.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ρ	Densidade da água
A1	Área de entrada do tubo de Venturi
A2	Área de saída do tubo de Venturi
B	Largura da fenda
CD	Coeficiente de Descarga
g	Gravidade
H	Altura manométrica medida com relação ao nível da crista da fenda
H'	Carga total
L	Diâmetro
p/y	Carga de pressão
Q	Vazão
Re	Reynolds
t	Tempo
V	Volume
v	Velocidade
z	Carga potencial
ΔP	Diferença de pressão no tubo de Venturi
θ	Ângulo
μ	Viscosidade do Fluido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>15</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Aplicações da bancada de mecânica dos fluídos.....	16
2.2	Taxa de vazão volumétrica.....	19
2.3	Vertedouros.....	20
<i>2.3.1</i>	<i>Vazão para uma fenda retangular.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Vazão para uma fenda em V de 30° a 90°.....</i>	<i>21</i>
2.4	Bernoulli.....	21
2.5	Tubo de Venturi.....	22
2.6	Número de Reynolds.....	24
2.7	Medidores de pressão.....	24
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	Bancada.....	26
3.2	Experimentos.....	27
<i>3.2.1</i>	<i>Checagens iniciais.....</i>	<i>27</i>
<i>3.2.2</i>	<i>Tubo de Venturi.....</i>	<i>29</i>
<i>3.2.3</i>	<i>Coeficiente de descarga médio para fendas retangulares e V.....</i>	<i>30</i>
<i>3.2.4</i>	<i>Curva de instalação.....</i>	<i>31</i>
<i>3.2.5</i>	<i>Curvas da bomba 1.....</i>	<i>32</i>
<i>3.2.6</i>	<i>Curva de instalação pelo fechamento da válvula.....</i>	<i>33</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1	Coeficiente de descarga em um Venturi.....	34
4.2	Coeficiente de descarga médio em fendas retangular e V.....	38
4.3	Curva de instalação.....	46
4.4	Curva da bomba.....	48
4.5	Curva de instalação pelo fechamento da válvula.....	51
5	CONCLUSÃO.....	56

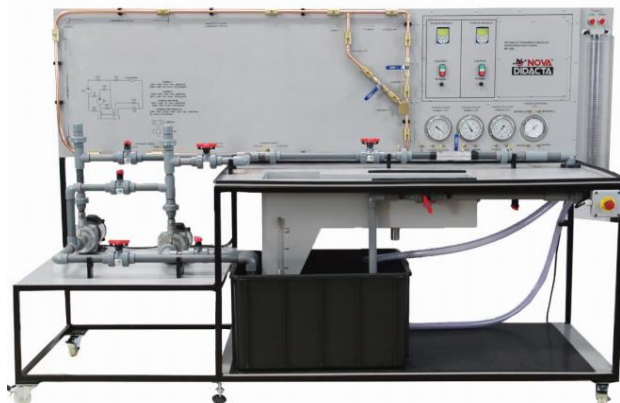
1 INTRODUÇÃO

Çengel e Cimbala(2012), conceituam a mecânica dos fluídos como sendo uma ciência que aborda o desempenho do fluído tanto de maneira estática quanto de maneira dinâmica. Além de observar a interação entre os fluídos e os sólidos.

Para melhor compreensão, deve-se primeiramente definir o conceito de fluido. Segundo Çengel e Cimbala(2012), fluido é uma substância no estado líquido ou no estado gasoso. A diferença entre elas é a resistência a uma tensão de cisalhamento aplicada. A mecânica dos fluídos têm grande importância para engenharia atualmente. Entretanto, devido a sua complexidade ela é comumente vista com maus olhos pelos estudantes universitários. Portanto, é necessário ter algo que os familiarize e facilite o aprendizado dos estudantes de ensino superior. Uma dessas ferramentas é a utilização de uma bancada didática.

A bancada de mecânica dos fluídos tem como o principal objetivo aplicações de metodologias teóricas na prática. Na universidade é visto muita teoria e nem sempre só teoria é o suficiente para que os alunos tenham um entendimento completo do assunto. Com isso, é necessário ter outras formas de ensino para que os alunos tenham um maior aproveitamento daquilo que ele está aprendendo. Uma dessas formas é através de experimentos laboratoriais. Neste caso, esse trabalho explora uma bancada de sistema de treinamento modular em mecânica dos fluídos localizada no laboratório de ciências térmicas e fluídos na Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Russas, demonstrada na Figura 1.

Figura 1 - Bancada de mecânica dos fluídos localizada no campus da UFC em Russas.



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

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral a realização de experimentos em uma bancada de mecânica dos fluídos, para que possa ser feita análises dos resultados e uma comparação com os resultados do fabricante.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar experimentos na bancada de mecânica dos fluídos;
- Analisar os dados obtidos através dos experimentos;
- Comparar os resultados experimentais com os resultados do fabricante.

1.2 Estrutura do trabalho

No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica contendo informações e conceitos básicos no contexto da bancada de mecânica dos fluídos.

No capítulo 3 será mostrado o desenvolvimento dos experimentos do projeto, mostrando detalhadamente cada processo e procedimento realizado.

No capítulo 4, será demonstrado os resultados da bancada de mecânica dos fluidos realizando uma comparação com os dados do fabricante.

Por fim, no capítulo 5 será relatado a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aplicações da bancada de mecânica dos fluídos

Segundo Castro (2017), quando o estudante inicia um curso na universidade mudanças significativas ocorrem na sua vida, principalmente na perspectiva de estudo. O estudo universitário é muito mais complexo e profundo em comparação ao ensino médio. E uma forma de facilitar o caminho da aprendizagem do universitário é além do estudo teórico existir o estudo prático das disciplinas. Yamaguchi, Furtado (2018) afirmam que na universidade é onde os alunos desenvolverão habilidades e técnicas a partir de conteúdos teórico-prático necessário à sua formação profissional. E uma dessas habilidades pode ser desenvolvida através da utilização da bancada de mecânica dos fluídos. Pode-se dizer que a bancada de mecânica dos fluídos é constituída por instrumentos essenciais para o estudo de Mecânica dos Fluidos. Ela fornece os principais experimentos para o entendimento dos fenômenos no interior do fluído. A bancada em questão (Figura 2) possui duas bombas (Figura 3) nas quais bombeiam água para todas as tubulações. Essas bombas podem ser usadas individualmente ou juntas, podendo ser em série ou paralelo.

Figura 2 - Bancada de mecânica dos fluídos no Laboratório de Ciências Térmicas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 3 - Bomba hidráulica



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

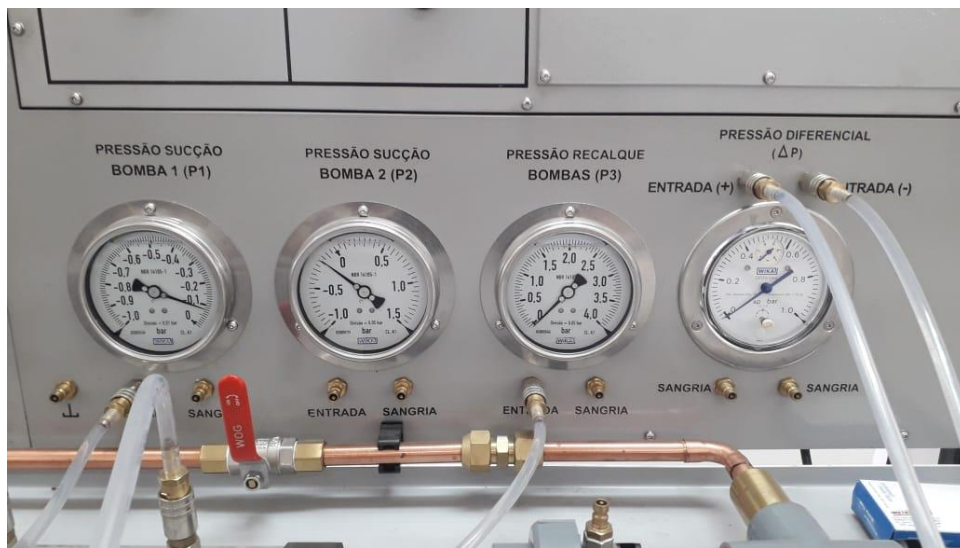
A água é bombeada para as tubulações que possuem válvulas. Estas podem ser controladas com intuito de alterar o caminho do fluido e para controle da vazão. Além disso, a bancada possui sistemas de medições para pressão, como manômetro simples, diferencial e piezômetro (Figuras 4 e 5).

Figura 4 - Piezômetro da bancada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 5 - Manômetros.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Há possibilidade de realizar conexão em vários pontos das tubulações, sendo possível medir a perda de carga de determinado trecho. Importante ressaltar que é possível alterar a rotação das bombas pelo painel eletrônico (Figura 6) durante os experimentos.

Figura 6 - Painel eletrônico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Logo, há duas aplicações muito importante nesta bancada. Primeiro, a principal aplicação da bancada é simular situações que ocorrem na realidade, mas de maneira controlada. Esses dados gerados são importantes para realizações de estudo e obtenção de otimizações em

determinadas situações. A segunda aplicação e não menos importante, a aplicação na sala de aula. Fica mais didático para os estudantes universitários aprenderem de forma prática a eventos que muitas vezes são vistos apenas na teoria.

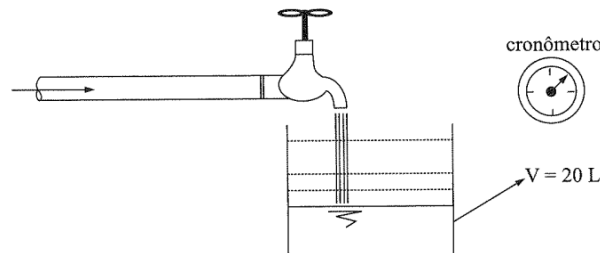
2.2 Taxa de vazão volumétrica

Os medidores de vazão podem funcionar por diferença de pressão, velocidade do fluxo, deslocamento positivo e fluxo de massa. (ENGINEERING TOOLBOX, 2003).

De acordo com Brunetti (2008), a definição de vazão pode ser visualizada na Figura 7.

Veja que a torneira está aberta e é disparado o cronômetro simultaneamente. Supondo que o recipiente tenha uma capacidade de 10 litros e ele é preenchido em 5 segundos, tem-se a seguinte vazão volumétrica $10 \text{ l}/5\text{s} = 2\text{l/s}$. Logo, define-se a vazão volumétrica como sendo um volume de um fluido que atravessa uma seção por um determinado tempo, como demonstrado na Equação 1. A Figura 7 mostra uma torneira aberta enchendo um tanque com água.

Figura 7 - Ilustração de uma torneira enchendo um tanque com água.



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

$$Q = \frac{V}{t} \quad [\text{Equação 1}]$$

Onde,

Q é a vazão volumétrica (m^3/s);

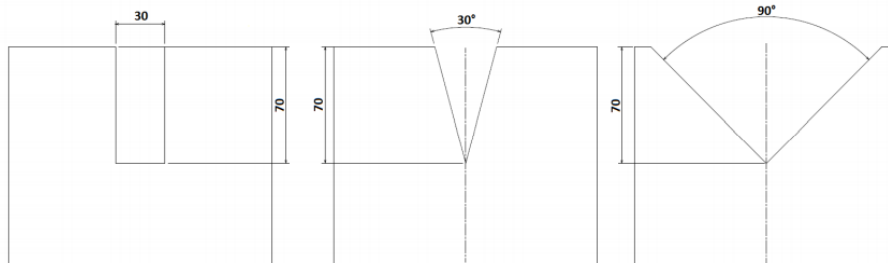
V é o volume (l);

t é o tempo (s).

2.3 Vertedouros

É possível realizar na bancada simulações com vertedouros para que se possa elevar o nível de água, como se fosse um rio ou um açude, ajudando a reter o estoque de água. Essa análise é importante para projetos de barragem, podendo ser feita análise de vazão e de coeficientes de descarga, tudo isso, ainda no laboratório. Na bancada do laboratório há 3 tipos de vertedouro: retangular, fenda em V de 30° e fenda em V de 90°, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração das fendas.



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

2.3.1 Vazão para uma fenda retangular

Como os autores relatam no Sistema de Ensaio para mecânica dos fluidos (2016), a vazão em uma fenda retangular é dada pela Equação 2.

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad [\text{Equação 2}]$$

Q é a vazão volumétrica (m³/s);

g é a gravidade (m/s²);

B é a largura da fenda (m);

H é a altura manométrica medida com relação ao nível da crista da fenda(m).

2.3.2 Vazão para uma fenda em V de 30° a 90°

Para fendas com formato em V, os autores recomendam a Equação 3 para o cálculo da vazão.

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan\theta \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad [\text{Equação 3}]$$

Q é a vazão volumétrica (l/s);

g é a gravidade (m/s²);

θ é o ângulo (graus);

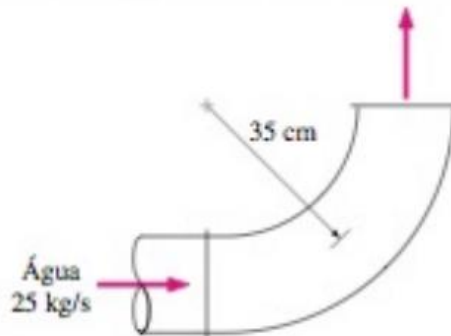
H é a altura manométrica medida com relação ao nível da crista da fenda(m).

