

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**  
**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOILSON BENTES DA SIVA FILHO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM TUBO DE VENTURI ACOPLADO A UM  
RESERVATÓRIO PARA MEDIÇÃO DA VAZÃO E PRESSÃO DE  
FLUIDOS UTILIZANDO A EQUAÇÃO DE BERNOULLI**

Manaus

2017

JOILSON BENTES DA SILVA FILHO

DESENVOLVIMENTO DE UM TUBO DE VENTURI ACOPLADO A UM  
RESERVATÓRIO PARA MEDIÇÃO DA VAZÃO E PRESSÃO DE  
FLUIDOS UTILIZANDO A EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Mecânica pela  
Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. MSc. Adalberto Gomes de  
Miranda

Co-orientador: Prof. Dr. Edvam de Oliveira  
Nunes

Manaus

2017

Bentes da Silva Filho, Joilson

Desenvolvimento de um Tubo de Venturi acoplado a um Reservatório para Medição da Vazão e Pressão de Fluidos utilizando a Equação de Bernoulli / Joilson Bentes da Silva Filho. -- Manuas, 2017.

51 f.

Orientador: MSc. Adalberto Gomes de Miranda.

Coorientador: Dr. Edvan De Oliveira Nunes.

Trabalho de Conclusão de Curso da Graduação de Engenharia Mecânica --Universidade do Estado Amazonas, 2017.

1. Tubo De Venturi 2. Sistema Fluido 3 Equação de Bernulli I. Gomes de Miranda, MSc. Adalberto. II. De Oliveira Nunes, Dr. Edvan. III. Título.

JOILSON BENTES DA SILVA FILHO

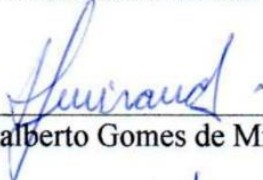
DESENVOLVIMENTO DE UM TUBO DE VENTURI ACOPLADO A UM  
RESERVATÓRIO PARA MEDIÇÃO DA VAZÃO E PRESSÃO DE  
FLUIDOS UTILIZANDO A EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Mecânica pela  
Universidade do Estado do Amazonas.

Aprovado em

14 / 12 / 2017

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Adalberto Gomes de Miranda, Prof. MSc.



Co-orientador: Edvam de Oliveira Nunes, Prof. Dr.



Avaliador: Melquizedec Arcos Rodrigues, Prof. MSc.



Avaliador: Marcos Dantas dos Santos, Prof. MSc.

Manaus

2017

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus por mas essa vitória, pela oportunidade de realizar meu sonho de fazer o curso de Engenharia Mecânica, estar com saúde e força para superar todas as dificuldades.

A minha família pelo amor, carinho, incentivos, oração e apoio incondicional, e em especial a minha mãe, que sempre ao meu lado esteve durante todo esse processo.

Ao professor MSc. Adalberto Gomes de Miranda pela confiança, dedicação, sempre ao meu lado me orientando e ensinando.

Ao professor MSc. Charles Luiz Silva de Melo por ter cedido o laboratório do GRAEST para construção do protótipo.

Agradeço minha namorada pela compreensão e companherismo.

Agradeço toda a equipe médica do HEMOAM (Fundação Hospitalar de Hematologia e Hemoterapia do Amazonas) e do Hospital Amaral de Carvalho por todos os cuidados que tiveram comigo durante meu tratamento de saúde.

Agradeço a todos meus Amigos que me ajudaram a construir esse projeto.

A todo corpo docente e discente da Universidade do Estado do Amazonas pelos conhecimentos repassados durante o curso.

Finalmente, agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram de alguma forma para a minha formação.

## Resumo

Visando obter inicialmente um instrumento de medição de vazão e pressão de fluidos por meio de um dispositivo de fácil construção e material de baixo custo, para serem montados e acoplados a um tanque de acrílico medindo 50x50x50 cm e construído especialmente para esse fim, este trabalho de conhecimento científico contribuiu para que o modelo do protótipo construído possa ser utilizado como material didático em aulas de sistemas fluidos para laboratórios de engenharias. Este trabalho se propôs a desenvolver um Tubo de Venturi clássico, com base de cálculos e desenvolvimentos derivados da equação de Bernoulli. A bancada foi composta por dois medidores do tipo colunas manométricas conectadas no Tubo de Venturi, tubulações e um tanque construídos no Laboratório do GRAEST (Grupo de Robótica e Automação da Escola Superior de Tecnologia), espaço físico que foi disponibilizado na EST e pertencente a UEA (Universidade do Estado do Amazonas). A leitura da vazão ideal do tanque foi obtida pela diferença entre as pressões em dois pontos do tubo de Venturi, utilizando-se pipetas volumétricas, como recurso mecânico, para determinar as alturas das pressões dos fluidos que passaram naqueles pontos. Os resultados de pressão, velocidade e vazão medidos neste equipamento ficaram próximos do esperado, tendo em vista, a busca do alinhamento dos tubos e da precisão dos cálculos durante os testes, que podem ser observados nos gráficos apresentados, que foram elaborados no programa Excel. A eficiência do equipamento ficou em 52,32%, que é um resultado muito satisfatório para funcionamento de equipamentos desse tipo.

Palavras-chave: Tubo de Venturi. Equação de Bernoulli. Colunas Manométricas.

## **Abstract**

Aiming initially to obtain a fluid flow and pressure measurement instrument by means of an easily constructed device and low cost material, to be assembled and coupled to an acrylic tank measuring 50x50x50 cm and specially constructed for this purpose, scientific knowledge has contributed to the fact that the built prototype model can be used as didactic material in classes of fluid systems for engineering laboratories. This work has proposed to develop a classic Venturi Tube, based on calculations and developments derived from the Bernoulli equation. The bench was composed of two gage-type meters connected in the Venturi Tube, pipes and a tank built in the Laboratory of GRAEST (Group of Robotics and Automation of the School of Technology), physical space that was made available in EST and belonging to UEA (University of the State of Amazonas). The ideal tank flow was obtained by the difference between the two-point pressures of the Venturi tube, using volumetric pipettes, as a mechanical resource, to determine the pressure heights of the fluids that passed at those points. The results of pressure, velocity and flow measured in this equipment were close to the expected one, in view of the search of the alignment of the tubes and the precision of the calculations during the tests, which can be observed in the graphs presented, which were elaborated in the program Excel. The efficiency of the equipment was 52.32%, which is a very satisfactory result for the operation of equipment of this type.

Keywords: Venturi tube. Bernoulli equation. Manometric Columns.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 – DEFINIÇÕES DO PROBLEMA.....	13
1.2 - HIPÓTESES: .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	13
1.3.1 Objetivo Geral .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
1.4. JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1 CONCEITO DE PRESSÃO .....	17
2.1.1 Pressão Atmosférica.....	18
2.1.2 Diferença de Pressão num Fluido.....	19
2.1.3 Unidade de Pressão .....	19
2.2 MOVIMENTOS VARIADOS.....	20
2.3 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE.....	22
2.4 VAZÃO .....	23
2.5 EQUAÇÃO DE BERNOULLI.....	23
2.6 MEDIDOR DE VENTURI.....	28
2.7 CARACTERÍSTICAS DO ACRÍLICO .....	32
2.7.1 Principais Benefícios.....	32
2.7.2 Propriedades Físicas.....	32
2.7.3 Segurança e Precaução, Contra Incêndios.....	33
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	35
3.1 MÉTODO .....	35
3.2 TÉCNICAS .....	35
3.3 PROCEDIMENTOS .....	36
<b>4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS</b> .....	40
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	45
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	46
<b>7. APÊNDICES</b> .....	48



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Reservatório com água sendo pressionado pela atmosfera .....	18
Figura 2.	Reservatório com água .....	21
Figura 3.	Reservatório com água em Regime: (a) Permanente e (b)Variado.....	21
Figura 4.	Representação do tubo de escoamento .....	22
Figura 5.	Tubo de ensaio 1.....	24
Figura 6.	Tubo de ensaio 2.....	24
Figura 7.	Tubo de Venturi.....	28
Figura 8.	Tubo de Venturi em corte.....	30
Figura 9.	Tubo de Venturi com redução de diâmetro.....	31
Figura 10.	Colagem, montagem e secagem da caixa de acrílico.....	37
Figura 11.	Construção do Tubo de Venturi.....	37
Figura 12.	Dimensionamento do Tubo de Venturi.....	38
Figura 13.	Desenho do Tubo de Venturi com as dimensões.....	38
Figura 14.	Sistema Fluido Montado .....	39
Figura 15.	Ensaio do Sistema Fluido Montado .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades Físicas do Acrílico. ....	33
Tabela 2. Propriedades Relacionadas às Temperaturas. ....	34
Tabela 3. Dados obtidos através de cálculos. ....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Grandezas Medidas em Processos Industriais. ....	14
Gráfico 2. Colunas Manométricas. ....	42
Gráfico 3. Velocidade do fluidos. ....	43
Gráfico 4. Variação de Pressão do Fluido. ....	43
Gráfico 5. Vazão de saída do Fluido. ....	44

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$	Massa específica do fluido [kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	Aceleração da gravidade [m/s <sup>2</sup> ]
$\beta$	Razão entre o diâmetro [adimensional]
$Cd$	Coefficiente de descarga [adimensional]
$Q$	Vazão volumétrica [m <sup>3</sup> /s]
$v$	Velocidade do fluido [m/s]
$h$	Altura da coluna da água [m]
$y$	Altura da coluna de água [m]
$\eta$	Eficiência [%]
$N$	Potência [W]
$p$	Pressão [Pa]
$h1$	Altura da coluna d'água inclinada do medidor [m]
$h2$	Altura da coluna d'água inclinada do medidor [m]
$Hres$	Altura medida do nível de água no reservatório [cm]
$\Delta h$	Diferença de altura da coluna de água inclinada [m]
$Dt$	Diâmetro de obstrução [m]
$Dl$	Diâmetro da canalização [m]

## 1. INTRODUÇÃO

O primeiro cientista a demonstrar o princípio de funcionamento do tubo de Venturi, foi Giovanni Batista Venturi, em 1797, sendo que o primeiro cientista a fazer medições com o tubo de Venturi foi Clemens Herschel em 1887, que chamou ao tubo de Venturi, medidor de Venturi. Assim foram feitas algumas modificações no interior do tubo, com a finalidade de manter constante o coeficiente de descarga, o desenho do tubo de Venturi padrão mantém-se ainda hoje muito parecido ao projetado por Herschel originalmente. O Tubo de Venturi insere-se nos medidores em que o que é medido é a velocidade, através da medição direta da pressão diferencial (DELMÉE, 2003).

O tubo de Venturi, também conhecido como venturini, foi desenvolvido em 1791 pelo cientista italiano Venturi, sendo utilizado como medidor da velocidade de escoamento e da vazão diferencial de pressão ou, em outros termos, é um medidor de vazão por obstrução de área. A diferença de pressão citada é produzida por alguns efeitos inerciais como aceleração do escoamento devido à obstrução que a apresenta e também devido à ação de efeitos viscosos que acarreta na perda de carga (GUIMARÃES et al, 2017).

O efeito Venturi ocorre, quando em um sistema fechado, o fluido em movimento constante dentro de um duto uniforme se comprime momentaneamente ao encontrar uma zona de estreitamento diminuindo sua pressão e conseqüentemente uma alta velocidade no fluido, e se nesse ponto introduzir um terceiro duto ou uma sonda, encontrará uma sucção do fluido contido nessa ligação (WIKIPEDIA – EFEITO VENTURI, 2017).

O Venturi é um medidor deprimogênio, isto é, mede a vazão por diferencial de pressão devido a redução de sua seção. A partir das propriedades locais como pressão, temperatura, massa específica, se tornam possíveis para a determinação das propriedades globais, em que uma das questões é o caso da vazão mássica (DELMÉE, 2003).

No presente trabalho é feito um estudo sobre a construção de um tubo de Venturi, com o objetivo de construir o equipamento e medir a vazão volumétrica de água em uma tubulação acoplado a tanque de água com parâmetros determinados. E assim demonstra através da fórmula da continuidade como se encontra a pressão. Escolheu-se este tipo de medidor deprimogênio pela sua característica de impor a menor perda de carga dentre todos os equipamentos desta família.

