

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PRISCILA SIEG LIMA**

**MENSURAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM  
CONEXÕES ESPECIAIS DE PVC SOLDÁVEL**

**ALEGRETE  
2017**

**PRISCILA SIEG LIMA**

**MENSURAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM  
CONEXÕES ESPECIAIS DE PVC SOLDÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Me. Marília Ferreira  
Tamiosso

Coorientador: Eng. Agrícola Giulian Rubira  
Gautério

**ALEGRETE  
2017**

**PRISCILA SIEG LIMA**

**MENSURAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM  
CONEXÕES ESPECIAIS DE PVC SOLDÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

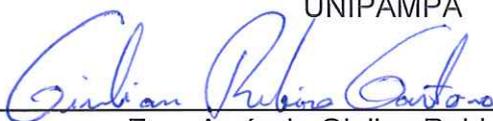
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de novembro de  
2017.

Banca examinadora:



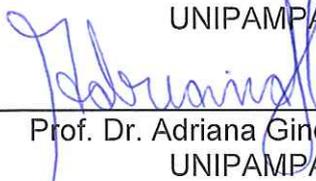
---

Prof. Me. Marilia Ferreira Tamiosso  
Orientadora  
UNIPAMPA



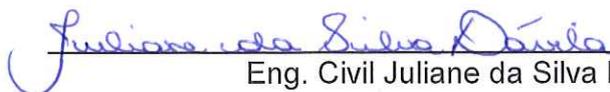
---

Eng. Agrícola Giulian Rubira Gautério  
Coorientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Adriana Gindri Salbego  
UNIPAMPA



---

Eng. Civil Juliane da Silva Dávila

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, Ari e Clarice.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por tantas bênçãos e por consentir o alcance dos objetivos traçados ao longo da minha vida.

Aos meus pais, Clarice e Ari, por me apoiarem sempre, tanto financeiramente quanto emocionalmente, e mesmo com todas as dificuldades que apareceram possibilitaram com que eu alcançasse meu sonho.

Aos meus irmãos, Jonas e Patricia, que sempre me deram aquela palavra de conforto nas horas de desespero.

Ao meu namorado Mateus, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando, me ajudando e me incentivando, principalmente para eu ter mais confiança em mim.

Minha professora e orientadora, Marilia Tamiosso, que me ajudou, me deu suporte e compreensão durante a elaboração do meu trabalho.

Aos meninos (técnicos) do Laboratório de Hidráulica Experimental, Cleber e Giulian por toda a ajuda e suporte em relação aos meus ensaios e ideias para solucionar os meus problemas, que não foram poucos.

Aos meus amigos Catilene, Thalita, Hortência, Juliano, Naiéle, Raquel, Dion Lenon, Djonathan e Brunna que sempre estiveram comigo, nas horas boas e ruins, me incentivando, dando risada, chorando e correndo atrás dos prejuízos das matérias acumuladas, mas agradeço em especial à Babi, por todas as palavras de autoconfiança, todo o colo, toda paciência, todas festas e todas as listas de exercícios e a Bianca por desde o início desta caminhada nunca me deixar de lado e nem me abandonar, mesmo nossos caminhos tendo tomado rumos diferentes.

Agradeço também a todos que de alguma forma, me ajudaram e me acrescentaram durante este tempo da graduação.

## RESUMO

Com o crescimento da população e a falta de mananciais para suprir a demanda de água, houve a necessidade da busca por novos meios para que a água chegasse às residências da população. Diante disso, durante muito tempo foram elaboradas experiências para suprir estas necessidades, as quais propiciaram o aperfeiçoamento dos materiais utilizados, tubulações e conexões, gerando assim maior versatilidade do material. Porém percebeu-se que as conexões possuíam um valor consideravelmente alto de perda de energia (carga), que pode prejudicar, assim, o perfeito funcionamento do sistema. Os valores para estas perdas de energias, são encontradas em normativas e bibliografias consagradas, como é o caso do registro de esfera e dos joelhos 90°, entretanto, algumas conexões não possuem valores especificados, como é o caso da conexão curva de transposição. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é determinar experimentalmente o valor da perda de carga localizada em conexões de PVC soldável, sendo objetos de estudo: joelho de 90°, registro de esfera e curva de transposição. Para as conexões citadas utilizaram-se os diâmetros de 20 mm, 25 mm e 32 mm exceto para os joelhos 90°, que se estudou somente o diâmetro de 32 mm. Realizou-se a verificação dos valores experimentais, para coeficientes de perda de carga, e comprimento equivalente. Ao término do estudo, constatou-se para a conexão do tipo joelho 90°, que os valores são coerentes com os obtidos em bibliografia e de acordo com as Equações Empíricas e Equação Teórica, sendo a que melhor descreveu os experimentos, a Equação Empírica de Hazen-Williams. Para a conexão do tipo Registro de Esfera, observou-se que a equação que melhor representou os valores obtidos em laboratórios foi a de Hazen-Williams. Em relação aos dados de bibliografia de comprimentos equivalentes e coeficientes de perda de carga para essa conexão, verificou-se que os valores observados foram inferiores, notando-se que é possível utilizar os dados de bibliografia com segurança para dimensionamentos hidráulicos. Já para a conexão curva de transposição, as perdas de carga resultaram em valores significativos, indicando que estes devem ser considerados em dimensionamento. No entanto, não há valores encontrados em norma para comparação.