2.4 Bernoulli

De acordo com Çengel, Cimbala (2007), a equação de Bernoulli é uma relação próxima entre pressão, velocidade e altura. No caso da bancada de mecânica dos fluídos se trata apenas de um sistema que trabalha com um fluído em regime permanente, não tendo variação de propriedades ao longo de todo tubo. Logo, toda massa que flui em uma seção do tubo deve ser idêntica àquela que deixa o tubo. O mais preocupante, contudo, é contestar a viscosidade do fluído, já que todo fluído é viscoso. No entanto, o autor relata que os efeitos das viscosidades do fluído são extremamente pequenos quando comparado aos efeitos da inércia, da gravidade e da pressão. Com base nesse fato, a energia dentro do tubo não pode ser criada e nem destruída, e sim transferida. A partir disso, Bernoulli equacionou as trocas dessa energia, relacionando as pressões, velocidades e altura das seções. Lembrando que a energia total se conserva.

A Figura 9 demonstra um exemplo de um fluído passando por um tubo. A partir disso é possível relacionar as pressões, velocidades e altura das seções para determinar a energia total.

Figura 9 - Cotovelo usado para direcionar o escoamento de água.



Fonte: Mecânica dos fluidos - Çengel, Cimbala(2007).

O cálculo da carga total na seção é dado pela Equação 4.

$$H = \frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad [\text{Equação 4}]$$

Onde,

- H é a carga total (m);
- v é a velocidade (m/s);
- g é a gravidade (m/s²);
- $\frac{p}{\gamma}$ é a carga de pressão (mH₂O);
- z é a carga potencial (m).

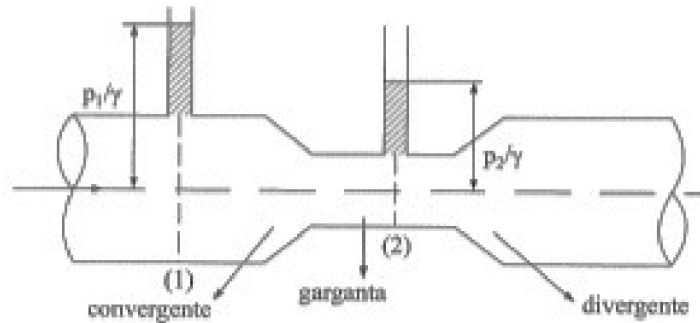
2.5 Tubo de Venturi

Segundo Cid & Correa (2019) o tubo de Venturi, inspirado na equação de Bernoulli, criado pelo físico italiano Giovanni Battista Venturi, é um aparato utilizado para obter a velocidade do escoamento de um líquido incompressível. No tubo, um líquido atravessa uma região com maior seção transversal e em seguida outra região de menor seção transversal. A partir da diferença de pressão entre as duas regiões, aferida através do deslocamento de colunas do líquido, é possível obter as velocidades do líquido nas regiões.

O tubo de Venturi é composto por um tubo convergente com diferentes diâmetros, o qual possui uma seção mínima denominada garganta. Logo, suas extremidades possuem

diâmetro maior que o seu centro. Conseqüentemente, o tubo de Venturi irá ter duas pressões diferentes, uma na extremidade e outra no centro. Dessa forma, devido a menor área no centro do tubo, a velocidade tende a aumentar, causando uma menor pressão. Na Figura 10 é demonstrado o tubo de Venturi.

Figura 10 - Característica de um tubo de Venturi.



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

O autor afirma que podemos calcular a vazão teórica através da Equação 5.

$$Q = C_D \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1\right)}} \quad [\text{Equação 5}]$$

Onde,

Q é a vazão volumétrica teórica (l/s);

C_D é o Coeficiente de descarga (-);

A_1 é a área de entrada do tubo de Venturi (m²);

A_2 é a área de saída do tubo de Venturi (m²);

ΔP é a diferença de pressão no tubo de Venturi (Pa);

ρ é a densidade da água (kg/m³).

2.6 Número de Reynolds

Quando o número de Reynolds, segundo o Fox et al (2012), for consideravelmente grande, os efeitos viscosos serão desprezíveis pelo menos em parte do escoamento. Por outro lado, se o número de Reynolds for pequeno, os efeitos viscosos serão dominantes. Para este trabalho, têm-se os seguintes números de referência: para o escoamento laminar Re é menor que 2000; para o escoamento de transição Re é entre 2000 e 4000; e por fim, para o escoamento turbulento, Re é maior que 4000.

De acordo com Garcia et al. (2016) é importante falar que o número de Reynolds é um valor adimensional e corresponde à divisão entre as forças inerciais e as forças viscosas que ocorrem no escoamento. A equação do número de Reynolds é mostrada logo a seguir, pela Equação 6.

$$Re = \frac{vL}{\mu} \quad [\text{Equação 6}]$$

Onde,

Re é o número de Reynolds (-);

v é a velocidade(m/s);

L é o diâmetro (m);

μ é a viscosidade do fluido (Pa.s).

2.7 Medidores de pressão

A pressão é um dos parâmetros mais utilizados na indústria de controle de processos, segundo Cassiolato (2008). O principal dispositivo criado em 1849 foi o Tubo de Bourdon, patenteado por Eugene Bourdon e usado para medições de pressões relativas. Na indústria atual há inúmeras maneiras de medir pressão. Dentre os diversos equipamentos usados para medir pressão podemos destacar dois deles: o manômetro e o transmissor de pressão. Como bem afirma Cassiolato (2008), o manômetro é usado para leituras locais da pressão, possuindo normalmente uma conexão com o processo e um display (quando eletrônico) ou um ponteiro (quando mecânico), para que se possa ler a pressão localmente. Normalmente são dispositivos

de baixo custo e são usados quando a pressão não precisa ser transmitida para um sistema de controle e não se precisa exatidão. Por exemplo, pressões estáticas, pressões de bomba. Pode-se ver na Figura 11 alguns modelos encontrados no mercado de medidores de pressão.

Figura 11 - Medidores de pressão.



Fonte: Cassiolato (2008).

Sabendo dessa importância, a bancada de estudo do laboratório de ciências térmicas possui quatro manômetros para serem utilizados nos experimentos. Para que o manômetro possa desempenhar seu papel deve ser conectado a mangueira que possuem conectores de engate rápido na entrada do manômetro. Cada manômetro possui uma leitura específica. O primeiro é utilizado para medir a pressão de sucção da bomba 1, que é a pressão negativa, como se pode ver na marcação do próprio manômetro. O segundo é usado para medir a pressão de sucção da bomba 2, podendo medir tanto pressão negativa quanto positiva. O terceiro manômetro é usado para medir a pressão de recalque de ambas as bombas, sendo que esse manômetro só trabalha em pressão positiva. E por último, o manômetro que mede a diferença de pressão. Para o cálculo da diferença de pressão deve conectar as duas mangueiras em dois pontos de interesse. A Figura 12 abaixo mostra os manômetros da bancada.

Figura 12 - Manômetros da bancada de mecânica dos fluídos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3 METODOLOGIA

3.1 Bancada

A bancada de mecânica dos fluídos está localizada no Laboratório de Ciências Térmicas e Mecânica dos Fluídos na Universidade Federal do Ceará - campus Russas. A bancada, como se pode ver na Figura 13, é composta por equipamentos importantes para estudo de Mecânica de Fluidos, como: bombas centrífugas, a qual é possível controlar a rotação da bomba pelo painel fixado na bancada; tubulações com diversas válvulas com intuito de controlar a vazão; mangueiras com conectores com engate rápido; vertedouros e um tanque volumétrico.

Figura 13 - Bancada de mecânica dos fluídos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Lembrando que essas bombas centrífugas podem ser ligadas individualmente, em série ou em paralelo. Além disso, há equipamentos para medição de pressão como manômetros simples, diferencial e piezômetro.

3.2 Experimentos

A bancada de mecânica dos fluídos têm a possibilidade de fazer até 20 experimentos com diferentes configurações segundo o manual do fabricante. No entanto, a bancada montada no laboratório não possui todos os equipamentos existentes no manual, como rotâmetro, tubo de Pitot, placa de orifício por exemplo. Com isso, só teve a possibilidade de serem realizados experimentos com 10 configurações diferentes com os equipamentos disponíveis na bancada. Das 10 configurações de experimentos foram escolhidas 5 para serem apresentadas neste trabalho. São as seguintes configurações de experimentos: tubo de Venturi; coeficientes de descarga médio para fendas retangulares e V; curva de instalação; curva da Bomba 1 e curva de instalação pelo fechamento de válvula.

3.2.1 Checagens iniciais

O primeiro procedimento antes de qualquer experimento na bancada é a checagem inicial. Primeiramente, deve ser verificado se o tanque e as bombas estão cheios de água, senão ambos devem ser preenchidos como se ver na Figura 14. Após isso, deve ser dada partida nas bombas com as válvulas abertas e inspecionar se a água está fluindo normalmente.

Figura 14 - Enchimento da bomba com água.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Se não estiver fluindo, deve-se conferir novamente as bombas e preenchê-las novamente. Logo após isso, e antes de qualquer processo na bancada, é necessário retirar as

bolhas de ar do sistema de medição de pressão por processo de sangria. É possível fazer a sangria dos manômetros e do piezômetro fixado na bancada como se ver na Figura 15.

Figura 15 - Manômetro para pressão de sucção com conexão para sangria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para retirar as bolhas dos manômetros é fixado uma extremidade da mangueira na entrada do manômetro e a outra extremidade no ponto no qual se quer realizar a medição. Com outra mangueira se fixa uma ponta na sangria do manômetro e outra extremidade na sangria da bancada. No piezômetro (Figura 16) para ser realizada a sangria basta conectar a mangueira no ponto desejado e após isso usar os botões descer e subir do piezômetro para expulsar as bolhas.

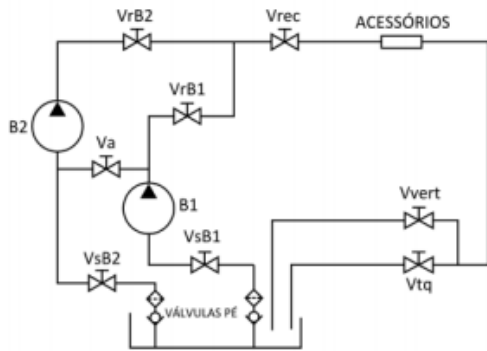
Figura 16 - Sangramento no piezômetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Depois deste procedimento, pode-se começar o experimento. A bancada é composta por tubulações que são discriminadas na Figura 17, com as respectivas válvulas e bombas.

Figura 17 - Diagrama da bancada de mecânica dos fluídos.



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

3.2.2 *Tubo de Venturi*

O objetivo deste experimento é obter o coeficiente de descarga em um Venturi, mostrado na Figura 18, e verificar o comportamento em relação à vazão.

Figura 18 - Tubo de Venturi.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Lembrando que antes de qualquer experimento eram retiradas as bolhas de ar do sistema por sangria. Seguindo o protocolo do fabricante foram abertas as seguintes válvulas: VsB1, VrB1, Vrec e Vvert. E, também, foram fechadas as seguintes válvulas: VsB2, VrB2, Va e Vtq. Neste experimento é necessário a obtenção da vazão volumétrica real (litros/segundos), que é medida a partir do tempo de enchimento do tanque de 10 litros da bancada (Figura 19), e da pressão diferencial (Pa), medida através do piezômetro. Logo, tendo esses resultados é

possível realizar o cálculo da vazão real, do número de Reynolds e dos coeficientes de descarga, como demonstrados no referencial teórico. Além da obtenção de gráficos do coeficiente de descargas.

Figura 19 - Tanque principal.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2.3 Coeficiente de descarga médio para fendas retangulares e V

O objetivo deste experimento é obter o coeficiente de descarga médio para perfil retangular, em V com 30° de abertura e em V com 90° de abertura. Além disso obter uma constante de calibração K. Para este experimento foram abertas as seguintes válvulas: VsB1, VrB1, Vrec e Vvert. Foram fechadas as seguintes válvulas: VsB2, VrB2, Va e Vtq.

A bomba foi ligada até a água ficar no nível de transbordar, após isso, esperou-se o nível estabilizar. Posteriormente, a bomba foi ligada novamente e mediu-se com a régua o nível da água em relação à fenda. Para o cálculo da vazão real o tanque principal da bancada foi cheio e cronometrado o tempo dessa operação. Os perfis foram colocados em um encaixe no tanque volumétrico, como pode-se ver nas Figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 - Perfil em V com 30° de abertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 21 - Perfil em V com 90° de abertura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 22 - Perfil retangular.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2.4 Curva de instalação

A partir deste experimento foram utilizados os manômetros existentes na bancada, como pode-se ver na Figura 23.