O projeto consiste em um painel com um reservatório onde há a descarga do líquido. A descarga é basicamente feita devido a uma elevação do reservatório até uma válvula reguladora de vazão e segue até a tubulação para indicação de pressão. O líquido que passara pelo medidor será desprezado em outro reservatório, podendo ser reutilizado de novo para novos testes de vazão (FRANÇA, 2009).

## 1.1 DEFINIÇÕES DO PROBLEMA

Como aplicar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas sobre escoamentos de fluidos e realizar experimentos para analisar as diferentes pressões num reservatório com água, se não há material para estudo no laboratório?

Como compreender os cálculos através das equações de Bernoulli, teoricamente, se as dificuldades estão no entendimento das vazões e das cargas de pressões dos fluidos, tendo em vista que não há um experimento em laboratório?

## 1.2 HIPÓTESES:

**H1:** Para comprovar o estudo com o experimento de um tubo de Venturi necessita-se explorar a equação de Bernoulli e medir a vazão real da tubulação baseando-se na queda de pressão provocada pelo estrangulamento.

**H2:** O estudo do efeito Venturi é de suma importância para a utilização em misturas de uma pulverização fina de um líquido em um gás, comparado aos efeitos de um carburador de um veículo automotor a combustão.

**H3:** Com o experimento de Venturi montado no espaço físico do laboratório, ajudaria na forma de ensinar o aluno a compreender melhor os fenômenos físicos estudados e analisados, contribuindo com mais facilidade para desenvolvimento das equações relativas ao escoamento dos fluidos.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Dimensionar um sistema fluido contendo reservatório com tubo de Venturi acoplado para simulação de vazão e pressão.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Dimensionar uma caixa de acrílico para ser usada no ponto de partida do fluido para cálculos de vazão e pressão utilizando a equação de Bernoulli.

Desenvolver um tubo de Venturi para análises da pressão do fluido durante a passagem pela parte mais estreita do tubo.

Contribuir para o desenvolvimento de estudos e trabalhos futuros em laboratório de mecânica dos fluidos.

Elaborar uma instrução para realização do experimento.

### 1.4. JUSTIFICATIVA

A escolha do tema: “Desenvolvimento de um tubo de Venturi, para medição de vazão utilizando a equação de Bernoulli”, que faz parte da disciplina mecânica dos fluidos, da área de energia em engenharia mecânica, se pauta na necessidade de se compreender os seus conteúdos pelas teorias, através de problemas e de suas aplicações matemáticas pelas equações, que envolvem o teorema de Bernoulli e a aplicação de vazão de um fluido pelo tubo de Venturi.

A vazão é a terceira grandeza mais medida nos processos industriais, conforme é observado no Gráfico 1. As aplicações são muitas, indo desde aplicações simples, como a medição de vazão de água em estações de tratamento e residências, até medições de gases industriais e combustíveis, em que passa ainda por medições mais complexas. A escolha correta de um determinado instrumento para medição de vazão depende de vários fatores, dentre eles a baixa perda de carga.

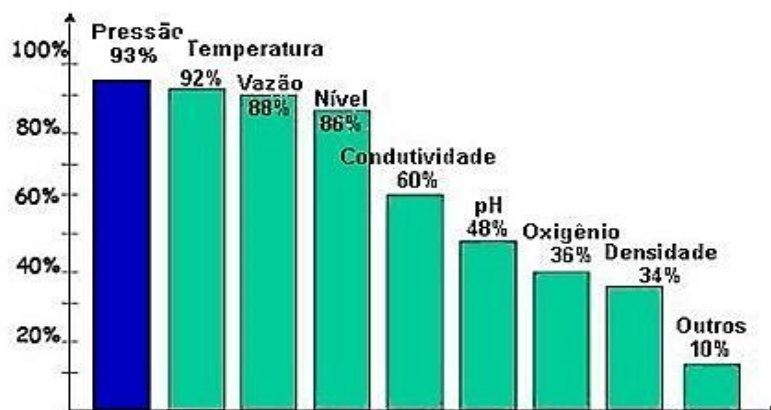


Gráfico 1. Grandezas medidas em processos industriais.

Fonte: Revista Control Engineering (2002).

O tubo de Venturi serve para medir a velocidade do escoamento e a vazão de um líquido incompressível através da variação da pressão durante a passagem deste líquido por um tubo de seção mais larga e depois por outro de seção mais estreita. Assim esse efeito explica pelo princípio de Bernoulli e no princípio da continuidade da massa, se o fluxo de um fluido é constante. Sua área de escoamento diminui então necessariamente sua velocidade aumenta (WIKIPEDIA, 2017).

Um tubo de Venturi é um dispositivo inicialmente desenhado para medir a velocidade de um fluido aproveitando o efeito Venturi. Entretanto, alguns se utilizam para acelerar a velocidade de um fluido obrigando-o a atravessar um tubo estreito em forma de cone.

Com estudo relacionado ao efeito Venturi, em que aplica-se a fórmula de Bernoulli, que é utilizado para descrever o comportamento dos fluidos em movimento no interior de um tubo, pode encontrar a velocidade desse fluido por meio da equação:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (01)$$

As variáveis da equação da continuidade,  $P_1$ ,  $v_1$  e  $h_1$  referem-se à pressão, velocidade e altura do fluido localizado no Ponto 1 e as variáveis  $P_2$ ,  $v_2$  e  $h_2$  referem-se à pressão, velocidade e altura do fluido passando no Ponto 2.

Ao saber as pressões existentes em dois pontos específicos do tubo de Venturi é possível descobrir a velocidade média do fluido nestes pontos, e então chegar indiretamente ao valor da vazão existente na tubulação avaliada, através da utilização das equações acima.

Esta aplicação na prática pode ser observada e analisada através da demonstração de vazão pelo tubo de Venturi que será projetado e construído de forma simples e simultaneamente eficiente no laboratório da EST/UEA, podendo ser utilizado para outros ensaios com alunos e professores, em que estes podem utilizá-la como forma de metodologia em aulas práticas de mecânica dos fluidos.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Todo projeto que se esta relacionada à utilização da água tem como ponto de partida o conhecimento ou estimativa do volume da água disponibilizada na unidade de tempo. E muito arriscado se inicia um projeto baseado em uma estimativa duvidosa da disponibilidade da água (LEOPOLDO & SOUZA, 1979).

Galileu Galilei (1564 – 1642), tentando entender o princípio de funcionamento do sifão, utiliza o conceito de velocidade virtual: Uma pequena massa de líquido (contida em um tubo estreito) pode ficar em equilíbrio com uma grande massa de líquido (contida em um grande recipiente), pois uma pequena descida do nível do líquido no recipiente corresponde a uma grande subida do líquido no tubo. Estas observações e inferências permitiram Galileu apresentar uma nova abordagem para os conceitos da hidrostática de Arquimedes, pois o próprio Arquimedes usara outro procedimento; ele partiu de considerações estáticas, propriamente ditas, ao passo que Galileu, trabalhando com o conceito de velocidade virtual, utilizou um raciocínio com base na cinemática (DUGAS, 1988, p. 143).

Galileu defendeu a tese de Arquimedes, segundo a qual o corpo flutua ou não, dependendo de sua densidade ser menor ou maior que a do meio. Galileu, além de trabalhar com os conceitos de peso absoluto e peso relativo, define e faz uso do conceito de momento, entendido como o produto do peso do corpo pela sua velocidade. Galileu ainda não dispunha do conceito de massa, independente do peso, porque não concebia a grandeza peso como o produto da massa pela aceleração, como a mecânica newtoniana posteriormente iria estabelecer (DUGAS, 1988, p. 143).

Benedetto Castelli (1577 – 1644) foi autor de um tratado sobre medições de água corrente. Ele utiliza a equação da continuidade de Leonardo da Vinci. Na época de Galileu, um construtor projetou para os jardins do duque de Toscana, uma bomba aspirante muito elevada, mas verificou-se que a água não podia ser aspirada a uma altura superior a 10 m. A explicação foi dada por um estudante de Galileu, Evangelista Torricelli (1608-1647), que foi seu sucessor na Academia de Florença. Torricelli afirmou: “Vivemos no fundo de um oceano de ar, que, conforme mostra a experiência, sem dúvida tem peso”, devendo, portanto, exercer sobre um corpo uma pressão atmosférica (NUSSENZVEIG, 2002, p. 9).

As condições de serviço dos medidores de vazão são extremamente diversificadas. Os fluidos medidos podem ser líquido ou gasoso, às vezes viscoso, abrasivos, corrosivo ou carregado de impureza. As pressões e temperatura podem corresponder à condição criogênicas as de vapores superaquecidos (DELMÉE, 2003).

Portanto, os fluidos são líquidos e gases, sendo que estes ainda se distinguem dos primeiros por ocuparem todo recipiente, enquanto o líquido apresenta uma superfície livre.

Para se medir grandes vazões em condutos fechados, utiliza três tipos de medidores:

- 1) por diferencial de pressão;
- 2) tipo turbina;
- 3) estáticos ou eletrônicos.

No primeiro tipo, três medidores podem ser incluídos nesta categoria: Venturi, bocas e placas de orifício (PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE AGUA, 2003).

Os medidores do tipo diferencial de pressão são 50% dos equipamentos mais utilizado em condutos forçados. O medidor com melhor desempenho entre os outros similares e o Venturi, na categoria medidores de obstrução (SCHNEIDER, 2009).

## 2.1 CONCEITOS DE PRESSÃO

Na Física estuda-se um ramo bastante interessante: a Hidrostática, responsável por estudar as propriedades que estão ligadas aos fluidos (lembrando que um fluido pode ser um gás ou um líquido), que, por sua vez, estão sujeitos à ação da força da gravidade. É interessante ressaltar que um fluido é uma substância que pode escoar, ou seja, ele não apresenta forma própria e assume sempre a forma de qualquer recipiente no qual se encontra inserido (Mundo da Educação, 2015).

Imagine que um baú é colocado sobre um piso, de modo a ficar apoiado sobre sua face de maior área. Seu peso fica distribuído sobre toda a superfície em que se apoia. Se o baú for virado e apoiado sobre uma das faces menores, seu peso se distribuirá sobre uma área de contato menor. O peso ficará mais concentrado. Se fosse possível apoiar o baú apenas sobre um de seus vértices, seu peso ficaria concentrado quase que sobre um único ponto.

No conceito de pressão, diz-se que é uma grandeza Física que só existe e tem sentido, quando existe uma força aplicada a algum local. A distribuição desta força neste local que denomina esse conceito.

Matematicamente, a pressão pode ser expressa da seguinte forma:

$$P = \frac{F}{A} \quad (02)$$

onde F é força exercida, A e área onde a força esta sendo aplicada.

### 2.1.1 Pressão atmosférica

É um fato muito conhecido, por parte dos mergulhadores, que à medida que mergulha-se mais fundo no mar a pressão aumenta. Qualquer objeto imerso num fluido fica submetido a uma pressão e essa pressão aumenta na medida em que o submergimos buscando profundidades maiores. A Figura 1 ilustra como a pressão atmosférica atua sobre um volume de fluido tanto na superfície como em um determinado ponto.

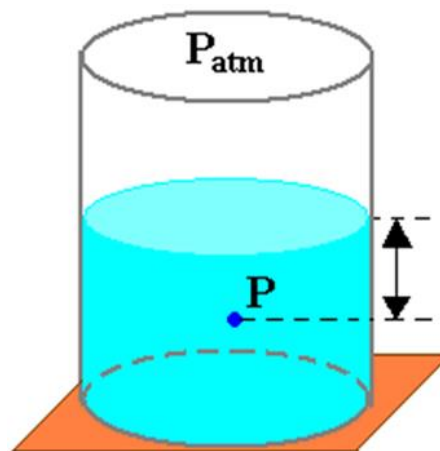


Figura 1. Reservatório com água sendo pressionado pela atmosfera.  
Fonte: Mundo Educação (2017)

Os seres vivos na superfície da Terra (bem como os inanimados) experimentam uma pressão. Essa pressão decorre do fato de estarmos submersos dentro de um fluido que é uma mistura de gases. Essa mistura de gases que envolvem a Terra é a sua atmosfera. Por isso, a pressão desse fluido é conhecida como pressão atmosférica (MARQUES e UETA, 2007).