Figura 23 - Manômetros.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O objetivo é obter a curva de instalação do equipamento através da medição da pressão de sucção na bomba 1, da pressão de recalque da bomba 1, da pressão diferencial e da vazão. Nesse experimento a bomba vai funcionar com diferentes rotações (3300 rpm, 2900 rpm, 2500 rpm, 2100 rpm, 1700 rpm, 1300 rpm).

O procedimento realizado foi o seguinte:

- A mangueira foi conectada na entrada da Bomba 1 e na entrada do manômetro P1.
- Uma segunda mangueira foi conectada na saída da Bomba 1 e na entrada do manômetro P3.
- Uma terceira mangueira foi conectada na entrada do Venturi e na entrada + do manômetro Δp .
- E por último foi conectada a mangueira na garganta do Venturi e na entrada - do manômetro Δp para medição da diferença de pressão.
- Para os experimentos foram abertas as seguintes válvulas: V_{sB1} , V_{rB1} , V_{rec} e V_{tq} . Foram fechadas as seguintes válvulas: V_{sB2} , V_{rB2} , V_a e V_{vert} .

Com os valores descobertos da carga total e da vazão foi possível plotar o gráfico da curva de instalação.

3.2.5 *Curvas da bomba 1*

O objetivo deste experimento é obter a curva da bomba 1. Foi fixada a rotação da bomba em 3300 rpm e foram realizadas 12 medições de pressão de entrada (sucção) da bomba 1, pressão de saída (recalque), pressão diferencial e vazão. Todas as pressões foram através dos manômetros fixados na bancada de mecânica dos fluidos como no experimento anterior. Para os experimentos foram abertas as seguintes válvulas: V_{sB1} , V_{rB1} , V_{rec} e V_{tq} . Foram fechadas as seguintes válvulas: V_{sB2} , V_{rB2} , V_a e V_{vert} .

O procedimento realizado foi o seguinte:

- A mangueira foi conectada na entrada da Bomba 1 e na entrada do manômetro P1.
- Uma segunda mangueira foi conectada na saída da Bomba 1 e na entrada do manômetro P3.
- Uma terceira mangueira foi conectada na entrada do Venturi e na entrada + do manômetro Δp .

- E por último foi conectada a mangueira na garganta do Venturi e na entrada - do manômetro Δp para medição da diferença de pressão.

Posteriormente, a bomba 1 foi ligada. Com isso, foi possível ter 12 resultados de carga total e de vazão para serem plotados graficamente.

3.2.6 Curva de instalação pelo fechamento da válvula

O objetivo desse experimento é obter as curvas de instalação do equipamento para outros fechamentos de válvula. Foi realizada a variação de rotação da bomba para a obtenção de vários pontos de carga manométrica e vazão para gerar a curva da instalação. Isso foi realizado também com várias aberturas da válvula de recalque a fim de obter novas curvas de instalação e colocá-las junto a curva da bomba 1. Foi trabalhado com fechamento da válvula em 100%, 75%, 50% e 25%. Para os experimentos foram abertas as seguintes válvulas: VsB1, VrB1, Vrec e Vtq. Foram fechadas as seguintes válvulas: VsB2, VrB2, Va e Vvert.

O procedimento realizado foi o seguinte:

- A mangueira foi conectada na entrada da Bomba 1 e na entrada do manômetro P1.
- Uma segunda mangueira foi conectada na saída da Bomba 1 e na entrada do manômetro P3.
- Uma terceira mangueira foi conectada na entrada do Venturi e na entrada + do manômetro Δp .
- Foi conectada a mangueira na garganta do Venturi e na entrada do manômetro Δp para medição da diferença de pressão.
- Posteriormente a bomba 1 foi ligada.
- Os testes foram realizados para rotações de 3300 rpm, 2900 rpm, 2500 rpm, 2100 rpm, 1700 rpm e 1300 rpm.
- Com isso, foi possível obter 6 resultados de carga total e de vazão para serem plotados graficamente para cada abertura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coeficiente de descarga em um Venturi

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes ao experimento de obtenção do coeficiente de descarga em um Venturi. A partir dos dados de vazão real e da diferença de pressão do piezômetro é possível calcular a vazão teórica, coeficiente de descarga, velocidade real e Reynolds.

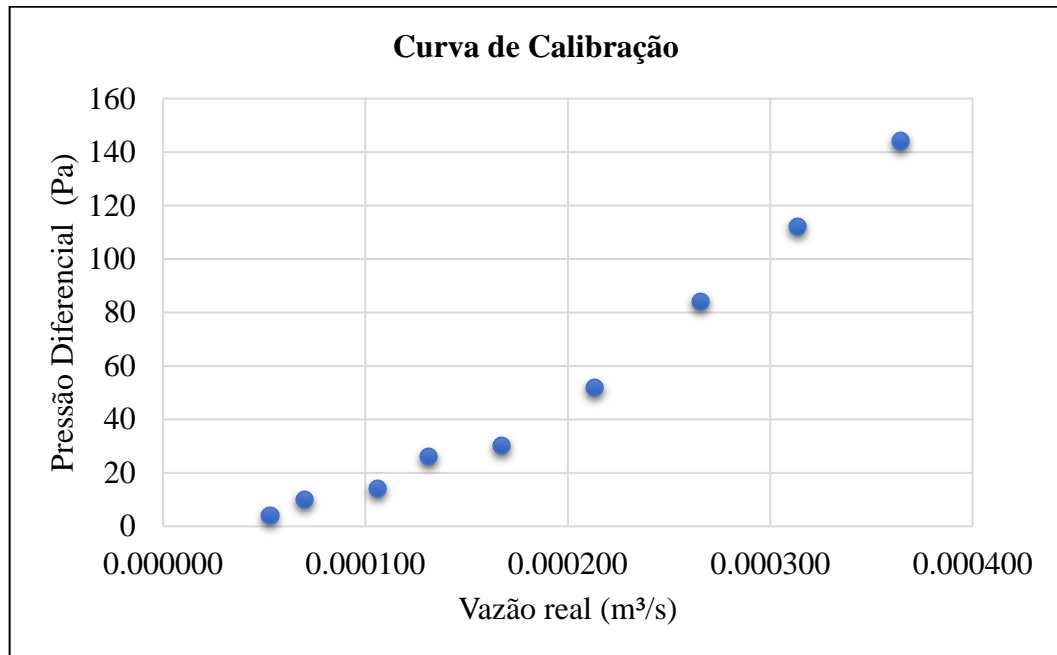
Tabela 1 - Coeficiente de descarga de Venturi.

Experimento:		Coeficiente de descarga Venturi			
A1 (m²)	0,000464	Temperatura (°C)	23	Viscosidade (m²/s)	0,00000092
A2 (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)	997		
Vazão real Q (m³/s)	Pressão Diferencial (Pa)	Vazão teórica Q (m³/s)	Coef. de descarga CD (-)	Velocidade real v1 (m/s)	Reynolds Re1 (-)
0,000364	144	0,000347	1,050	0,786	20754
0,000313	112	0,000306	1,024	0,676	17849
0,000266	84	0,000265	1,003	0,573	15138
0,000213	52	0,000209	1,023	0,460	12148
0,000167	30	0,000158	1,056	0,361	9523
0,000131	26	0,000147	0,890	0,283	7472
0,000106	14	0,000108	0,979	0,228	6031
0,000070	10	0,000091	0,764	0,151	3981
0,000053	4	0,000058	0,915	0,114	3013

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com estes dados, é possível obter os gráficos de Curva de calibração, de coeficiente de descarga médio e de curva de característica de Venturi. Com esses gráficos é possível fazer uma comparação com os resultados do fabricante. O Gráfico 1 mostra a curva de calibração.

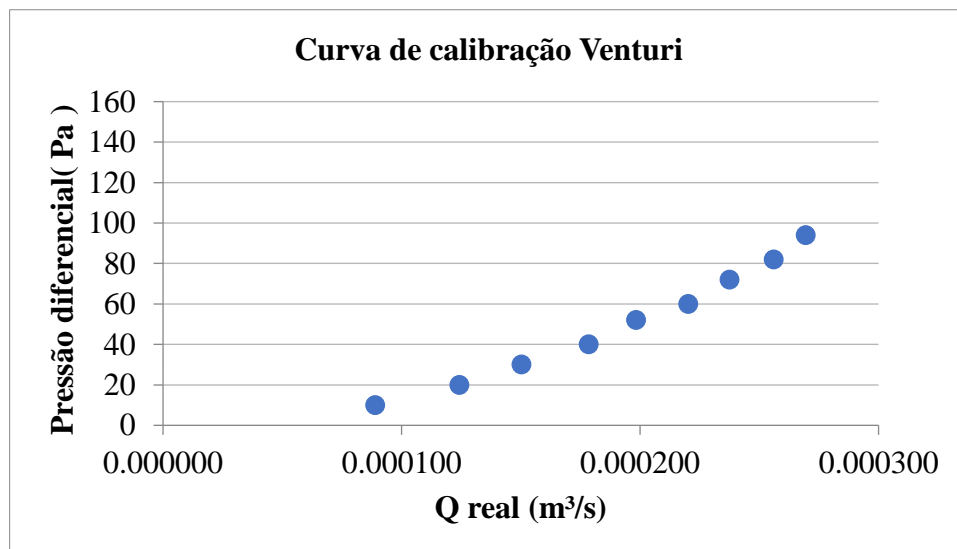
Gráfico 1 - Curva de calibração.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida é visto o Gráfico 2 com os dados da curva de calibração do fabricante. O gráfico é o resultado da diferença de pressão (Pa) por vazão real (m³/s).

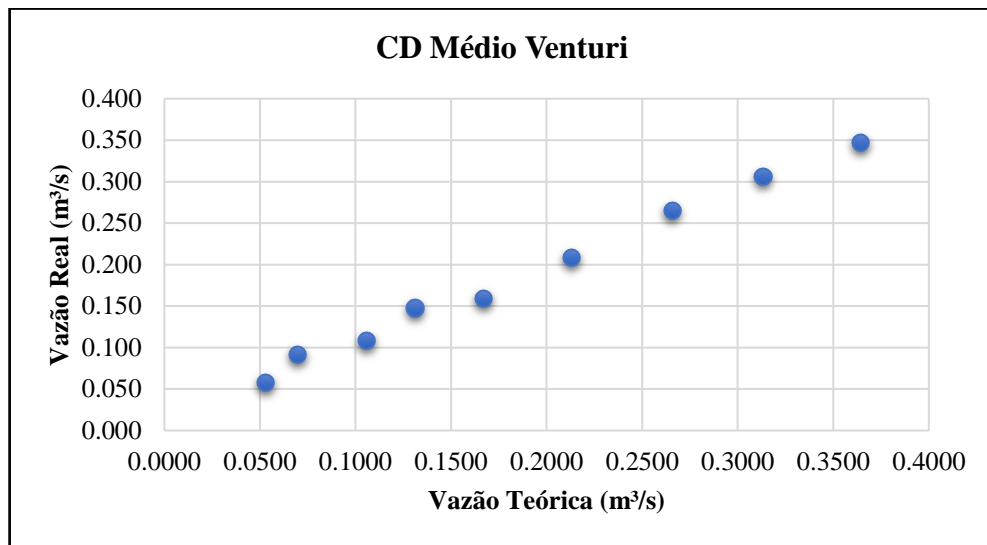
Gráfico 2 - Curva de calibração do fabricante.



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

O Gráfico 3 representa os dados do coeficiente de descarga médio. O gráfico é o resultado da vazão real (m³/s) por vazão teórica (m³/s).

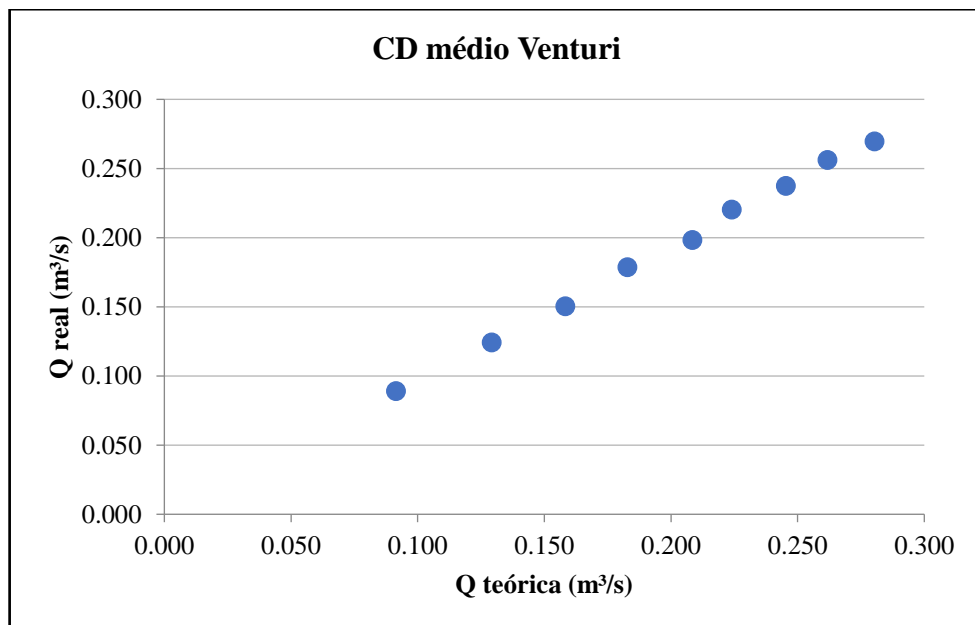
Gráfico 3 - Coeficiente de descarga médio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente é visto o Gráfico 4 com os dados do CD médio do fabricante. O gráfico é o resultado da vazão real (m³/s) por vazão teórica (m³/s).