A pressão atmosférica na superfície da Terra, isto é, ao nível do mar, é conhecida experimentalmente e seu valor é de 101,325 kPa.

$$P_{atm} = 101,353 \text{ kPa}$$

À medida que atingimos altitudes maiores, a partir do nível do mar, a pressão atmosférica se reduz. Esse fato é muito conhecido dos alpinistas e paraquedistas (MUNDOWEB, aceso 2017).

### 2.1.2 Diferença de pressão num fluído

É fácil entender por que a pressão varia com a profundidade num fluído. A pressão varia como resultado da força peso (por unidade de área) exercida pela parte do fluído que está acima. À medida que se mergulha, aumenta-se a quantidade de fluído acima de nós e, conseqüentemente, a pressão.

Na determinação da variação da pressão do fluído, deve-se observar que o mesmo tem uma densidade constante.

Sejam dois pontos 1 e 2 dentro do fluído, então pode-se imaginar uma coluna de fluído de altura  $h$  e área  $A$ .

O peso do fluído acima da altura do ponto 2 e até a altura associada ao ponto 1 é:

$$mg = \rho Ahg \quad (03)$$

Portanto, a pressão adicional ( $P_2 - P_1$ ), devido ao peso do fluído acima, é:

$$\Delta p = \frac{\rho g Ah}{A} = \rho gh \quad (04)$$

Logo, a pressão num ponto a uma altura  $h$  abaixo de 1 será dada por:  $P_2 - P_1 = \rho gh$ , onde  $P_1$  é a pressão no ponto 1. A equação também é chamada de pressão hidrostática.

### 2.1.3 Unidades de Pressão

A pressão possui vários tipos de unidade. Os sistemas de unidade MKS, CGS, gravitacional e unidade do sistema de coluna de líquido são utilizados tendo como referência a pressão atmosférica e são escolhidas, dependendo da área de utilização, tipos de medida de pressão, faixa de medição, etc.

Em geral são utilizadas para medição de pressão, as unidades em Pa, N/m<sup>2</sup>, kgf/cm<sup>2</sup>, mmHg, mmH<sub>2</sub>O, lbf/pol<sup>2</sup>, atm e bar.

A seleção da unidade é livre, mas geralmente deve-se escolher uma grandeza para que o valor medido possa estar na faixa de 0,1 a 1000. Assim, as sete unidades anteriormente mencionadas, além dos casos especiais, são necessárias e suficientes para cobrir as faixas de pressão utilizadas no campo da instrumentação industrial (INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA, 1999, p. 41).

## 2.2 MOVIMENTOS VARIADOS

Um corpo sólido tem, geralmente, volume e forma definidos, que se alteram, somente, em resposta a forças externas. Os líquidos também possuem volume definido, mas não a forma. Mantendo seu volume, amolda-se ao recipiente que o contém. Gases não possuem forma e volume definidos, expandindo-se, até ocupar todo o volume do recipiente que o contém. Líquidos e gases têm em comum, devido à facilidade de deformação, a propriedade de poderem se escoar ou fluir facilmente, originando dessa forma o nome fluido. (NUSSENZVEIG, 2002, p. 1).

Porém, existe toda uma gama de substâncias com propriedades intermediárias entre sólidos e fluidos, dependendo da natureza e da magnitude das forças, bem como da escala de tempo em que o escoamento sob a ação de esforços tangenciais se torna visível: massa de pão, gelatina, piche, entre outras. O piche, por exemplo, se fratura como um sólido sob a ação de um impacto brusco, mas também se escoar como um fluido, embora com extrema lentidão. (NUSSENZVEIG, 2002, p. 2).

O movimento de fluidos reais é muito complexo e ainda não entendido completamente, são necessárias equações de extrema complexidade para alcançarmos resultados satisfatórios. Portanto, em seu lugar, discute-se o movimento de um fluido ideal, que é mais simples de manipular matematicamente, mas que, ainda assim, fornece resultados úteis. Existem algumas suposições para caracterizar os fluidos ideais. Tais informações podem ser adquiridas com detalhes em HALLIDAY, 2006, p. 70-71.

Delmée afirma que o escoamento de fluido numa tubulação pode ser caracterizado por um dos seguintes regimes: o laminar e o turbulento.

A corrente laminar se caracteriza por um escoamento em camadas planas ou concêntricas, dependendo da forma do canal ou do tubo, sem variação de velocidade, para determinar vazão.

A corrente turbulenta, ao contrario é caracterizada por uma mistura intensa do liquido e oscilações de velocidade e pressões (DELMÉE, 2003).

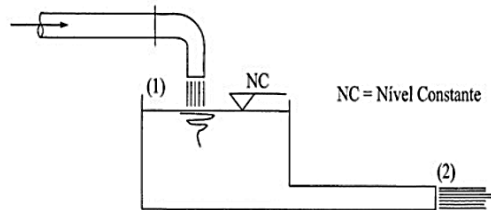


Figura 2. Reservatório com água.  
Fonte: Brunett (2008)

Neste tanque a quantidade de água que entra em (1) é idêntica à quantidade de água que sai por (2); assim todas as configurações do fluido, como velocidade, massa específica, pressão etc., será em cada ponto a mesma (BRUNETT, 2008).

A figura (2) mostra um reservatório em que apesar de haver uma descarga do fluido, o nível não varia sensivelmente com o passar do tempo, assim o regime pode ser considerado permanente (BRUNETT, 2008).

A figura (3) mostra o reservatório em que a seção transversal é relativamente pequena em face da descarga do fluido. Ocasionalmente a variação com o passar do tempo, assim havendo uma variação sensível da configuração do sistema, caracterizando um regime variado (BRUNETT, 2008).

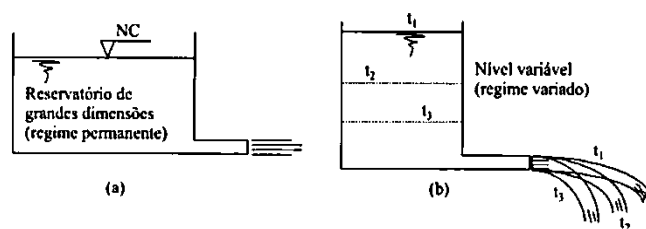


Figura 3. Reservatório com água em Regime:  
(a) Permanente e (b) Variado.  
Fonte: Brunett (2008).

Para ser calculado o fluido, precisa ter conhecimento de duas características importante: sua massa específica (ou em alternativa, o peso específico ou ainda a densidade relativa) e sua viscosidade.

### 2.3 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Quando uma pessoa está jogando água nas plantas do jardim ou lavando um carro com o auxílio de uma mangueira, é comum utilizarmos o dedo polegar para fechar um pouco a saída de água e, então, aumentar a velocidade de saída do líquido. A demonstração da explicação para esse fato é feita a partir da equação da continuidade.

Essa equação relaciona a velocidade de escoamento de um fluido e a área disponível para tal escoamento. A partir da imagem abaixo, perceba que o caminho feito pelo fluido possui duas áreas diferentes:  $A_1 > A_2$ . Imagine, portanto, que, em um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), um volume ( $\Delta V$ ) do fluido entre pela área  $A_1$ . Adotando o fluido como incompressível, deve-se assumir que o mesmo volume ( $\Delta V$ ) deverá sair pela extremidade da área  $A_2$ .

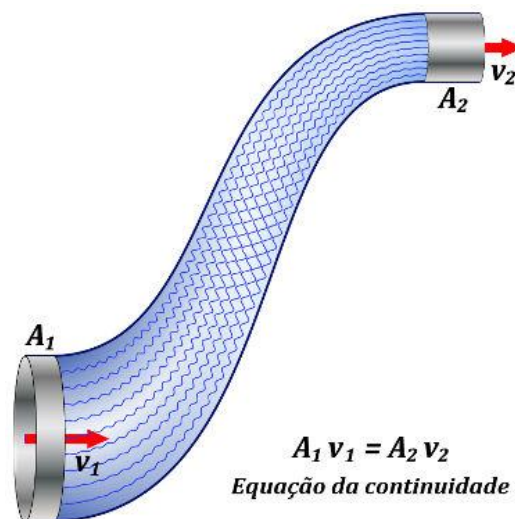


Figura 4. Representação do tubo de escoamento:  
Fonte: Brunett (2008).

Delmée (2003) cita que o líquido que preenche completamente o tubo e também que os efeitos da contração são desprezíveis. O fato que o líquido preenche completamente o tubo, permite aplicar à equação de continuidade que a vazão  $Q$  é a mesma para todas as seções do tubo:

$$Q = \rho \cdot v_1 h_1 = \rho \cdot v_2 h_2 \quad (05)$$

Assim, observa-se que, quanto menor for a área de escoamento disponível para um fluido, maior será a sua velocidade e vice-versa. Como exemplo final, pode-se imaginar o “fio” de água formado por uma torneira meio aberta. Repare que, quanto mais baixo se olha, mais fino estará o filete de água, pois, com a ação da aceleração da gravidade, a velocidade do fluido aumenta, diminuindo a sua área de escoamento.

## 2.4 VAZÃO

As equações para o cálculo da vazão podem ser obtidas genericamente para os três tipos de medidores apresentados. Aplica-se a Equação da Conservação da Massa, bem como a Equação da Conservação da Energia, sendo esta última na sua forma simplificada, que é a Equação de Bernoulli. Assim para o escoamento através de uma dedução de área, considerando-o ideal e tomando uma linha corrente entre os pontos 1 e 2 (MEDIÇÃO DE VAZÃO - C&I, 2015).

A vazão pode ser então obtida, multiplicando-se a velocidade pela respectiva área da tubulação. A vazão no caso é uma vazão ideal, pois obtida através da equação de Bernoulli, para o escoamento ideal.

$$Q = V_2 \cdot A_2 \quad (06)$$

As unidades são definidas  $m^3/s$ ,  $L/s$ ,  $m^3/h$ ,  $L/min$ , ou qualquer outra unidade de volume ou capacidade por unidade de tempo (BRUNETT, 2008).

Tomando-se o caso mais extremo, em que o ponto 2 está situado a vena contracta, pode-se definir coeficiente de contração da veia principal, que é a razão entre a área da vena contracta  $A_2$ , e a área de passagem do medidor,  $A_m$ :

$$C_1 = \frac{A_2}{A_m} \quad (07)$$

## 2.5 EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Glauber Kitor (2014) relata que para analisar a formula de Bernoulli, existe três fatores que podem interferir no escoamento dos fluidos em questão:

1) A pressão que age nas extremidades da tubulação podem ser diferentes uma da outra.



2) se houver variação na área de secção transversal retarda tubulação acarreta variação na velocidade do fluido.

3) A altura da primeira extremidade pode ser diferente da altura da segunda extremidade.

Observe a figura (5)

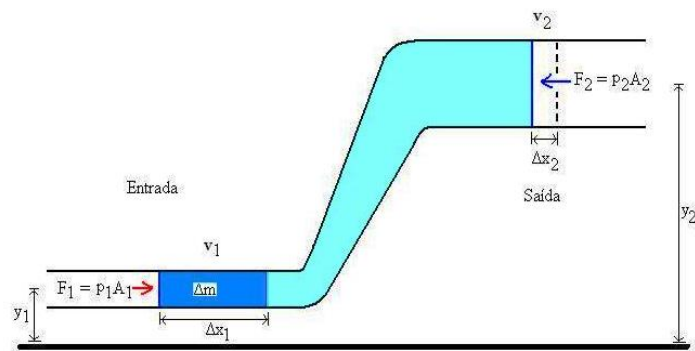


Figura 5. Tubo de Ensaio 1.  
Fonte: InfoEscola (2017).

Observe a Figura (6):

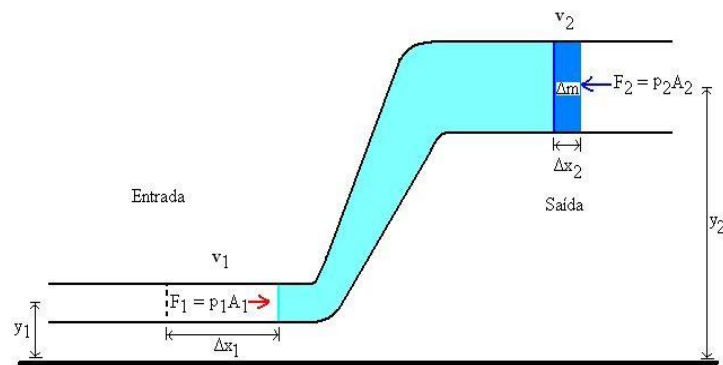


Figura 6. Tubo de Ensaio 2.  
Fonte: InfoEscola (2017).