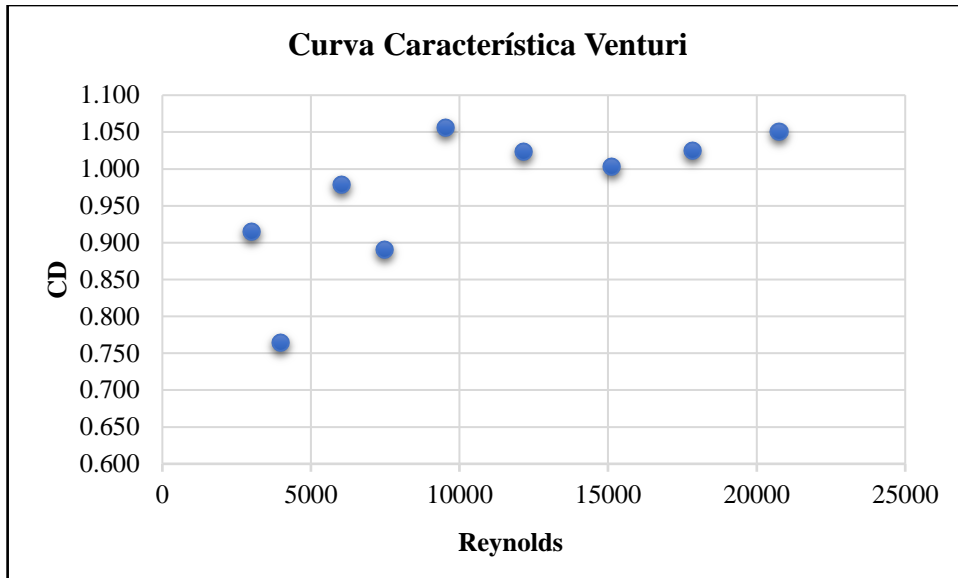
Gráfico 4 - Coeficiente de descarga médio do fabricante.



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

O Gráfico 5 representa os dados da curva característica Venturi realizado por este trabalho. O gráfico é o resultado do coeficiente de descarga (-) por Reynolds (-).

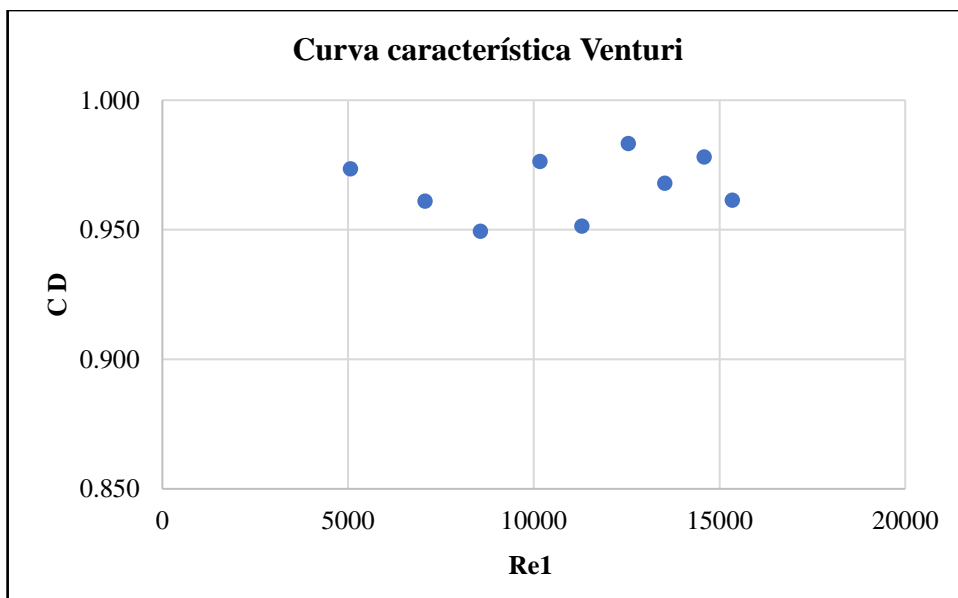
Gráfico 5 - Curva característica Venturi.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida é visto o Gráfico 6 que representa os dados da curva característica Venturi realizado pelo fabricante. O gráfico é o resultado do coeficiente de descarga (-) por Reynolds (-).

Gráfico 6 - Curva característica Venturi do fabricante.



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

Primeira observação que pode ser feita é relacionado a medição da diferença de pressão no piezômetro. Iniciou-se esse experimento com uma rotação a 2300 rpm, igualmente com a do fabricante. No entanto, como se pode ver no Gráfico 1, o do fabricante deu um resultado de 94 Pa e o do experimento realizado no laboratório deu 144Pa, mesmo com as mesmas condições. Além disso, nos outros pontos de medição da diferença de pressão ele conseguiu ser preciso, sempre mantendo a diferença de altura, diminuindo cerca 10Pa em cada ponto. Sendo que na prática é muito difícil manter essa precisão, já que o controle da vazão é feito de modo manual na válvula. Por este motivo, também é difícil manter uma diferença constante na vazão real, podendo observar isto no Gráfico 3. Devido a essas imprecisões no cálculo da vazão, uma consequência é no Gráfico 5, que há uma queda repentina em dois pontos, diferente do gráfico do fabricante, que permanece uma projeção mais horizontal.

4.2 Coeficiente de descarga médio em fendas retangular e V.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes ao experimento de obtenção do coeficiente de descarga a fenda retangular. A partir dos dados de vazão real e da altura do nível de água em relação a fenda é possível calcular a vazão teórica e o coeficiente de descarga.

Tabela 2 - Coeficiente de descarga da fenda retangular.

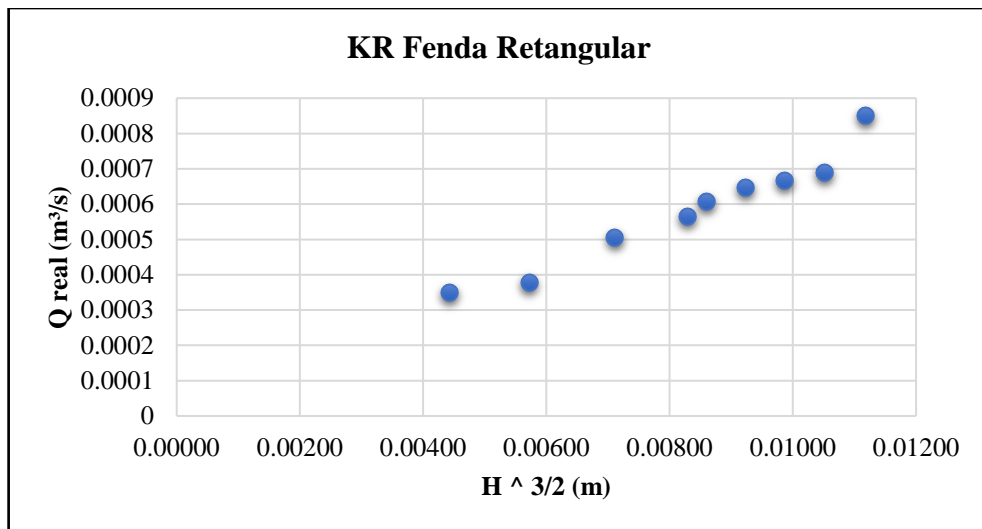
Experimento:		Coeficiente de descarga médio - fenda retangular		
Largura B (mm)	30			
Vazão real Q (m³/s)	Altura Manométrica H (m)	H ^{3/2} (m)	Vazão teórica Q (m³/s)	Coef. Descarga CDR (-)
0,0003487	0,027	0,00444	0,000393	0,888
0,0003774	0,032	0,00572	0,000507	0,745
0,0005061	0,037	0,00712	0,000630	0,803
0,0005631	0,041	0,00830	0,000735	0,766
0,000606	0,042	0,00861	0,000762	0,795
0,0006477	0,044	0,00923	0,000817	0,793
0,0006667	0,046	0,00987	0,000874	0,763
0,0006897	0,048	0,01052	0,000931	0,741
0,0008503	0,05	0,01118	0,000990	0,859

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com estes dados é possível obter os gráficos do coeficiente de descarga retangular e de KR da fenda retangular. Com estes gráficos é possível fazer um comparativo com os resultados do fabricante.

Em seguida é visto o Gráfico 7 que representa o KR fenda retangular. O gráfico é o resultado da vazão real (m^3/s) por $H^{3/2}$ (m).

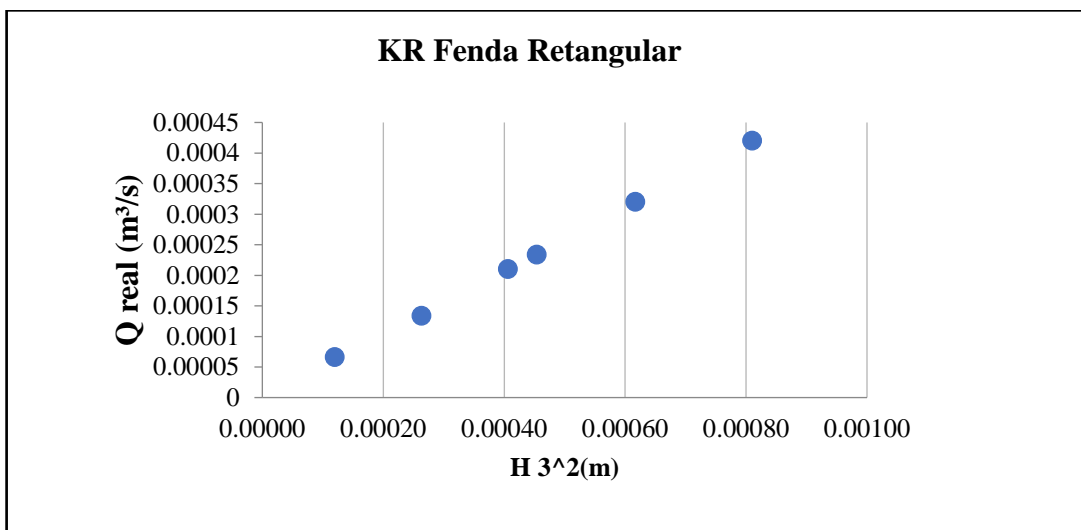
Gráfico 7 - KR Fenda retangular.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente é visto o Gráfico 8 que representa o KR fenda retangular do fabricante. O gráfico é o resultado da vazão real (m^3/s) por $H^{3/2}$ (m).

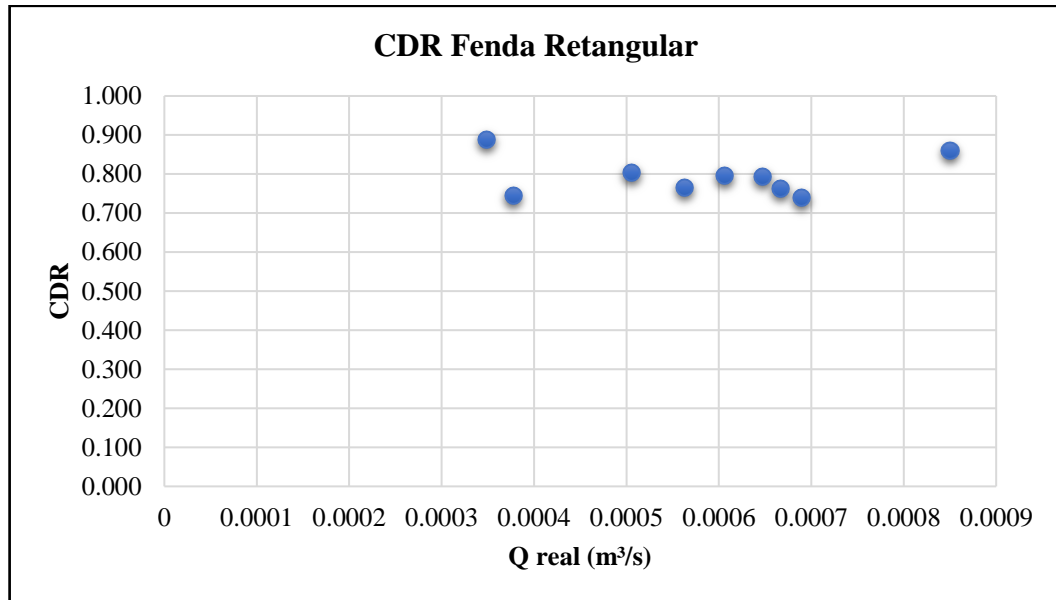
Gráfico 8 - KR Fenda retangular fabricante.



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

O Gráfico 9 representa o CDR da fenda retangular. O gráfico é o resultado do CDR (-) por vazão real (m^3/s).