A extremidade 1 encontra-se a altura  $y_1$ . Uma força  $F_1$  é aplicada sobre a área da secção transversal reta da extremidade 1 (entrada) do tubo. Esta pode ser escrita como o produto da pressão  $p_1$  com a área,  $A_1$ . O fluido sofre um deslocamento  $\Delta x_1$ . A quantidade de massa  $\Delta m$  possui velocidade  $v_1$ . Na extremidade direita (saída) atua uma força  $F_2$ , produto da pressão  $p_2$  pela área  $A_2$ . Esta força pode ser devido ao fluido existente à direita da parte do sistema que está sendo analisado. Ela é contrária à  $F_1$  (INFOESCOLA, 2017)

O trabalho resultante sobre o sistema pode ser obtido a partir das seguintes considerações:

a) O trabalho ( $W_1$ ) realizado na entrada do sistema fluido será dado por:

$$W_1 = F_1 \cdot \Delta x_1 \quad (08)$$

Sendo a força do Fluido igual:

$$F_1 = P_1 \cdot A_1 \quad (09)$$

Substituindo (04) em (05) obtém-se:

$$W_1 = P_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 \quad (10)$$

b) O trabalho ( $W_2$ ) realizado na saída terá uma força que age no sentido contrário em que o fluido está se deslocando. Desta forma, o trabalho  $W_2$  é dado por:

$$W_2 = F_2 \cdot \Delta x_2 \quad (11)$$

Onde força ( $F_2$ ) será:

$$F_2 = P_2 \cdot A_2 \quad (12)$$

Substituindo (5) em (6) obtém-se:

$$W_2 = P_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2 \quad (13)$$

Analisando o deslocamento efetivo de massa pode se concluir que o trabalho gravitacional, também contrário a força  $F_1$  é dado pelo produto da força gravitacional pelo deslocamento na vertical (INFOESCOLA, 2016). Este trabalho é dado por:

$$W_g = -F_g \cdot \Delta y \quad (14)$$

ou

$$W_g = -m \cdot g \cdot (y_2 - y_1)$$

Na situação em questão, não serão consideradas a ação das forças conservativas que agem no interior do fluido em questão, pois não comprometem a análise. Em decorrência disso, pode-se interpretar a variação da energia potencial como sendo zero  $\Delta E_p = 0$ .

O trabalho efetivo total externo será então:

$$W_{ext} = w_1 + w_2 + w_g \quad (15)$$

A energia cinética do sistema varia conforme a variação da velocidade da massa de fluido em azul escuro na figura, de forma que:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 \quad (16)$$

Aplicando o princípio de conservação da energia:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = w_{ext} \quad (17)$$

Sendo:

$$\Delta E_p = 0$$

Obtém-se:

$$\Delta E_c + 0 = w_{ext}$$

Logo:

$$\Delta E_c = w_1 + w_2 + w_g \quad (18)$$

Reescrevendo a equação:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 - p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2 - m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \quad (19)$$

Existe um termo semelhante nesta equação que é o volume ocupado pela porção de massa  $\Delta m$ , ou seja:

$$V_1 = A_1 \cdot \Delta x_1 \quad (20)$$

e

$$V_2 = A_2 \cdot \Delta x_2 \quad (21)$$

A densidade absoluta  $\rho$  da substância é dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (22)$$

Isolando  $V$  e escrevendo-o em função de  $A_1$  e  $\Delta x_1$  e  $A_2$  e  $\Delta x_2$ :

$$V_1 = \frac{m}{\rho} \quad (23)$$

$$V_2 = \frac{m}{\rho} \quad (24)$$

Como

$$V_1 = V_2 \quad (25)$$

A equação (19) pode ser reescrita como:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = p_1 \cdot \frac{m}{\rho} - p_2 \cdot \frac{m}{\rho} - m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \quad (26)$$

O termo " $m$ " pode ser removido se dividir a equação toda por " $m$ ":

$$\frac{1}{2} \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{p_1}{\rho} - \frac{p_2}{\rho} - g \cdot (y_2 - y_1)$$

É conveniente multiplicar a equação por " $\rho$ " e então

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_1 - p_2 - \rho \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \quad (27)$$

Reagrupando os termos:

$$-p_1 - \rho \cdot g \cdot y_1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = -p_2 - \rho \cdot g \cdot y_2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

ou

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot y_2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

Nota-se que esta equação é uma constante. Então os subscritos 1 e 2 não são relevantes e a equação de Bernoulli pode ser reescrita em sua forma mais geral:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constante} \quad (28)^1$$

No caso do escoamento do fluido na passagem do tubo de Venturi ocorre uma perda de carga, devido a viscosidade do fluido que perde energia no deslocamento pelas paredes do tubo e pela suas velocidades nos pontos 1 e 2, até o escoamento final. Pelo efeito de atrito nas paredes do tubo ocorre a perda de carga do fluido, que pode ser expressa pela equação de Bernoulli (BOABAID NETO, 2011):

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g \cdot h_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \Delta E \quad (29)$$

O termo " $\Delta E$ " equivale a perda de energia durante o atrito do fluido nas paredes do tubo dada por [J/kg] ou [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>].

## 2.6 MEDIDOR DE VENTURI

O tubo de Venturi ou venturímetro, como o próprio nome indica, foi inventado no século XVIII pelo cientista G. B. Venturi (1746-1822) e foi usado como medidor de vazão em 1886 por Clemens Herschel, constituído por um bocal convergente - divergente (Figura 7).

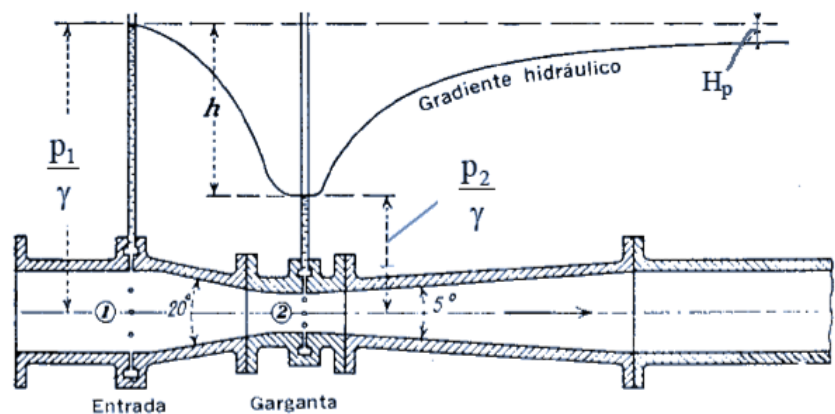


Figura 7. Tubo de Venturi.

Fonte: Escola da Vida, aula 3 Mec. Flu. (2017).

<sup>1</sup>As fórmulas contidas nas páginas 27, 28 e 29, foram extraídas da seguinte referência: HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. Física 2, volume 1, 5 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 384 p.

O medidor Venturi é constituído de uma seção a montante do mesmo diâmetro do conduto, que através de uma seção cônica convergente (ângulo geralmente de 20° a 30°); o leva a uma seção mínima, garganta do Venturi, e através de uma seção cônica divergente (ângulo geralmente de 5° à 14°) gradualmente retorna ao diâmetro do conduto.<sup>2</sup>

Este tubo é capaz de medir a velocidade de escoamento de fluido por diferenças de pressão proporcionais ao quadrado da vazão em massa. O tamanho do medidor deve ser escolhido de forma a acomodar a maior vazão esperada (DELMÉE, 2003).

O Venturi poderá ser fabricado usando qualquer tipo de material, deste que seja realizado e fique conforme as especificações recomendadas durante sua utilização (DELMÉE, 2003, p.258).

A construção e utilização de equipamentos de medição de vazão são bastante difundidas, dada a sua utilização ao longo dos últimos séculos. Em particular, segundo Delmeé, 2003, o bocal tipo Venturi tem suas características construtivas normatizadas desde 1939, ano em ocorreu o Congresso de Helsinque. Posteriormente, seus parâmetros construtivos foram incorporados pela norma internacional ISO 5167, publicada em 1981 e ratificada posteriormente pelos países-membros. No Brasil, a norma vigente é a NBR ISO 5167. Segundo esta norma, as dimensões de um bocal tipo Venturi clássico deve estar de acordo com as apresentada.

O tubo de Venturi é constituído por nós, um convergente e outro divergente, unidos por uma parte cilíndrica denominada "estrangulamento" de Venturi. A redução de diâmetro no "estrangulamento" cria uma perda de carga, dado que a pressão em um ponto do "estrangulamento" é inferior que a pressão antes do mesmo, que pode ser observada na Figura abaixo de um tubo de Venturi em corte (Ernesto et al, 2012).

---

<sup>2</sup>SANTOS, Alexandre. Relatório de ensaio tubo de venturi. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANKsAB/relatorio-ensaio-tubo-venturi#>, acesso em: 10/06/2017.

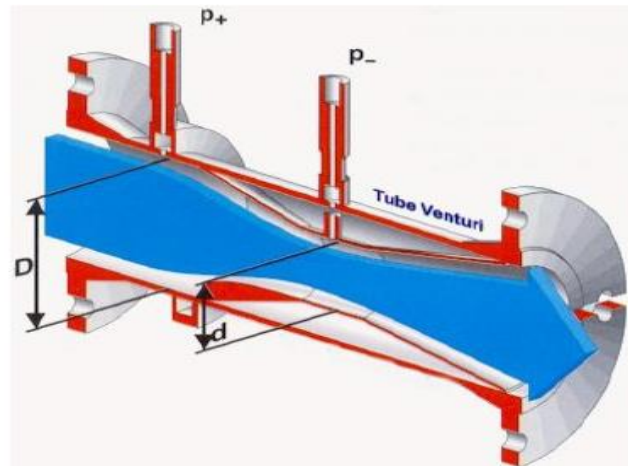


Figura 8: Tubo de Venturi em corte.  
Fonte: Ernesto et al (2012).

Aplicando a fórmula de Bernoulli a um fluido ao longo de uma linha corrente, é dada por:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot y_1 = \text{constante}$$

Sendo  $p$  a pressão,  $\rho$  é a massa específica do fluido,  $v$  a velocidade do escoamento,  $g$  a aceleração da gravidade e  $y$  a cota de altura do fluido.

Se o escoamento for permanente e desenvolvido sobre uma linha de corrente sem alteração de altura, a equação reduz: (BARCELOS, 2011).

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constante} \quad (30)$$

A velocidade e a pressão do fluido dentro do tubo variam de acordo com a conservação da massa (BARCELOS, 2011).

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (31)$$

Sendo  $V$  (m/s) é a velocidade do escoamento,  $A$  (m<sup>2</sup>) a área da seção transversal do duto,  $Q$  é a vazão volumétrica (m<sup>3</sup>/s) e  $\rho$  é a densidade do fluido (kg/m<sup>3</sup>).

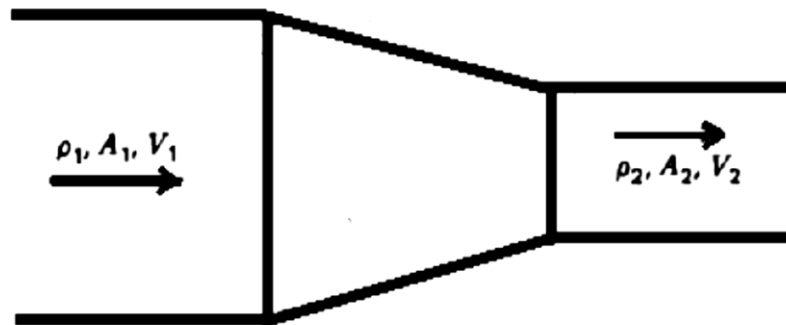


Figura 9. Tubo de Venturi com redução de diâmetro.  
Fonte: BARCELOS (2011).

Sabendo que existe pressão em dois pontos específicos do Venturi é possível descobrir a velocidade média do fluido nestes pontos, chegando indiretamente no valor da vazão da tubulação avaliada.