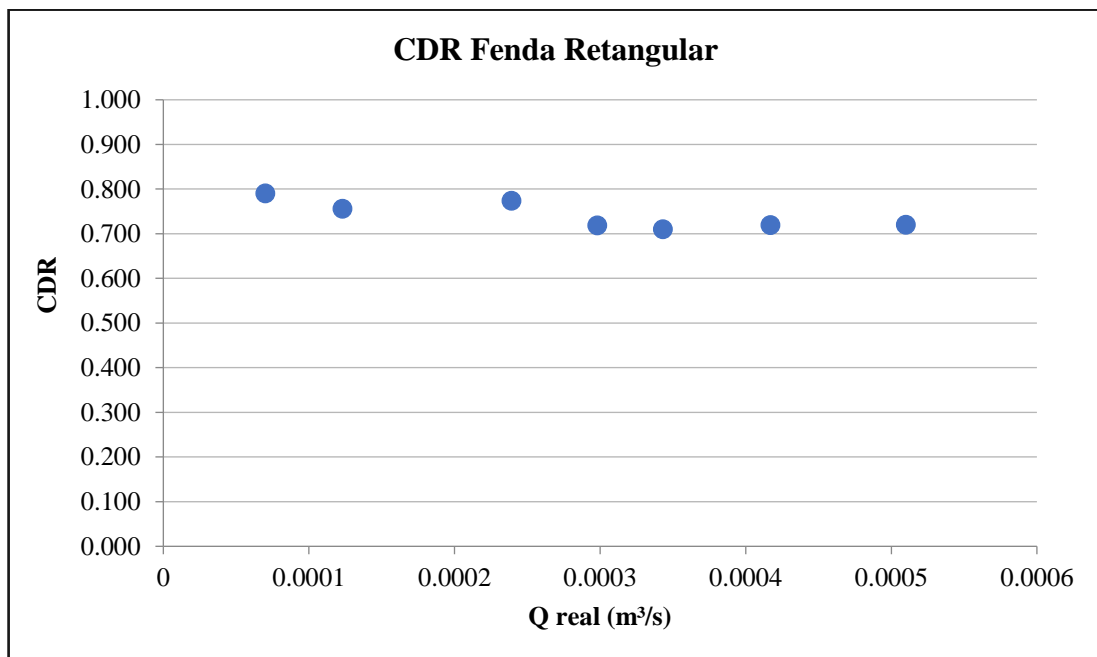
Gráfico 9 - CDR Fenda retangular.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Logo em seguida, é visto o Gráfico 10 que representa o CDR da fenda retangular do fabricante. O gráfico é o resultado do CDR (-) por vazão real (m^3/s).

Gráfico 10 - CDR Fenda retangular fabricante.



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

Percebe-se tanto no Gráfico 7 quanto no Gráfico 9 há uma diferença razoável da vazão do experimento deste trabalho com a vazão do fabricante. Isto é uma consequência de a abertura da válvula ser totalmente manual, dificultando a precisão nos dados de vazão. Outra observação importante é a medição da altura da fenda de água. O manual do fabricante pede-se que seja medido com uma régua. No entanto, essa medição se torna imprecisa na prática, basta observar o Gráfico 7 e o Gráfico 8. O do fabricante (Gráfico 8) é praticamente linear, diferente do experimento deste trabalho, como demonstra o Gráfico 7. Lembrando que a vazão real e a altura da fenda são relações diretamente proporcionais. Esta imprecisão da vazão também reflete no cálculo do coeficiente de descarga, Gráfico 9, já que para o cálculo dele depende da vazão real.

Na Tabela 3 e na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes ao experimento de obtenção do coeficiente de descarga da fenda em V de 30° e de 90° . A partir dos dados de vazão real e da altura do nível de água em relação a fenda é possível calcular a vazão teórica e o coeficiente de descarga.

Tabela 3 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30° .

Experimento:		Coeficiente de descarga médio - fenda 30°		
Ângulo θ ($^\circ$)	15			
Vazão real Q (m^3/s)	Altura Manométrica H (m)	$H^{5/2}$ (m)	Vazão teórica Q (m^3/s)	Coef. Descarga CDV (-)
0,0002532	0,043	0,00038	0,000243	1,044
0,0003687	0,046	0,00045	0,000287	1,284
0,0004533	0,052	0,00062	0,000390	1,162
0,0005618	0,055	0,00071	0,000449	1,252
0,000606	0,059	0,00085	0,000535	1,133
0,000625	0,062	0,00096	0,000606	1,032

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 4 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90°.

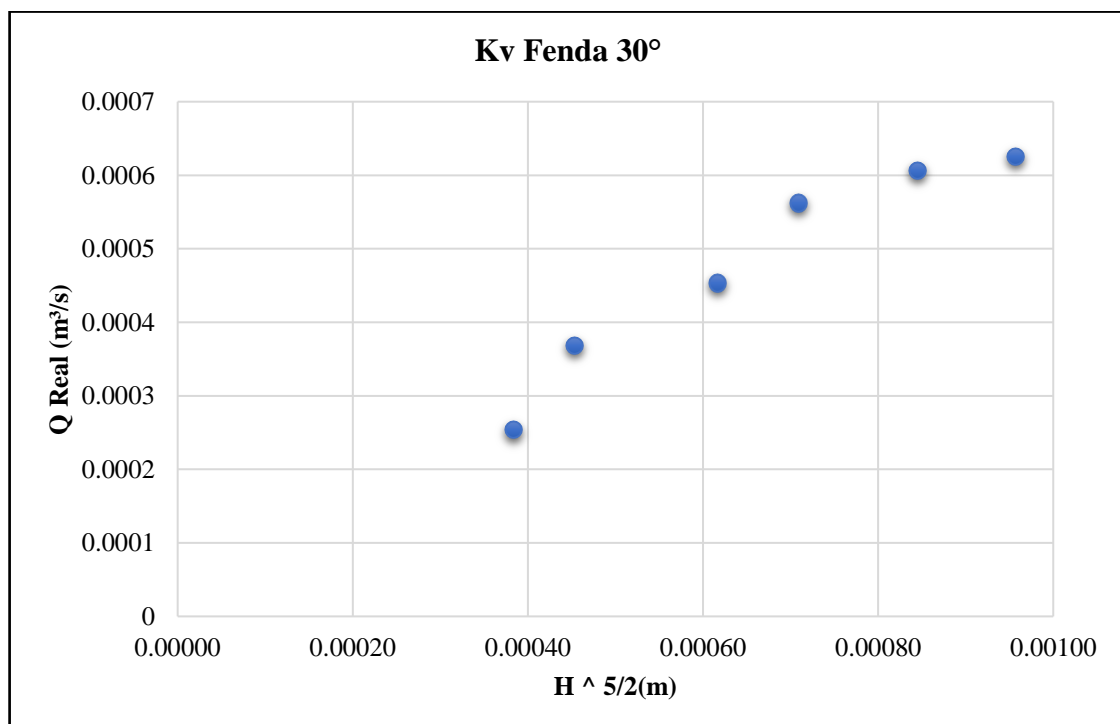
Experimento:		Coeficiente de descarga médio - fenda 90°		
Ângulo θ (°)	45			
Vazão real Q (m ³ /s)	Altura Manométrica H (m)	$H^{5/2}$ (m)	Vazão teórica Q (m ³ /s)	Coef. Descarga CDV (-)
0,0002117	0,024	0,00009	0,000211	1,005
0,0003030	0,028	0,00013	0,000310	0,978
0,0003756	0,031	0,00017	0,000400	0,940
0,0005638	0,034	0,00021	0,000503	1,120
0,0006527	0,037	0,00026	0,000622	1,050
0,0007331	0,039	0,00030	0,000709	1,034
0,0008291	0,041	0,00034	0,000804	1,032

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com estes dados é possível obter os gráficos do coeficiente de descarga e de KV da fenda em V de 30° e de 90°. Com estes gráficos é possível fazer uma comparação com os resultados do fabricante.

O Gráfico 11 representa os dados KV da fenda de 30°. O gráfico é o resultado da vazão real (m³/s) por $H^{5/2}$ (m).

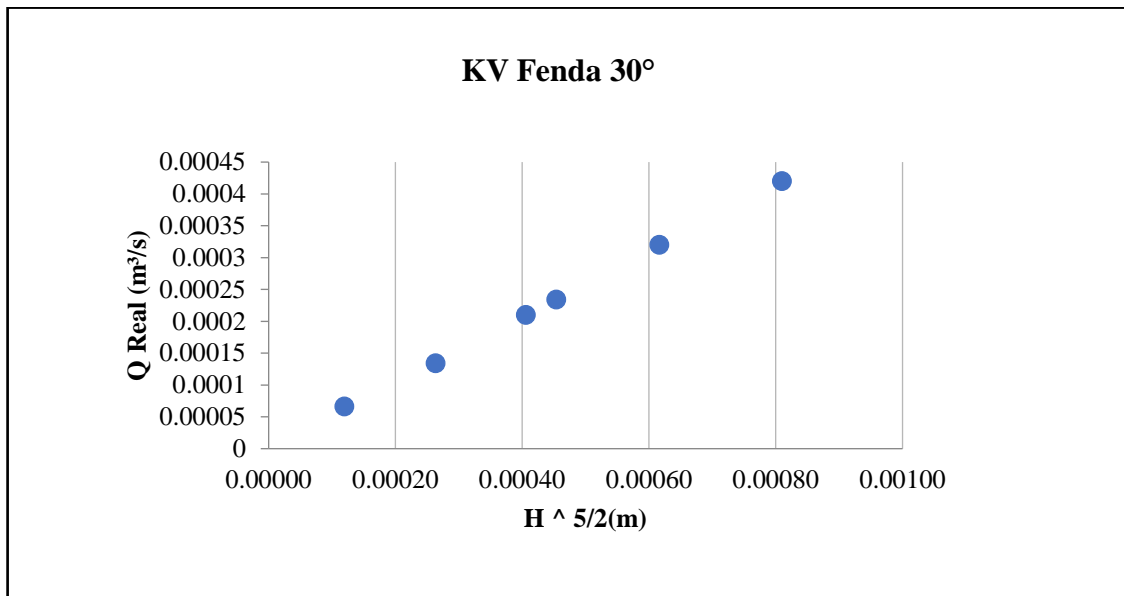
Gráfico 11 - KV Fenda de 30°.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida é visto o Gráfico 12 que representa os dados KV da fenda de 30° do fabricante. O gráfico é o resultado da vazão real (m^3/s) por $H^{5/2}$ (m).

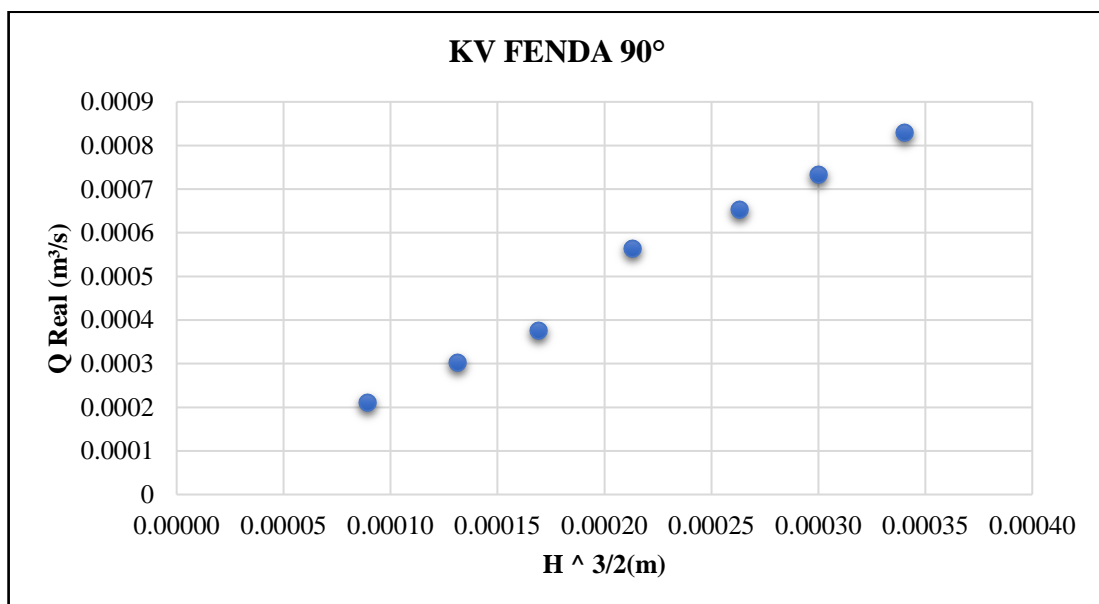
Gráfico 12 - KV Fenda de 30° do fabricante.



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

O Gráfico 13 representa os dados KV da fenda de 90°. O gráfico é o resultado da vazão real (m^3/s) por $H^{3/2}$ (m).

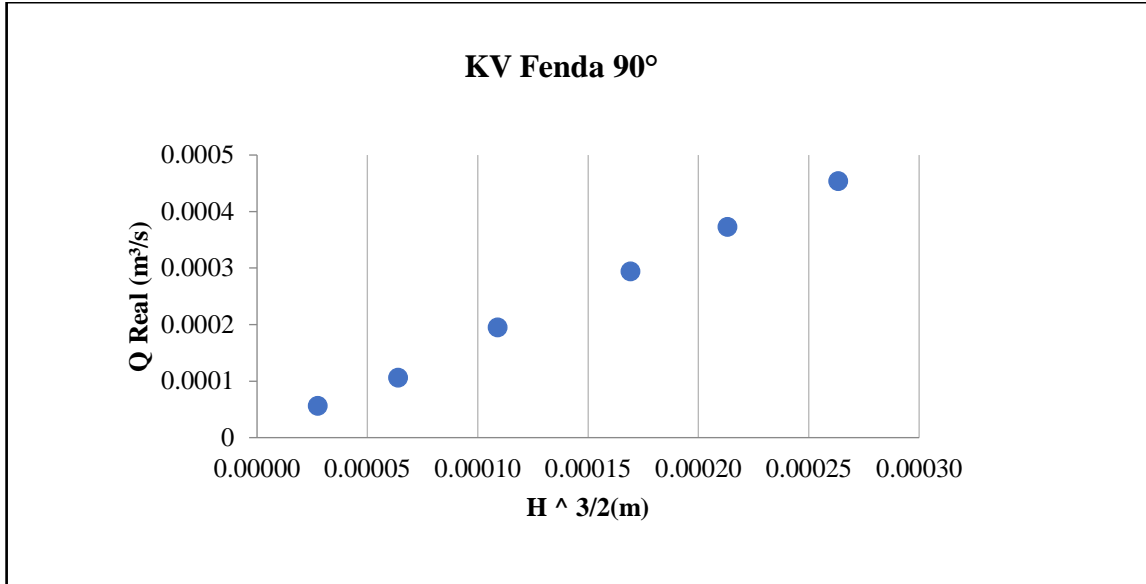
Gráfico 13 - KV Fenda de 90°.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente o Gráfico 14 representa os dados KV da fenda de 90° do fabricante. O gráfico é o resultado da vazão real(m³/s) por H^{3/2}(m).

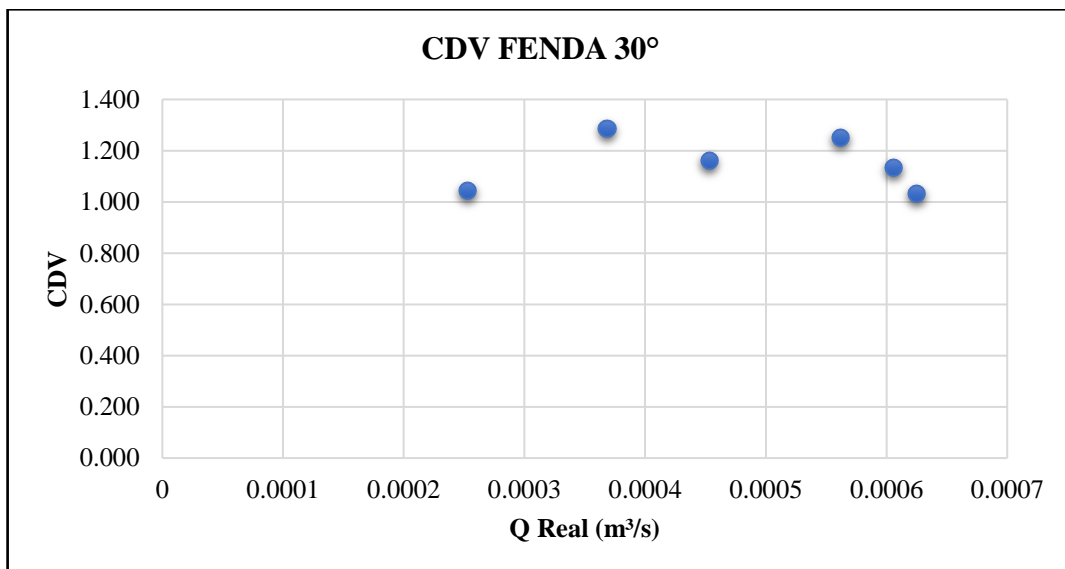
Gráfico 14 - KV Fenda de 90° do fabricante.



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

O Gráfico 15 representa os dados CDV da fenda de 30°. O gráfico é o resultado do CDV (-) pela vazão real(m³/s).

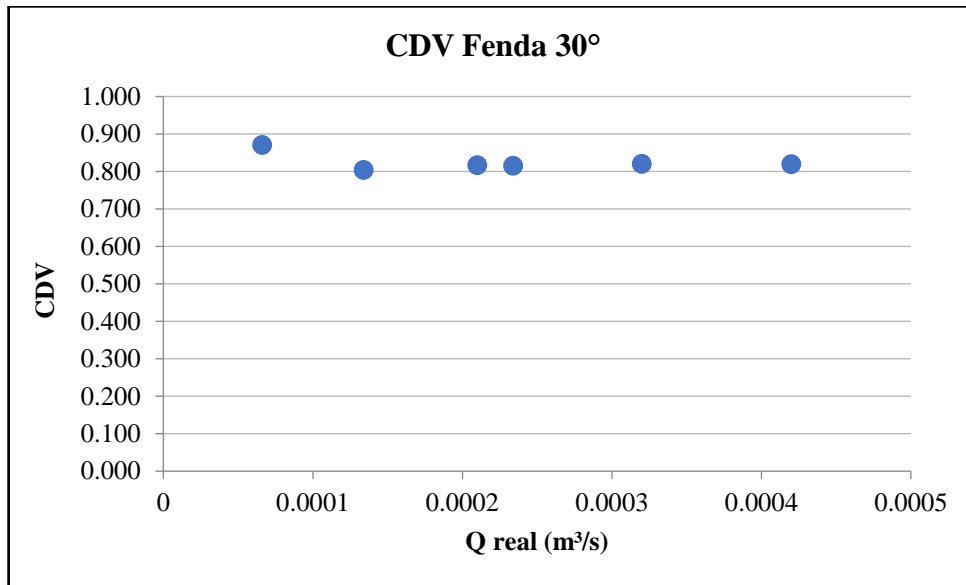
Gráfico 15 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30°.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, o Gráfico 16 representa os dados CDV da fenda de 30° pelo fabricante. O gráfico é o resultado do CDV (-) pela vazão real(m³/s).

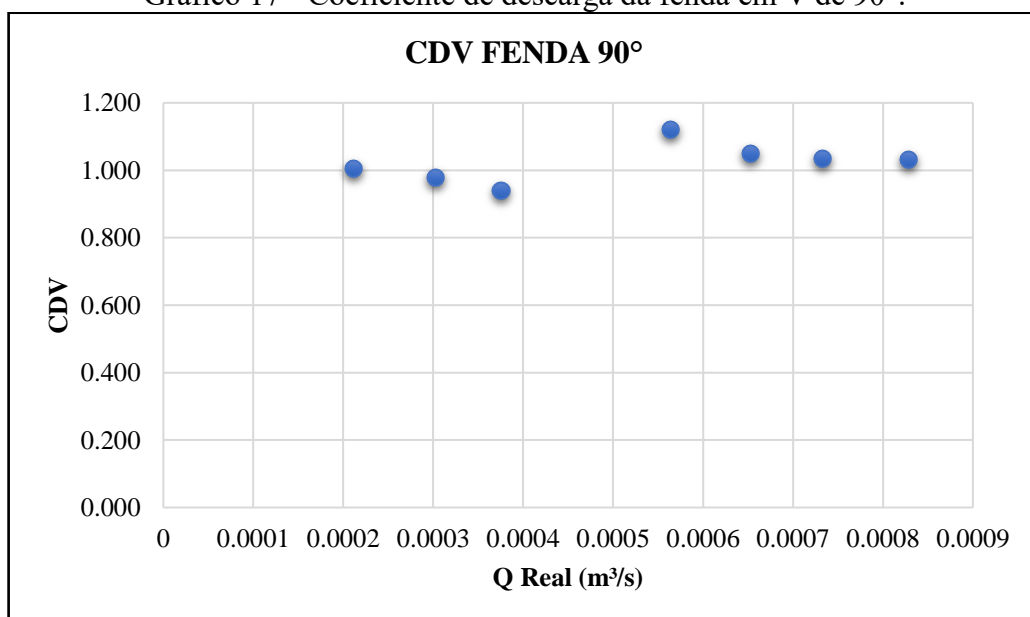
Gráfico 16 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 30° do fabricante.



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

O Gráfico 17 representa os dados CDV da fenda de 90°. O gráfico é o resultado do CDV (-) pela vazão real(m³/s).

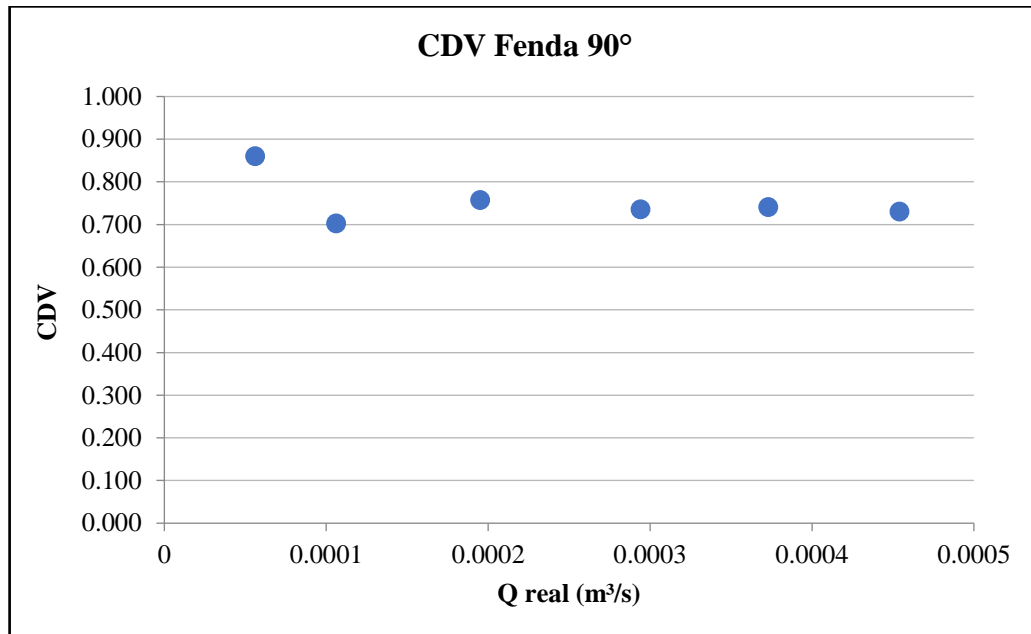
Gráfico 17 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90°.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, o Gráfico 18 representa os dados CDV da fenda de 90° pelo fabricante. O gráfico é o resultado do CDV (-) pela vazão real(m³/s).

Gráfico 18 - Coeficiente de descarga da fenda em V de 90° do fabricante.



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

De forma análoga ao experimento de coeficientes de descarga para fendas retangulares, os para fenda em V de 30° e de 90° sofrem as mesmas imprecisões nos dados de vazão e de altura, como pode ser visto nos Gráficos 11, 13, 15 e 17. O que ainda mais se aproxima é o Gráfico 17, ficando bem similar ao gráfico do fabricante (Gráfico 18).

4.3 Curva de instalação

Na Tabela 5 são mostrados os resultados referentes ao experimento de curva de instalação. A partir dos dados de pressão de entrada, pressão de recalque e pressão diferencial é possível calcular a carga manométrica e a vazão. Para serem medidos diversos pontos, a rotação foi variada de 1300 rpm até 3300 rpm.

Tabela 5 - Curva de instalação.