Juntado as equações (30) e (31), encontra uma expressão para a velocidade na obstrução  $V_2$  e conseqüentemente para a vazão  $Q$ , em função da diferença de pressão (BARCELOS, 2011).

$$v_2^2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right)} \quad (32)$$

Esta é a equação para cálculo de vazão volumétrica através de medidor em função da diferença de pressão  $\Delta p (p_1 - p_2)$ . A diferença de pressão  $\Delta p$  é obtida através de tomadas de pressão estativas medidas a montante e a jusante da obstrução.

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad (33)$$

Onde  $\Delta h$  representa a diferença de altura vertical entre o tubo montante e o tubo jusante da obstrução (BARCELOS, 2011).

Desce modo, a vazão será definida como:

$$Q = vA \quad (34)$$



Onde  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ ),  $v$  a velocidade ( $m/s$ ) e  $A$  ( $m^2$ ) é área da seção transversal do tubo.

## 2.7 CARACTERÍSTICAS DO ACRÍLICO

Acrílico ou polimetil-metacrilato (PMMA) é um material termoplástico rígido, transparente e incolor; também pode ser considerado um dos polímeros (fibra sintética) mais modernos e com maior qualidade do mercado, por sua facilidade de adquirir formas, por sua leveza e alta resistência. É também chamado vidro acrílico ou simplesmente acrílico (WIKIPEDIA, Acesso: 11/17).

As chapas de acrílico se destacam entre demais materiais graças às suas qualidades e propriedades excepcionais, que o tornam responsáveis pela ampla variedade de aplicações desde os materiais da construção, como: coberturas, domos, barreiras acústicas, parapeitos de sacadas, passando por artigos domésticos e de decoração, e até nos produtos de comunicação visual, entre eles: displays, luminosos, fachadas, brindes, etc. O acrílico também pode ser aplicado nas indústrias automotivas, aérea e náutica (BELMETAL, 2016).

### 2.7.1. Principais Benefícios:

- Cristalino e transparente: tem transmissão de luz de 92%, sendo superior ao vidro e aos demais plásticos;
- Melhor resistência ao impacto com menos da metade do peso que o vidro
- Naturalmente resistente aos raios UV;
- Durabilidade: cerca de 10 anos resistindo a sol, chuvas, tempestades e todo tipo de intempéries,
- Diversas possibilidades de espessuras e cores (transparentes, translúcidas e opacas);
- Facilidade de adquirir formas: pode ser cortado, perfurado, colado, moldado, entre outros;
- Excelente maleabilidade na termoformagem;
- Higiene: segurança total quando em contato com alimentos.

### 2.7.2. Propriedades Físicas

- Baixo peso: densidade de  $1,19 \text{ g/cm}^3$ . Uma chapa de  $2,0 \text{ m}^2$  com  $3 \text{ mm}$  de espessura possui massa de aproximadamente  $7,26 \text{ kg}$ ;

- Absorção d'água: Retém cerca de 2% de umidade e com essa absorção existe um aumento dimensional de no máximo 0,35%;
- Resistência à abrasão comparável à do alumínio, porém quando riscado é plenamente recuperado por polimento;
- Quebra: boa resistência e sem tendência à fragmentação; e
- Baixa resistência à fadiga.

O acrílico tem menor resistência à tração e menor rigidez que o vidro e o Policarbonato. A resistência à tração diminui gradualmente com o aumento da temperatura. Em aplicações como vidraças, as chapas acrílicas necessitam de espessura 1,5 a 2,5 vezes maiores que o vidro para manter a mesma rigidez. Possui boa resistência ao impacto, na quebra, e a chapa acrílica não estilhaça como o vidro. O acrílico quebra em pedaços não cortantes e é um material sensível ao entalhe (BELMETAL, 2016).

Tabela 1. Propriedades Físicas do Acrílico

<b>Propriedades</b>	<b>Grandezas</b>	<b>Ensaio*</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Física	Densidade	D792	1,19	g/cm <sup>3</sup>
	Absorção d'água (24 horas)	D570	0,265	%
Matemática	Resistência a tração	D638	630	kgf/cm <sup>2</sup>
	Módulo de elasticidade	D638	32800	kgf/cm <sup>2</sup>
	Alongamento (na ruptura)	D638	2,88	%
	Resistência a flexão	D790	1120	kgf/cm <sup>2</sup>
	Módulo de flexão	D790	30000	kgf/cm <sup>2</sup>
	Resistência a impacto	D256	1,81	Kgf.cm/cm
	Dureza Rockwell	D785	99,6	Escala M
	Resistência à compressão (no escoamento)	D695	1140	kgf/cm <sup>2</sup>
	Resistência ao Cisalhamento	D732	653	kgf/cm <sup>2</sup>
	Óptica	Transmissão Luminosa	D1003	92,5
Haze		D1003	0,124	%
Índice de Amarelecimento		E313	-1,06	
Índice de Refração			1,4528	
Elétrica	Resistência Dielétrica	D149	18,3	kV/mm
	Resistência ao Arco Elétrico	D495	>600	V

\*De acordo com as normas da ASTM

Fonte: BELMETAL (2016)

### 2.7.3 Segurança e Precauções Contra Incêndios

Chapas e resinas acrílicas são termoplásticos combustíveis e, por isso, devem ser tomadas as devidas precauções de proteção contra chamas e fontes de alto aquecimento. Em

geral, produtos acrílicos queimam rapidamente até desaparecerem, caso o fogo não seja apagado a tempo. Assim, deve-se avaliar adequadamente o uso destes materiais e recomenda-se que os códigos de construção civil sejam rigorosamente seguidos, assegurando a aplicação correta do material (BELMETAL, 2016).

Tabela 2. Propriedades Relacionadas às Temperaturas.

PROPRIEDADES	MÉTODO ASTM	VALORES	
		Cast	Extrusadas
Temperatura de autoignição	D 1929	490 °C	455 °C
Taxa de queima (para chapas de 3mm espessura)	D 635	30 mm/min	25mm/min
Densidade da fumaça	D 2843	10,3%	4,8%

Fonte: BELMETAL (2016).

As propriedades sobre flamabilidade de chapas acrílicas Fundidas ou “Cast” e Extrusadas (Tabela 2) estão assim relacionadas:

- Inflamável, porém com baixa emissão de fumaça quando queimado;
- A queima é semelhante à madeira dura

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODO

Nesse trabalho, adota-se o método dedutivo e quantitativo que parte de uma observação geral do local onde se realizará o experimento. Desta forma, a caracterização específica do projeto terá uma valorização de suas variáveis propostas de forma qualitativa (KIELING, 2015).

Segundo Emanuelle Oliveira (2017) um método qualitativo consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar uma unidade individual. Ele serve para responder questionamentos que o pesquisador não tem muito controle sobre o fenômeno estudado.

O desenvolvimento do trabalho será pela pesquisa de campo no laboratório de Mecânica, utilizando o sistema fluido construído para as medições de vazão, pressão e outras grandezas da mecânica dos fluidos.

No planejamento deste tipo de estudo, o primeiro passo a ser dado é no sentido de identificar as variáveis específicas que possam ser importantes, para assim poder explicar as complexas características de um problema (RICHARDSON, 1989).

A variável específica é o desenvolvimento do protótipo de um sistema fluido mecânico que será montado em um laboratório para ajudar no ensino de mecânica dos fluidos, em virtude de não haver equipamento deste tipo no laboratório de mecânica e a partir do funcionamento deste sistema, realizar as medições específicas para se obter dados e resultados de forma quantitativa.

#### 3.2 TÉCNICAS

Esta sendo utilizada a técnica de busca de informação relacionada o assunto em bibliografia, se basearão na consulta bibliográfica do assunto, em monografias, artigos, anais de congresso, teses, dissertações. Publicações em meios eletrônicos, revistas e anais de eventos científicos publicados e experimentos.

Conforme Andrade, (2006, p.135) “Técnicas são conjuntos de normas usadas especificamente em cada área das ciências, podendo-se afirmar que a técnica é a instrumentação específica da coleta de dados”.

Adicionalmente será usada a técnica comparativa, como a montagem do equipamento em laboratório para ser realizados os testes de pressão e vazão do tanque o tubo de Venturi.

### 3.3 PROCEDIMENTOS

O procedimento de preparo e montagem do sistema fluido será feito da seguinte forma:

- a) Aquisição de chapa de acrílico medindo 2,00m X 1,00m com espessura de 0,005m;
- b) Aquisição de Cola para acrílico;
- c) Aquisição de 1,5m de tubo de polímero transparente com  $\phi$  0,008m;
- d) Aquisição de dois manômetros;
- e) Aquisição de válvula reguladora de vazão de fluidos;
- f) Medir as partes componentes do tanque de 50 X 50 X 50 cm;
- g) Utilizar os EPI (Equipamentos de Proteção Individual);
- h) Utilizar em laboratório de mecânica as ferramentas para corte e colagem na construção do sistema fluido;
- i) Preparar o tubo de polímero fazendo o estreitamento de 4,4cm na parte central para ficar no modelo de Venturi;
- j) Acoplar o tubo e as conexões ao reservatório utilizando a cola de acrílico.

O trabalho consistiu-se em desenvolver e construir um protótipo de um sistema fluido, composto por um reservatório de acrílico, um tubo de Venturi em PVC e tubulação de Poliuretano transparente (plástico flexível) de  $\Phi$  1 3/4" (4,45cm), para ser utilizado como experimento no laboratório de Engenharia Mecânica da EST, devido não haver medidores de vazão de fluidos na Unidade Acadêmica.

O primeiro passo foi construir um reservatório (Figura 10), a partir de materiais disponíveis no laboratório da Unidade Acadêmica, que consistiu de 05 (cinco) placas de acrílico de espessura 3mm, dimensionadas para que as laterais fossem com 02 (duas) placas de 50x52cm e 02 (duas) de 50x50cm, e a do fundo de 52x52cm, as quais foram recortadas e em seguida coladas com cola própria de PVC, formando uma caixa de acrílico medindo 50x50x50cm, de lados e fundo, com a parte superior aberta, sendo que uma das placas foi furada para  $\Phi$  2" (5,05cm), com furadeira, na parte central inferior para a conexão de uma válvula gaveta de PVC, de abrir e fechar o escoamento do fluido pela tubulação transparente

de Poliuretano e pelo Tubo de Venturi construído. Com o propósito de reforçar e evitar vazamentos, as arestas foram revestidas com CASCOLA PL500.

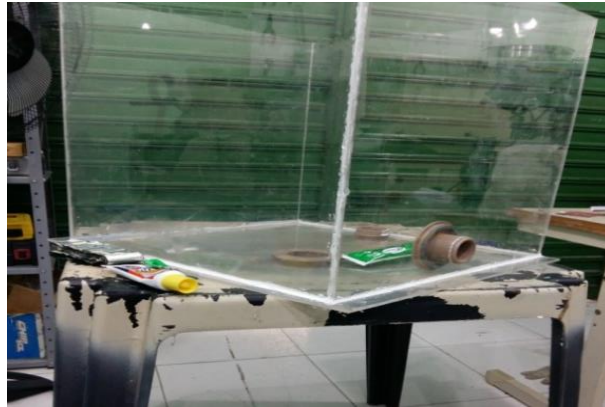


Figura 10. Colagem, montagem e secagem da caixa de acrílico  
Fonte: Autor (2017).

Depois de construído o reservatório pelo processo de colagem das placas de acrílico passou-se para o processo de secagem (Figura 10).

O segundo passo (Figura 11) foi a construção do protótipo similar ao tubo de Venturi, com materiais de fácil acesso encontrados no comércio local, utilizando o processo de colagem, cola de PVC, para unir 01 (uma) luva de PVC soldável de  $\Phi 25\text{mm}$  entre 02 (duas) buchas de redução de PVC de  $\Phi 50 \times 25\text{mm}$ .



Figura 11 Construção do tubo de Venturi.  
Fonte: Autor (2017).

Após o processo de secagem dos componentes do Tubo de Venturi, passou-se para a medição do diâmetro dos furos e perfuração (Figura 11) de, aproximadamente, 8,0mm, para encaixar os tubos de colunas manométricas, utilizando, inicialmente na fase de testes, duas pipetas de vidro de 25mL e respectivos encaixes no tubo de Venturi (Figura 12).



Figura 12 Dimensionamento tubo.  
Fonte: Autor (2017).

No Tubo de Venturi (Figura 12) construído, fez-se 02 (dois) furos de 8,0mm cada na parte superior, com uma furadeira, para encaixar 02 (duas) pipetas volumétricas (fornecidas pela EST) de 25mL ( $25\text{cm}^3$ ) e comprimento 32,5cm, cada uma em um furo, como colunas manométricas, para medir a pressão estática na seção superior à estrangulação e na seção estrangulada, aproximadamente, um furo na posição central, conforme Figura 13.

A Figura 13 representa o desenho esquemático do Tubo de Venturi Construído.

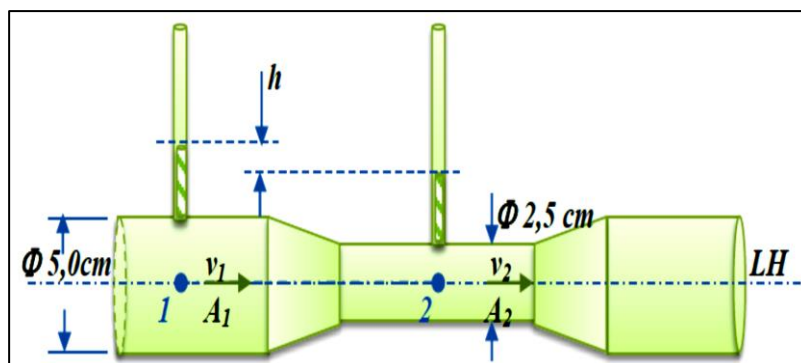


Figura 13. Desenho do Tubo de Venturi com dimensões.  
Fonte: Autor (2017).

A Figura 13 mostra um desenho esquemático do Tubo de Venturi com as dimensões que foram utilizadas neste trabalho, assim como os pontos 1 e 2, onde as colunas manométricas foram colocadas para as medições de pressão e por onde o fluido passou com velocidades  $v_1$  e  $v_2$ . Na Figura 14 é apresentado o sistema fluido com a montagem completa.

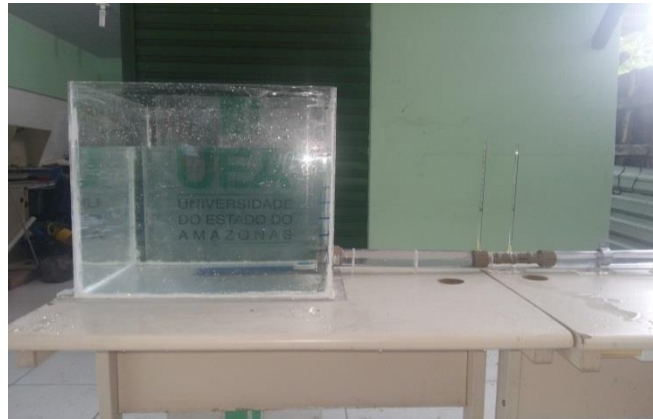


Figura 14. Sistema Fluido Montado.  
Fonte: Autor (2017).

A partir desta montagem (Figura 14) foram realizados os testes, enchendo o reservatório de água e realizando as medições (Figura 15).



Figura 15. Ensaio do Sistema Fluido Montado.  
Fonte: Autor (2017).

A Figura 15 mostra o reservatório enchido até 90 Litros, a tubulação alinhada com o tubo de Venturi e a realização do ensaio para as medições de vazão, pressão e velocidades.



#### 4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Para certificar a consistência dos resultados no equipamento construído, utilizou-se a estrutura do laboratório do GRAEST-UEA e realizaram-se alguns testes. Inicialmente foi adicionado líquido no reservatório até 90L, fez-se marcações de 10 em 10 litros até chegar ao limite de 30 litros para depois secar completamente. Conforme escoava a cada 10 litros no reservatório, eram feitas as anotações de alturas das pipetas ( $h_1$  e  $h_2$ ) e tempo de vazão.

Tendo a diferença de altura ( $\Delta h$ ) das pipetas (adaptadas como colunas manométricas), encontra-se a velocidade e pressão do tudo de Venturi.

No tubo de Venturi com seções alinhadas, o fluido passou pela área ( $A_1 = 1,52 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ) maior, com  $V_1$  baixa e  $p_1$  alta, mas ao passar pelo estrangulamento,  $A_2 = 7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  diminuiu,  $V_2$  alta e  $p_2$  baixa.

Assim, através da fórmula deduzida de Bernoulli determina-se a velocidade que passa no tubo de Venturi. Sendo o fluido água, a densidade ( $d$ ) é igual a  $1 \text{ g/cm}^3$  a  $25^\circ\text{C}$ , equivalendo a sua massa específica de  $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$ , em que seu peso específico equivale a  $\gamma_{H_2O} = 10.000 \text{ N/m}^3$  e o peso específico relativo a  $\gamma_{rel} = 1$ , tendo como aceleração da gravidade convencional de  $g = 10 \text{ m/s}^2$  para fins de cálculos, e com os tubos na parte superior abertos, a Equação de Bernoulli pode ser usada da seguinte forma:

$$p_1 + d \cdot g \cdot h_1 + \frac{d \cdot v_1^2}{2} = p_2 + d \cdot g \cdot h_2 + \frac{d \cdot v_2^2}{2},$$

sendo deduzida para

$$p_1 + \frac{d \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{d \cdot v_2^2}{2},$$

e usando-se a Equação da Continuidade obtém-se:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2,$$

isolando  $v_2$  fica:

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

e encontra-se:

$$v_2 = 2,151 v_1$$

assim a variação de pressão será:

$$p_1 - p_2 = d \cdot g \cdot \Delta h$$

substituindo:

$$d \cdot g \cdot \Delta h = \frac{d \cdot v_2^2}{2}$$

obtendo-se:

$$d \cdot g \cdot \Delta h = \frac{d \cdot (2,151)^2 v_1^2}{2}$$

$$v_1^2 = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{4,63}$$

logo  $v_1 = 8,569 \text{ cm/s}$  para quando o tanque estiver a 90L.

A pressão no reservatório durante o escoamento foi calculada por:

$$P_{Res} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot H_{res} ,$$

onde  $H_{res}$  é a altura média de 22cm de água medida, aleatoriamente, no reservatório.

resultando em  $P_{Res} = 2200 \text{ Pa}$ .

A pressão no tubo de Venturi foi calculada pelo Teorema de Steven:

$$\Delta p = d \cdot g \cdot \Delta h \rightarrow \Delta p = 1700 \text{ Pa}$$

Esse resultado para o tanque com 90 L.

Com a instalação do equipamento toda pronta, foi acionado o registro a fim de se verificar a altura manométrica nas pipetas e assim a calibração do sistema. Desta forma, os dados obtidos foram organizados em Tabela 3.

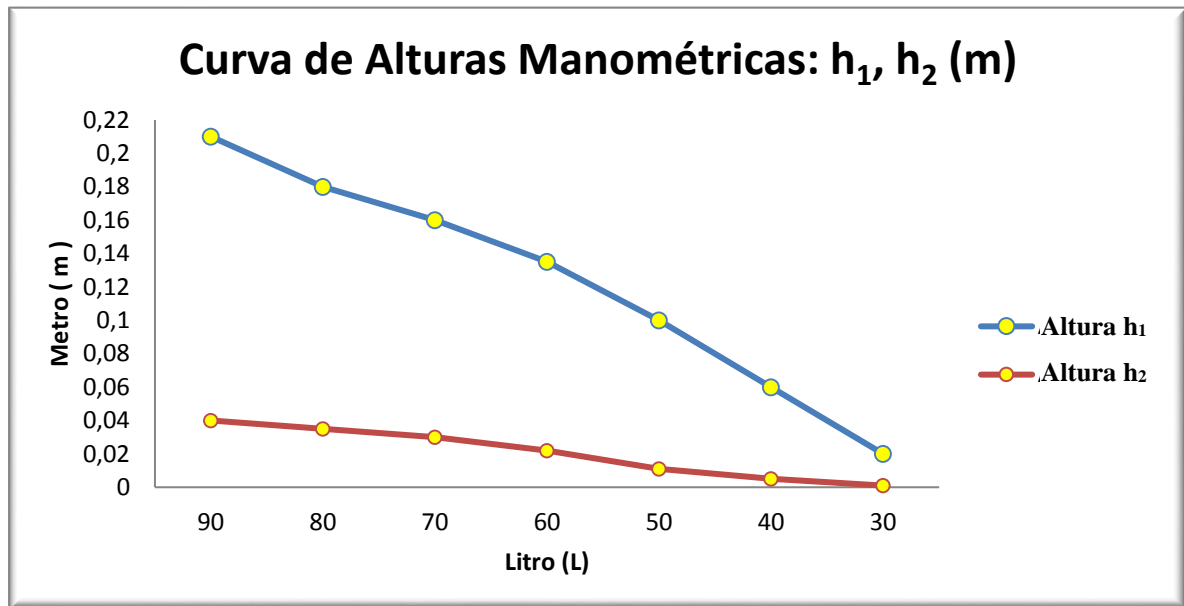
Tabela 3. Dados obtidos através dos Cálculos.

$H_{Res}(\text{cm})$	$V_{Res}(\text{L})$	$h_1(\text{m})$	$h_2(\text{m})$	$v_1(\text{m/s})$	$v_2(\text{m/s})$	$\Delta p(\text{Pa})$	$Q_{saída}(\text{m}^3/\text{s})$
45	90	0,210	0,040	0,857	1,843	1700	0,00130
40	80	0,180	0,035	0,791	1,702	1450	0,00120
35	70	0,160	0,030	0,749	1,612	1300	0,00114
30	60	0,135	0,022	0,699	1,503	1130	0,00106
25	50	0,100	0,011	0,620	1,334	890	0,00094
20	40	0,060	0,005	0,487	1,048	550	0,00074
15	30	0,020	0,001	0,286	0,616	190	0,00044

Fonte : Autor (2017).

A seguir colocaram-se os dados em gráfico, mostrado pela Tabela 3. Com a utilização deste gráfico foi possível avaliar, de maneira simplificada, a vazão existente no sistema. Para tanto, basta verificar a altura da coluna d'água (em m), nos pontos avaliados da quantidade de litros (L). O símbolo “L” pode ser maiúsculo ou minúsculo (*ℓ*) em itálico, conforme normas do S.I. (INMETRO, 2012).

Gráfico 2. Colunas Manométricas.

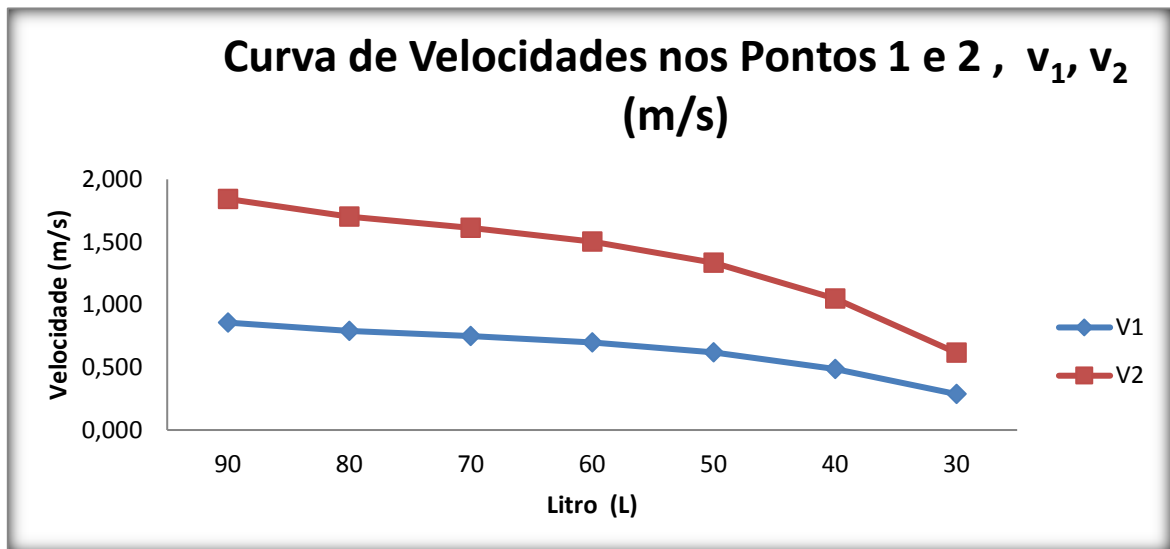


Fonte: Autor (2017).