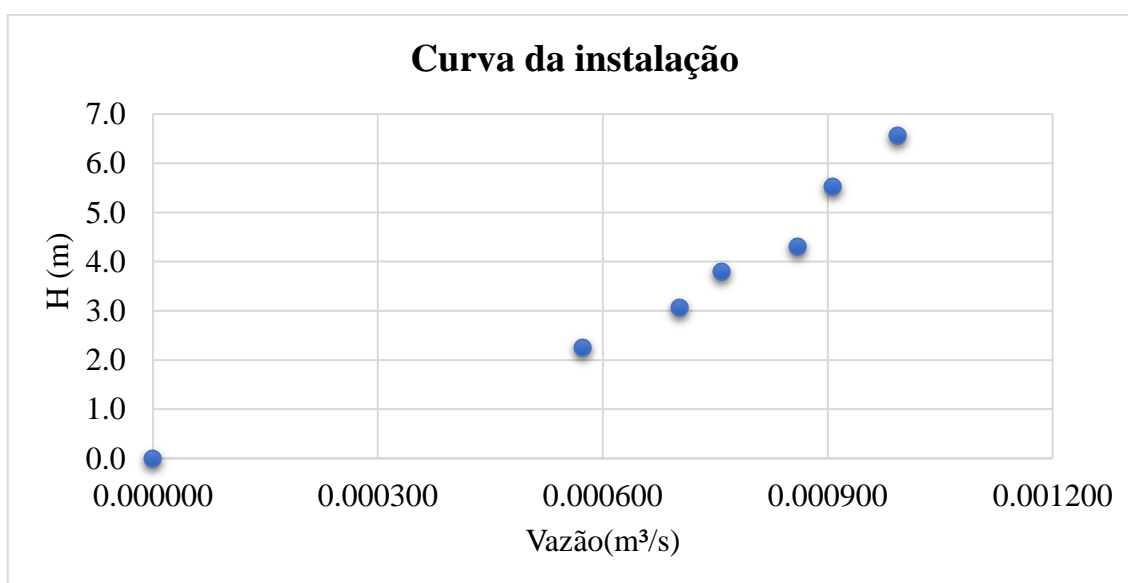
Experimento:		Curva de Instalação			
A1 Venturi (m²)	0,000464	Temperatura (°C)		26	
A2 Venturi (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)		997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m²/s)		0,00000088	
Rotação Bomba 1 n1 (rpm)	P1 (Pa)	P3 (Pa)	Carga Total H(m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão Q (m³/s)
3300	29000.00	35000.00	6.6	12000.00	0.000993
2900	25000.00	29000.00	5.5	10000.00	0.000907
2500	21000.00	21000.00	4.3	9000.00	0.000860
2100	18000.00	19000.00	3.8	7000.00	0.000759
1700	15000.00	15000.00	3.1	6000.00	0.000702
1300	12000.00	10000.00	2.3	4000.00	0.000573
0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com estes dados foi possível obter o gráfico da curva de instalação para que seja feito um comparativo com o fabricante.

O Gráfico 19 representa os dados da curva de instalação. O gráfico é o resultado do H(m) pela vazão (m³/s).

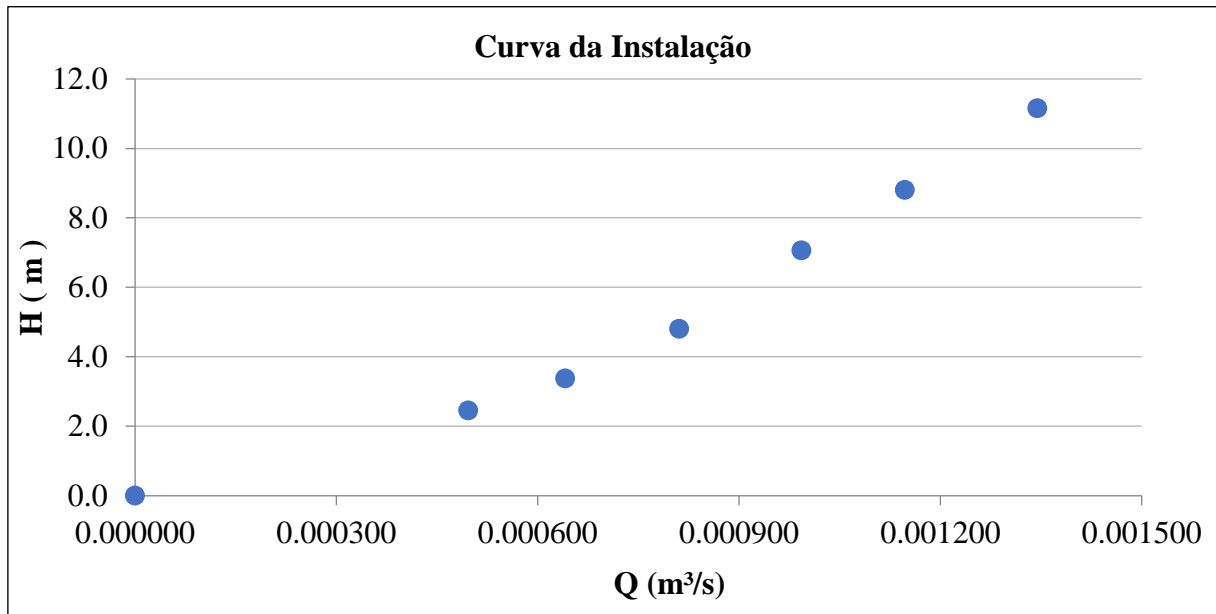
Gráfico 19 - Curva de instalação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente o Gráfico 20 representa os dados da curva de instalação do fabricante. O gráfico é o resultado do H(m) pela vazão (m³/s).

Gráfico 20 - Curva de instalação do fabricante.



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

Primeira observação a ser feita é a respeito da vazão calculada. A vazão do fabricante ultrapassou 0,0013m³/s litros/min, diferente da realizada neste trabalho que teve como máxima 0.000993 m³/s. Isto se deve a pressão diferencial, pois, como é visto no gráfico, a diferença de pressão sempre é maior no experimento do fabricante, mesmo com as mesmas condições de trabalho. Da mesma forma, para medição da carga total (H), o experimento do fabricante superou 10m, diferente do experimento deste trabalho que não ultrapassou 7m.

4.4 Curva da bomba

Na Tabela 6 são mostrados os resultados referentes ao experimento de curva da bomba 1. A partir dos dados de pressão de entrada, pressão de recalque e pressão diferencial é possível calcular a carga manométrica e a vazão. Para ser medido diversos pontos vai ser variado a vazão real da válvula de recalque.

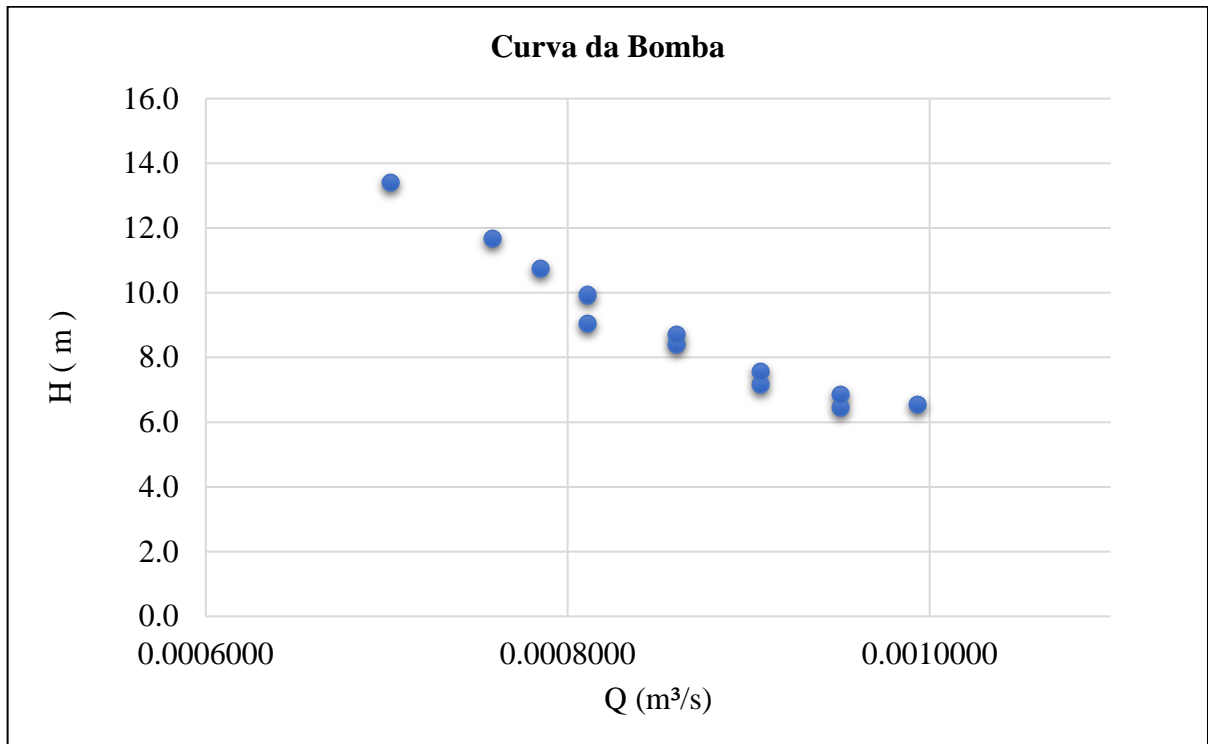
Tabela 6 - Curva da bomba 1.

Experimento:		Curva da Bomba 1		
A1 Venturi (m ²)	0,000464	Temperatura (°C)	26	
A2 Venturi (m ²)	0,000189	Densidade (kg/m ³)	997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m ² /s)	0,00000088	
Rotação n1 (rpm)	3300			
Pressão de Entrada (Sucção) Bomba 1 P1 - pI (Pa)	Pressão de Saída (Recalque) Bomba 1 P3 - po (Pa)	Carga Total H (m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão (m ³ /s)
-29000.00	35000.00	6.6	12000.00	0.0009932
-28000.00	35000.00	6.4	11000.00	0.0009509
-27000.00	40000.00	6.9	11000.00	0.0009509
-25000.00	45000.00	7.2	10000.00	0.0009067
-24000.00	50000.00	7.6	10000.00	0.0009067
-22000.00	60000.00	8.4	9000.00	0.0008601
-20000.00	65000.00	8.7	9000.00	0.0008601
-18500.00	70000.00	9.1	8000.00	0.0008109
-17000.00	80000.00	9.9	8000.00	0.0008109
-15000.00	90000.00	10.7	7500.00	0.0007852
-14000.00	100000.00	11.7	7000.00	0.0007586
-11000.00	120000.00	13.4	6000.00	0.0007023

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com estes dados é possível obter o gráfico da curva da bomba para que seja feito um comparativo com o fabricante. O Gráfico 21 representa os dados da curva da bomba. O gráfico é o resultado do H(m) pela vazão (m³/s).

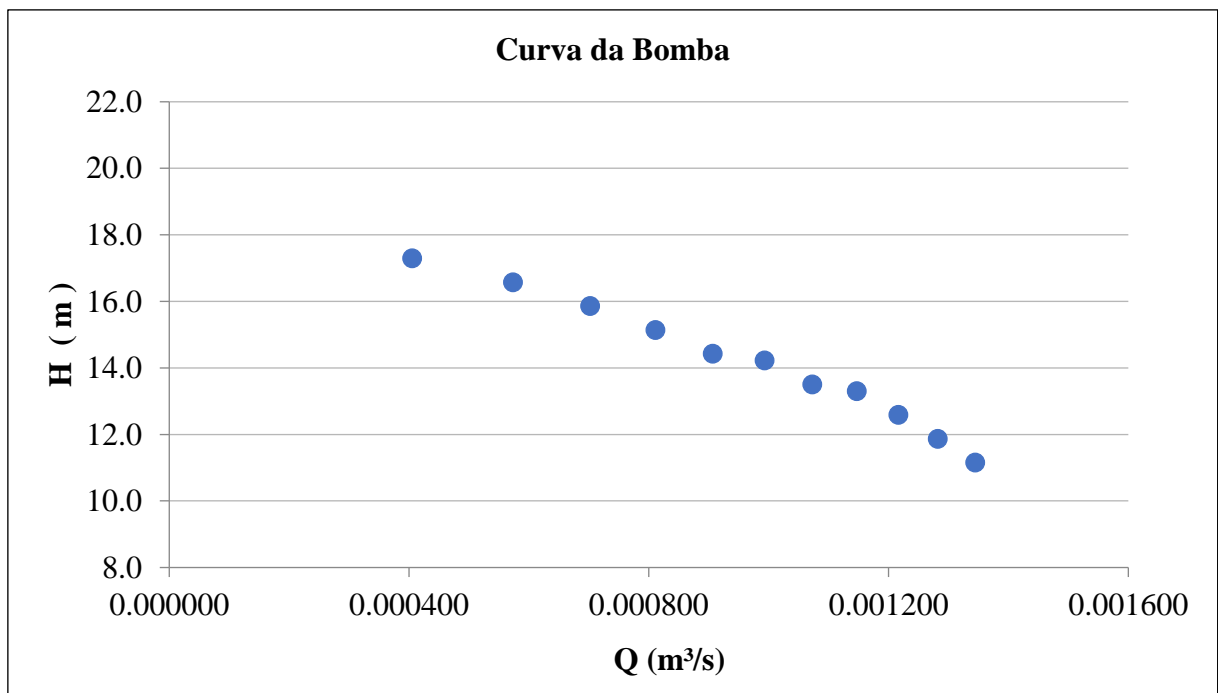
Gráfico 21 - Curva da bomba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O Gráfico 22 representa os dados da curva de instalação do fabricante. O gráfico é o resultado do $H(m)$ pela vazão (m^3/s).

Gráfico 22 - Curva da bomba fabricante.



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

É visto que no Gráfico 21 se tem dois pontos que as vazões calculadas são praticamente iguais. Isso se dá pelo fato da obtenção da pressão diferencial, já que essa vazão calculada depende deste valor. Esta imprecisão da pressão diferencial é pelo fato do controle de válvula que escoar a água na bancada ser totalmente manual. Logo, tem situações que mesmo com o fechamento parcial da válvula, o manômetro não possui a sensibilidade de obter um valor diferente, praticamente repetindo o anterior. Com isso, por esse fator, o gráfico desse experimento não ficou linear como o do fabricante (Gráfico 22).

4.5 Curva de instalação pelo fechamento da válvula

Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 são mostrados os resultados referentes ao experimento de curva de instalação pelo fechamento da válvula. O experimento é com 100%, 75%, 50% e 25% de abertura da válvula de recalque. A partir dos dados de pressão de entrada, pressão de recalque e pressão diferencial é possível calcular a carga manométrica e a vazão. Para ser medido diversos pontos foi variada a rotação de 1300 rpm até 3300 rpm em cada abertura. A Tabela 7 mostra os resultados referente a curva de instalação com abertura de 100%.

Tabela 7 - Curva de Instalação - 100% Abertura.

Experimento:		Curva de Instalação - 100% Abertura			
A1 Venturi (m²)	0,000464	Temperatura (°C)		26	
A2 Venturi (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)		997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m²/s)		0,00000088	
Abertura	100%				
Rotação Bomba 1 n1 (rpm)	Pressão de Entrada (Sucção) Bomba 1 P1 - pI (Pa)	Pressão de Saída (Recalque) Bomba 1 P3 - po (Pa)	Carga Total H (m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão Q (m³/s)
3300	-32000.00	30000.00	6.3	14000.00	0.0010728
2900	-28000.00	25000.00	5.4	11000.00	0.0009509
2500	-24000.00	20000.00	4.5	8000.00	0.0008109
2100	-20000.00	15000.00	3.6	6000.00	0.0007023
1700	-17000.00	10000.00	2.8	4000.00	0.0005734

1300	-14000.00	4000.00	1.8	2000.00	0.0004055
------	-----------	---------	-----	---------	-----------

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 8 mostra os resultados referente a curva de instalação com abertura de válvula de 75%.

Tabela 8 - Curva de Instalação - 75% Abertura.

Experimento:		Curva de Instalação - 75% Abertura			
A1 Venturi (m²)	0,000464	Temperatura (°C)		26	
A2 Venturi (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)		997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m²/s)		0,00000088	
Abertura	75%				
Rotação Bomba 1 n1 (rpm)	Pressão de Entrada (Sucção) Bomba 1 P1 - pI (Pa)	Pressão de Saída (Recalque) Bomba 1 P3 - po (Pa)	Carga Total H (m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão Q (m³/s)
3300	-30000.00	39000.00	7.1	12000.00	0.0009932
2900	-26000.00	30000.00	5.7	10000.00	0.0009067
2500	-24000.00	25000.00	5.0	8000.00	0.0008109
2100	-19000.00	20000.00	4.0	6000.00	0.0007023
1700	-16000.00	12000.00	2.9	4000.00	0.0005734
1300	-14000.00	5000.00	1.9	2000.00	0.0004055

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 9 mostra os resultados referente a curva de instalação com abertura de válvula de 50%.

Tabela 9 - Curva de Instalação - 50% Abertura.

Experimento:		Curva de Instalação - 50% Abertura			
A1 Venturi (m²)	0,000464	Temperatura (°C)		26	
A2 Venturi (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)		997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m²/s)		0,00000088	
Abertura	50%				
Rotação Bomba 1 n1 (rpm)	Pressão de Entrada (Sucção) Bomba 1 P1 - pI (Pa)	Pressão de Saída (Recalque) Bomba 1 P3 - po (Pa)	Carga Total H (m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão Q (m³/s)
3300	-24000.00	60000.00	8.6	9000.00	0.0008601
2900	-21000.00	45000.00	6.8	7000.00	0.0007586
2500	-18500.00	35000.00	5.5	6000.00	0.0007023
2100	-16000.00	25000.00	4.2	4000.00	0.0005734
1700	-14000.00	20000.00	3.5	2000.0000	0.0004055
1300	-12000.00	10000.00	2.3	1000.0000	0.0002867

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Tabela 10 mostra os resultados referente a curva de instalação com abertura de válvula de 25%.

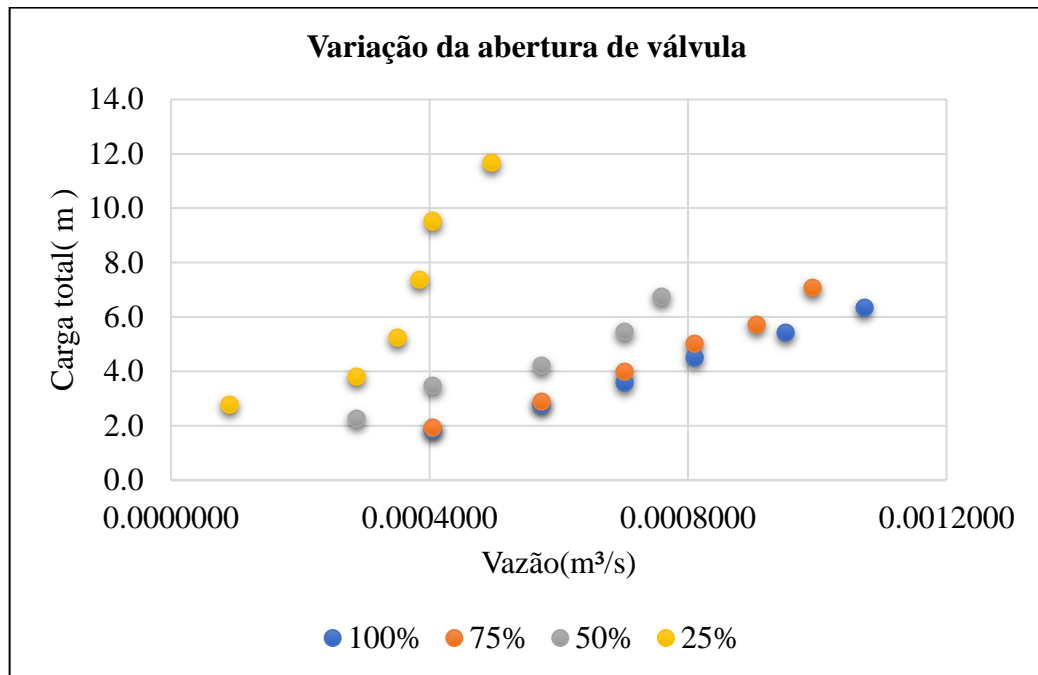
Tabela 10 - Curva de Instalação - 25% Abertura.

Experimento:		Curva de Instalação - 25% Abertura			
A1 Venturi (m²)	0,000464	Temperatura (°C)		26	
A2 Venturi (m²)	0,000189	Densidade (kg/m³)		997	
CD Venturi	0,98	Viscosidade (m²/s)		0,00000088	
Abertura	25%				
Rotação Bomba 1 n1 (rpm)	Pressão de Entrada (Sucção) Bomba 1 P1 - pI (Pa)	Pressão de Saída (Recalque) Bomba 1 P3 - po (Pa)	Carga Total H (m)	Pressão Diferencial Δp (Pa)	Vazão Q (m³/s)
3300	-14000.00	100000.00	11.7	3000.0000	0.0004966
2900	-13000.00	80000.00	9.5	2000.0000	0.0004055
2500	-12000.00	60000.00	7.4	1800.0000	0.0003847
2100	-11000.00	40000.00	5.2	1500.0000	0.0003511
1700	-10000.00	27000.00	3.8	1000.0000	0.0002867
1300	-9000.00	18000.00	2.8	100.0000	0.0000907

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com esses dados é possível obter o gráfico da curva de instalação para que seja feito um comparativo com o fabricante. O Gráfico 23 representa os dados da variação da abertura de válvula. O gráfico é o resultado do H(m) pela vazão (m^3/s).

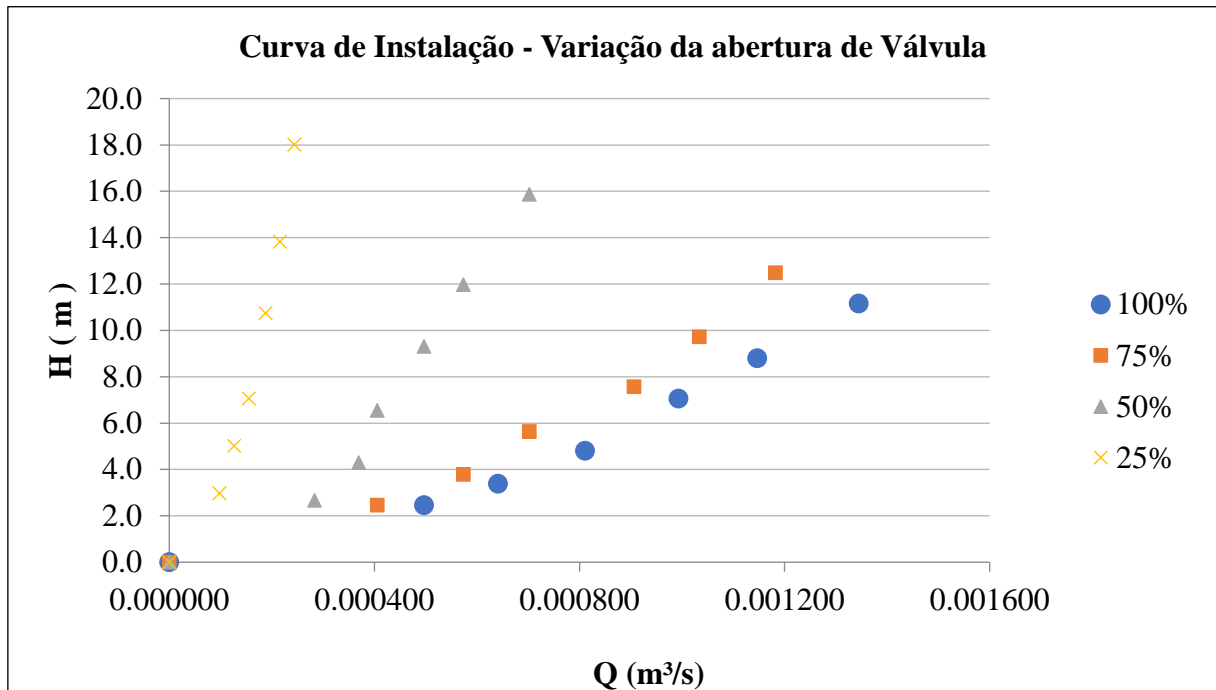
Gráfico 23 - Variação da abertura da válvula.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Logo em seguida tem o Gráfico 24 que representa os dados da curva de instalação do fabricante. O gráfico é o resultado do H (m) pela vazão (m^3/s).

Gráfico 24 - Variação da abertura da válvula do fabricante.



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

Pode-se perceber que no Gráfico 23 os pontos relacionados a abertura da válvula de 100% estão praticamente lineares, análoga do gráfico do fabricante. Isto se deve devido a abertura de 100%, logo não há imprecisão relacionado a abertura já que está aberto no seu limite máximo. Diferente das aberturas de 75%, 50% e 25% que não possuem a mesma precisão. As curvas do gráfico seguem a tendência do fabricante, mas há pontos que fogem da curva devido à dificuldade de se manter uma vazão com aberturas precisas.

5 CONCLUSÃO

Os resultados desse experimento foram satisfatórios em comparação com o do fabricante. A bancada de mecânica dos fluídos está apta para o uso dos alunos e professores. Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que os resultados têm tendência a seguir os resultados do fabricante. No entanto, há alguns pontos que devem ser frisados. O controle das válvulas são manuais, logo a precisão é menor quando comparada com os dados do fabricante. Para melhorar a precisão do experimento, talvez seja necessário ao fabricante adicionar uma marcação na própria válvula, de modo a indicar a abertura recomendada, facilitando assim a realização do experimento pelo operador. Os vertedouros não fixam bem no encaixe da bancada, ocorrendo vazamentos laterais, sendo preciso colocar fita adesiva para interromper o vazamento. Além disso, o inversor de frequência do manual é diferente do inversor de frequência da bancada, logo não tem como os alunos e professores utilizarem o inversor sem as informações corretas.

Para trabalhos futuros devem ser realizados os outros experimentos da bancada, como expansão e contração súbita e, principalmente, os experimentos que usam o inversor de frequência. Recomenda-se a correção a respeito dos vertedouros, devendo eles serem trocados para que não haja vazamentos nos próximos experimentos.

REFERÊNCIAS

- BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. Pearson Educación, 2008.
- CASTRO, Vinicius Renno. **Reflexões sobre a saúde mental do estudante universitário: estudo empírico com estudantes de uma instituição pública de ensino superior**. Revista gestão em foco, v. 9, n. 1, p. 380-401, 2017.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, Helena MM. **Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?**.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos**. 1ª. Edição. 2007.
- 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.
- DE LIMA YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy; FURTADO, Maria Aparecida Silva. **Dificuldades na leitura e na escrita de textos científicos de estudantes universitários do interior do Amazonas**. Educação Online, v. 13, n. 28, p. 108-125, 2018.
- ENGINEERING TOOLBOX. **Types of Fluid Flow Meters**. 2003. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/flow-meters-d_493.html. Acesso em: 10 de novembro de 2020.
- FOX, Robert W. et al. **Fluid mechanics**. Hoboken. 2012.
- 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.
- SANTOS, L. **Sistema de Ensaio para Mecânica dos Fluidos**. Nova Didacta, 2016.