Conforme se observa no Gráfico 2, a curva da altura manométrica  $h_1$  apresentou uma maior inclinação do que a curva de  $h_2$ , devido o fluido que saiu do reservatório ter passado neste ponto com mais pressão, que foi diminuindo conforme a velocidade do fluido no ponto 1, ao passo que no ponto 2, a velocidade aumentou e pressão diminuiu gradativamente, como se observa na curva de  $h_2$ .

Nos dados do Gráfico 3 são mostradas as curvas de velocidades do fluido ao passar pelo Venture nos pontos 1 e 2, durante as tomadas de vazão, a partir de 90 L até 30 L (Tabela 3), para verificação do comportamento do fluido na passagem pelas colunas manométricas.

Gráfico 3. Velocidades do fluido.

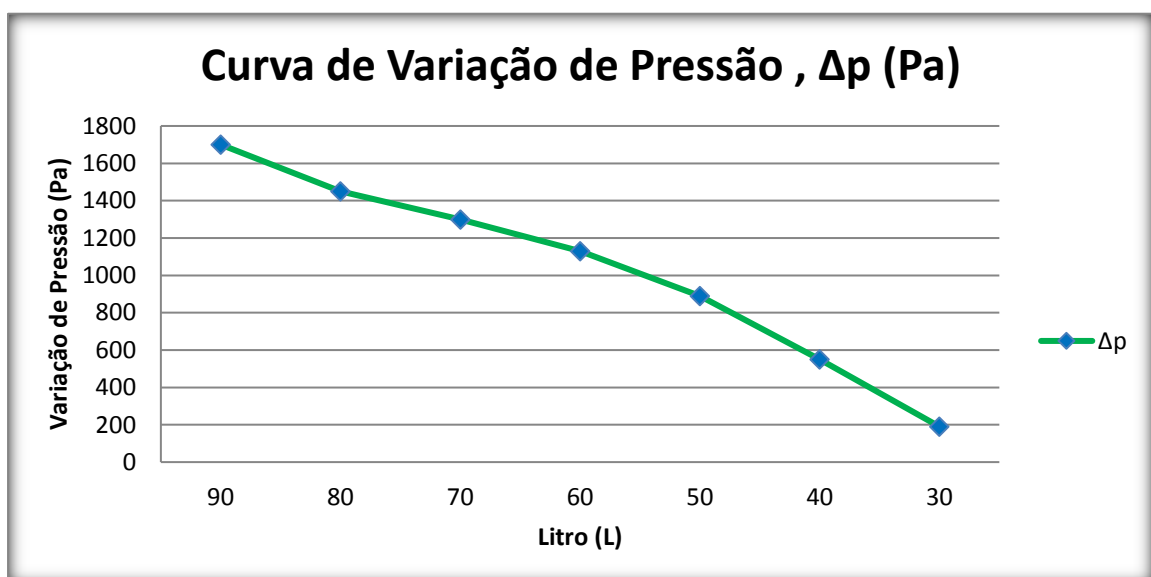


Fonte: Autor (2017).

De acordo com o Gráfico 3, as curvas de velocidades apresentam leve decaimento, durante as tomadas de tempo (em segundos), devido o fluido ao passar pelo ponto 1 ter velocidade menor durante o fluxo da saída do reservatório à entrada do Tubo de Venturi, em que passou a ter a velocidade elevada ao fluir pelo estrangulamento do Venturi no ponto 2.

O Gráfico 4 mostra as Pressão do fluido ao passar pelo Venturi no ponto 2, durante as tomadas de vazão do fluido, a partir de 90 L até 30 L (Tabela 3).

Gráfico 4. Variação de Pressão do fluido.

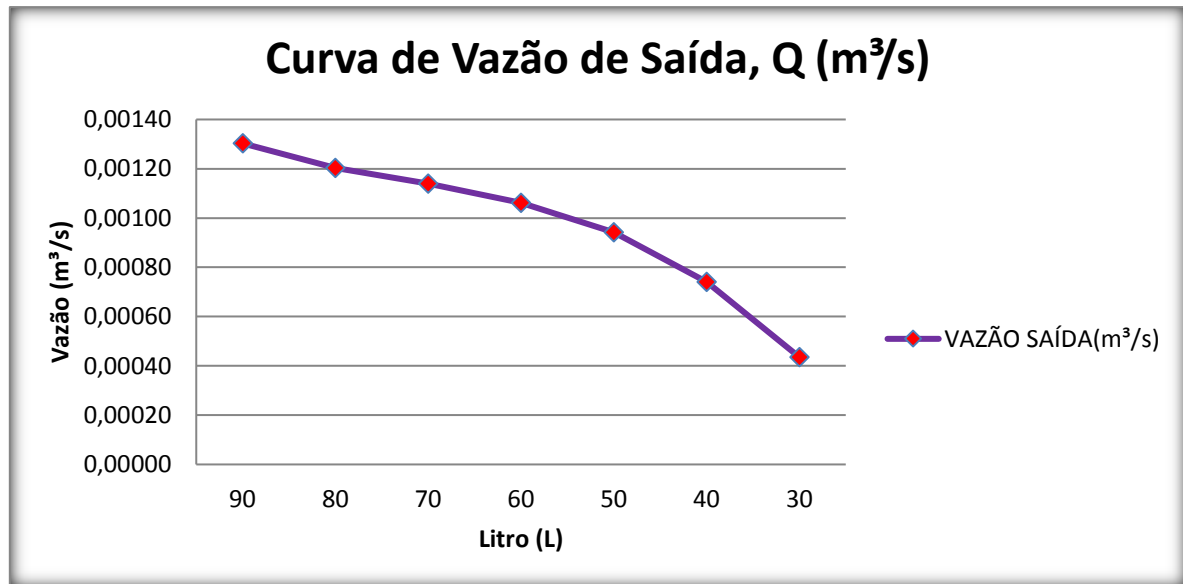


Fonte: Autor (2017).

Estas tomadas de vazão foram feitas por meio de um cronômetro digital, para verificação do comportamento do fluido na passagem pelo tubo.

Nos dados do Gráfico 5 são mostradas as curvas de vazão do fluido na saída do tubo de Venturi, ponto 2, durante as tomadas de vazão, a partir de 90 L até 30 L (Tabela 3).

Gráfico 5. Vazão de saída do fluido.



Fonte: Autor (2017).

O Gráfico 5 mostra a curva de vazão na saída do Venturi com diminuição dos valores, ou seja, seu decaimento, porque a partir do ponto 2, conforme ia diminuindo o volume do reservatório, diminuía a pressão no sistema durante as tomadas de tempo (em segundos). A vazão na saída foi calculada por:

$$Q = A_2 \cdot v_2 ,$$

$$Q = 4,517 \times 10^{-4} m^3/s \rightarrow Q = 0,452 L/s$$

A Eficiência foi calculada, inicialmente, pela potência de escoamento, sabendo-se que a massa da água é  $m = \rho_{H_2O} \cdot v_{saída\ tanque} \rightarrow m = 0,432 kg$  e  $H_{Res} = 22 cm$ , logo:

$$N = m \cdot g \cdot H_{res} / \Delta t \rightarrow N = 0,95 W$$

A eficiência do sistema, com peso específico relativo da água igual a 1, fica:

$$\eta = (\gamma_{H_2O} \cdot Q \cdot H_{res}) / N \rightarrow \eta = 52,32\%$$

## 5. CONCLUSÃO

A revisão da bibliografia e a pesquisa de trabalhos similares mostraram-se bastante pertinentes servindo de estruturas base para o desenvolvimento deste trabalho.

A aplicação de um método científico para escolha do material dos componentes principais possibilitou a identificação das propriedades mecânicas mais apropriadas e a seleção do melhor material para o projeto.

Conforme os objetivos apresentados no trabalho foi desenvolvido a construção de um reservatório contendo uma válvula que permite ou não a passagem do fluido, com conexão de um Tubo de Venturi construído com materiais de PCV, mais um tubo transparente de Poliuretano, que permitiu visualizar e medir velocidade e vazão do fluido. O fluido analisado foi à água, sendo escoado e desprezado em outro reservatório, para ser reutilizado novamente e realizado novos testes de vazão.

O protótipo construído mostrou-se satisfatório para a medição de vazão, através da Equação de Bernoulli que foi deduzida. Na configuração de melhor medição, a vedação das pipetas foi essencial para que não houvesse vazamento e influencias negativas nos resultados esperados, que poderiam alterar a pressão na passagem próxima as colunas manométricas, que foram verificadas, em que se conseguiu apresentar valores calculados de 0,452 L/s ou 27,12L/min, e de velocidades inicial de 0,115m/s e final de 0,46m/s, para uma pressão  $p_1=2200\text{Pa}$ .

A eficiência apresentada pelo sistema montado foi calculada através de uma altura no reservatório, de 22cm, durante o escoamento, que resultou em 52,32%, conforme cálculos realizados que atendeu satisfatoriamente ao desempenho deste protótipo, que do ponto de vista das pesquisas feitas pelos meios de comunicação e pela literatura, não foram encontrados modelos construídos, simplesmente, desta forma.

Este protótipo se mostrou útil para a realização de ensaios experimentais, utilizando a equação de Bernoulli nos cálculos, que podem ser utilizados em aulas didáticas de laboratório de sistemas fluidos na Engenharia Mecânica ou outras Graduações de Interesse em medições com fluidos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANDRANDE, M. M. D. *Introdução à metodologia do trabalho científico*. Ed.5 São Paulo: Atlas, 2001.
- AZEVEDO NETTO, JM.; RENANDEZ y FERNADEZ, M; ARAUJO, R.: EIJI ITO, A. Manual de hidráulica. 8d. São Paulo; Blucher, 1998.669p.
- BARCELOS, B. R.; GIACOMELLI, J F.; VAGAS, L. M.; *Construção de um medidor de vazão mássica tipo Venturi*. 2011. 18f. Monografia – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BOABAID NETO, C. *Mecânica de Fluidos: volume II – dinâmica de Fluidos*. Santa Catarina: IFSC, 2011. Acessado em 12/11/2017 e Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/a/ac/Apostila\\_MFL\\_Vol\\_II.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/a/ac/Apostila_MFL_Vol_II.pdf)>.
- BRINGER. *Elementos primários de vazão*, Disponível em: <[ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/catalogos/hidrometria\\_Bringer.pdf](ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/catalogos/hidrometria_Bringer.pdf)>. Acesso em 15 de Abril de 2017.
- BRUNETTI, F.. *Mecânica dos fluidos*. 2 ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CASSIOLATO, C. e EVARISTO, A.. *Medição de vazão: Controle e instrumentação*. São Paulo, v. 11, n.138, p. 70-78, mar./2011.
- CAVALCANTI, C. A. N., Basso, F., Grubert, R. D. B.. *Construção e Operação de Venturi para Medição de Vazão de Líquidos*. Porto Alegre: UFRGS, 2010.
- DELMÉE, G. J. *Manual de medição de vazão*. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- ERNESTO et al. *Medición de Caudal*. Venezuela: UPP, 2012. Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos97/medicion-caudal-tecnico-superior/medicion-caudal-tecnico-superior.shtml>>.
- FRANÇA, R. P. *Medição de Vazão: tubo de Venturi*. Cubatão-SP: IFECTSP, 2009.
- FRANCO IBARS, R.A. *Desenvolvimento e avaliação de tudo Venturi para medição de vazão*. São Paulo: USP, 2005.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A.T.; PRITCHARD, P. J. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.
- FOX, R. W.; e MCDONALD, A.T.. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. 5ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1986.
- HALLIDAY, D., RESNIK R., KRANE, D. S. *Física 2*. volume 1, 5 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- INCROPERA, P. F. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Editora LTC, 6ª edição, São Paulo 2008.
- INFOPEDIA. *Tubo de Venturi in Artigos de apoio Infopédia [em linha]*. Porto: Porto Editora, 2003-2017. [consult. 06-04-2017]. Disponível na Internet: <[https://www.infopedia.pt/\\$tubo-de-venturi](https://www.infopedia.pt/$tubo-de-venturi)>.

INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades: SI*. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. Disponível também em: <<http://www.inmetro.gov.br>>.

CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). *Instrumentação Básica: Pressão e Nível*. Trabalho realizado em parceria SENAI /. Espírito Santo: SENAI, 1999.

KRUEGER, F.S., BRASILIENSE, L., RICHTER, T. *Medição de vazão mássica utilizando um tubo similar de Venturi*. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

MARQUES, G. C. e UETA, N. *Mecânica. (e-física: ensino de Física on-line)*. São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <<https://efisica.if.usp.br/mecanica/basico/>>.

MARTINS, N.. *Manual de medição de vazão: através de placas de orifício, bocais e venturis*. Interciência. São Paulo: 1998.

NUSSENZVEIG, H. M.. *Estática dos fluidos*. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. p.1–16.

POTTER, M.. *Mecânica dos fluidos*. 4 ed norte-americano São Paulo: Cengage, 2014.

PRODANOV, C. C. *Manual de metodologia científica*. 3. Ed. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2006.

RICHARDSON, R. J.. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas 1989.

SANTOS, A.. *Relatório de ensaio tubo de Venturi*. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANKsAB/relatorio-ensaio-tubo-venturi#>>, acesso em: 10/06/2016.

SCHEIDER P. S. *Medição de Pressão em fluidos*. Apostila da disciplina de medições Térmicas, Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre, 1010.

SNEF. *Utilizando a história da ciência em conteúdos relacionados à mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro: XVI SNEF, 2009. Disponível em: <<https://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0625-3.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

SMAR. *Medidor de vazão*, Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html>>. Acesso em 15 de abril de 2017>.

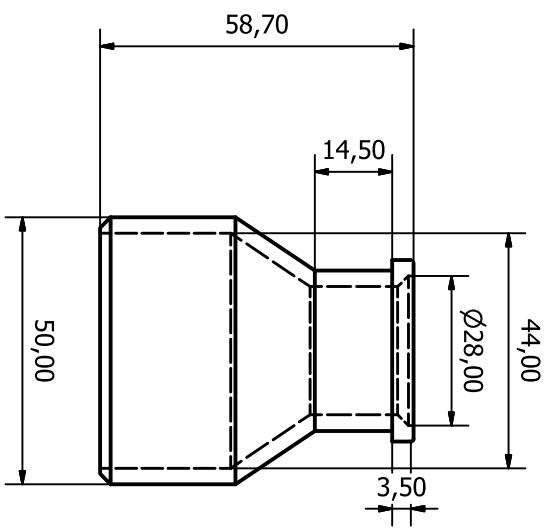
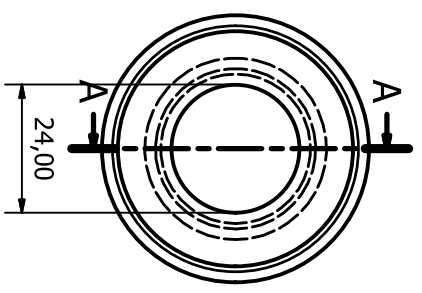
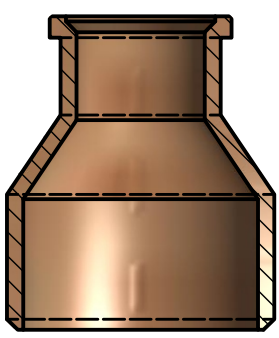
TESCH, R.. *Qualitative Research: Analysis Types & Software Tools*. PA: Falmer Press., 1990.

WIKIPEDIA. *Efeito Venturi*. [consultado em 14-06-2017]. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito\\_Venturi](https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Venturi)>.



## APÊNDICES

A-A ( 1 : 1 )



# BUCHA COM REDUÇÃO

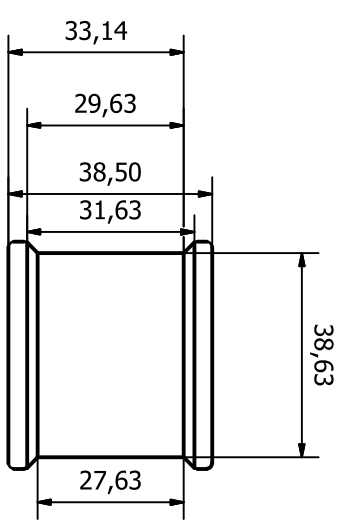
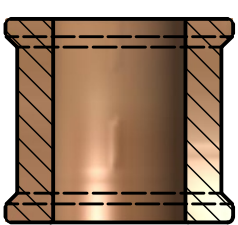
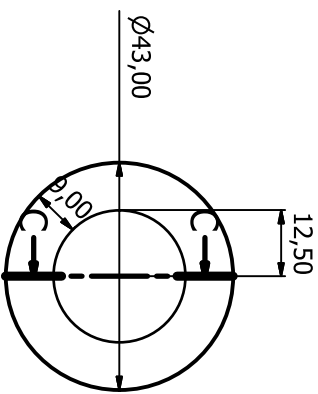


Projetado por	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
JOILSON BENTES				21/11/2017	

PROIETO TUBO DE VENTURI  
bucha de redução 50 x 25 desenh  
téc/ 1

# LUVA SOLDÁVEL

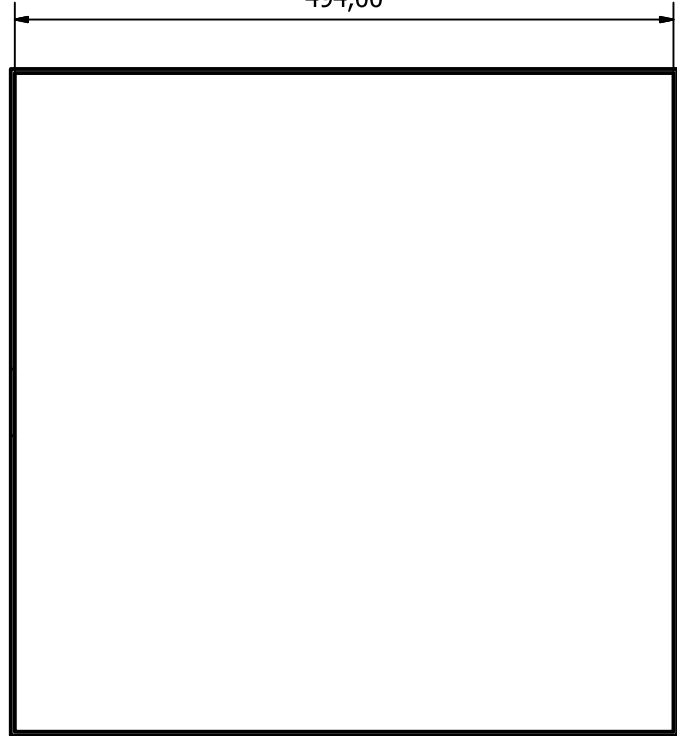
C-C ( 1 : 1 )



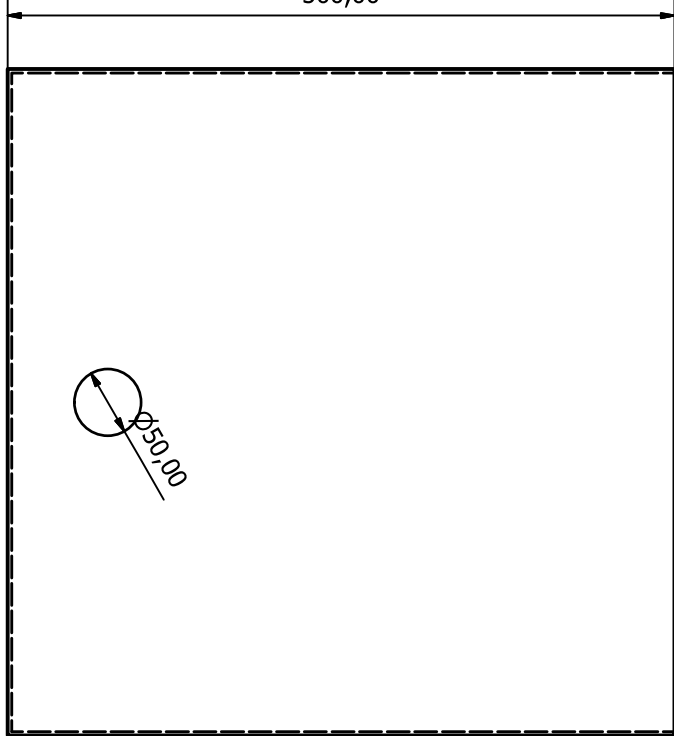
Projetado por	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	Edição	Folha
JOILSON BENTES				14/11/2017		1 / 1

PROJETO TUBO DE VENTURI  
luva soldável desenho

# CAIXA DE ACRÍLICO

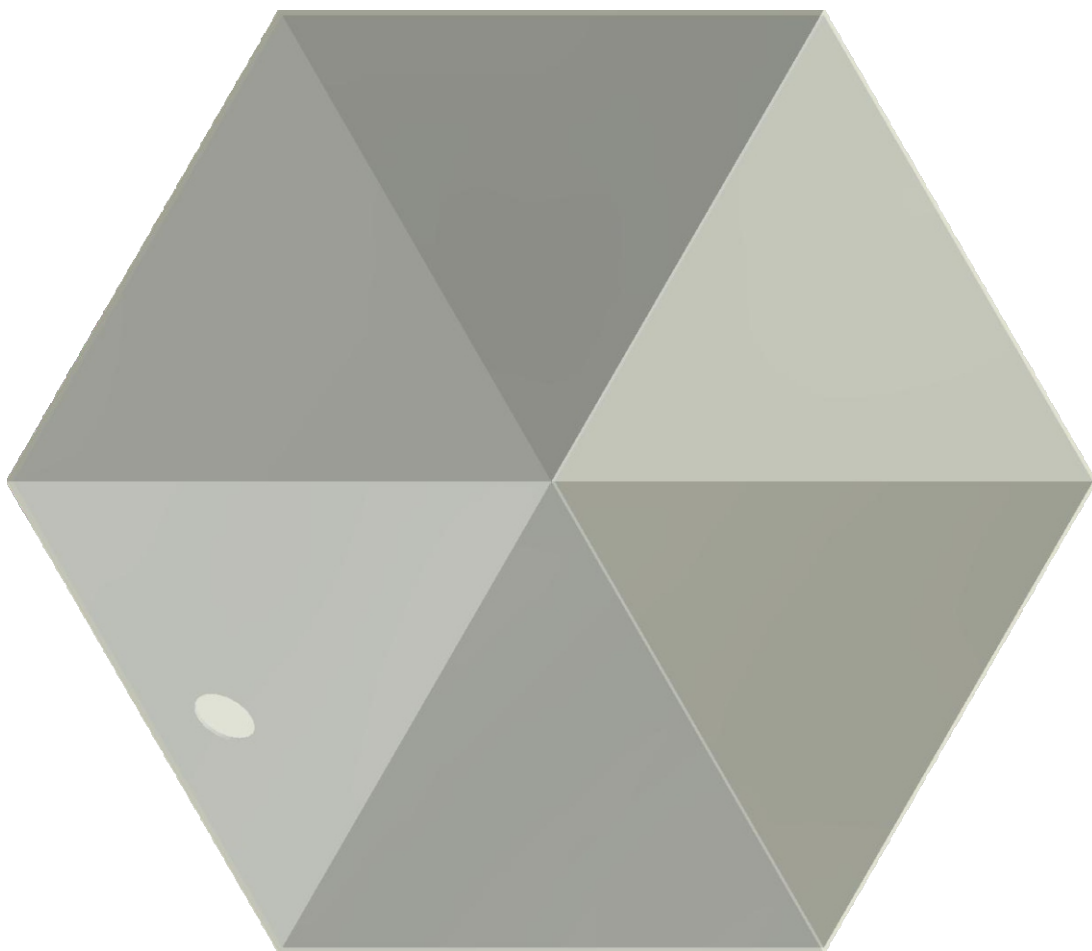


494,00



500,00

Ø50,00



Projetado por	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
JOILSON BENTES				21/11/2017	

PROJETO TUBO DE VENTURI	
caixa desenho	Edição
	1 / 1

A

B

C

D

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

6

5

4

3

2

1