**Palavras-Chave:** Instalações Hidráulicas, Conexões, Perda de Carga.

## ABSTRACT

With the growth of the population and the lack of water sources to supply water demand, it was necessary to search for new ways to get water to the population's homes. In view of this, for a long time, experiences were elaborated to meet these needs, which allowed the improvement of the materials used, pipes and connections, thus generating greater versatility of the material. However, it was noticed that the connections had a considerably high value of loss of energy (load), which can thus hamper the perfect functioning of the system. The values for these energy losses are found in established norms and bibliographies, as is the case with the sphere record and the 90 ° knees, however, some connections do not have specified values, as is the case with the transposition curve connection. In this sense, the objective of the present work is to experimentally determine the value of the localized load loss in weldable PVC connections, being objects of study: 90 ° knee, ball registration and transposition curve. The diameters of 20 mm, 25 mm and 32 mm were used for the aforementioned connections except for the 90 ° knees, which only studied the diameter of 32 mm. The experimental values were verified for coefficients of loss of load, and equivalent length. At the end of the study, it was found for the 90 ° knee connection, that the values are consistent with those obtained in literature and according to the Empirical Equations and Theoretical Equation, being the one that best described the experiments, the Empirical Equation of Hazen-Williams. For the connection of the Sphere Log type, it was observed that the equation that best represented the values obtained in laboratories was that of Hazen-Williams. In relation to the bibliography data of equivalent lengths and load loss coefficients for this connection, it was verified that the observed values were lower, noting that it is possible to use the data of bibliography with safety for hydraulic sizing. For the transposition curve connection, the load losses resulted in significant values, indicating that these should be considered in sizing. However, there are no values found in standard for comparison.

**Keywords:** Hydraulic Installations, Connections, Load Loss.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Experimento de Reynolds .....	19
Figura 2 – Representação gráfica da equação de Bernoulli.....	23
Figura 3 – Diagrama de Moody .....	27
Figura 4 – Tipos de manômetros.....	35
Figura 5 – Simplificação da metodologia utilizada.....	39
Figura 6 – Parte superior da bancada de perda de carga .....	40
Figura 7 – Parte inferior da bancada de perda de carga .....	40
Figura 8 – Conexões especiais utilizadas: (1) Curvas de transposição e (2) Registro de esfera .....	41
Figura 9 – Trecho retilíneo (a) e trecho com conexão Joelho 90° diâmetro 32 mm (b) .....	41
Figura 10 – Representação esquemática do trecho dotado de joelho 90° da bancada experimental.....	42
Figura 11 – Buchas de redução e união soldável.....	43
Figura 12 – Detalhe das extremidades dos trechos experimentais prontos para encaixe na bancada.....	44
Figura 13 – Diferença de diâmetro de entrada do engate pneumático reto .....	45
Figura 14 – Detalhe do engate pneumático e da sua utilização nos trechos .....	45
Figura 15 – Detalhe dos Registros de gaveta, todos abertos.....	46
Figura 16 – Detalhe do engate pneumático e da sua utilização .....	46
Figura 17 – Hidrômetro da bancada utilizada.....	47
Figura 18 – Manômetro analógico.....	48
Figura 19 – Detalhe da mangueira no sistema.....	49
Figura 20 – Leitura de variação de pressão .....	49
Figura 21 – Representação esquemática do método de comprimentos equivalentes .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de coeficientes de perda de carga .....	30
Tabela 2 – Perdas de cargas localizadas medianas encontradas por Silva.....	36
Tabela 3 – Perdas de cargas localizadas encontradas por Delforno (2006) .....	37
Tabela 4 – Perdas de cargas localizadas encontradas por Branco (2005) .....	37
Tabela 5 – Nomenclatura dos trechos experimentais .....	42
Tabela 6 – Perda de carga localizada: Equivalência em metros de tubulação de PVC rígido .....	51
Tabela 7 – Perda de carga unitária e comprimento equivalente para o trecho JO32 .....	53
Tabela 8 – Perda de carga unitária para o trecho CT20 .....	55
Tabela 9 – Perda de carga unitária para o trecho CT25 .....	56
Tabela 10 – Perda de carga unitária para o trecho CT32 .....	56
Tabela 11 – Valores médios dos parâmetros para curva de transposição.....	58
Tabela 12 – Perda de carga unitária para o trecho RE20 .....	59
Tabela 13 – Perda de carga unitária para o trecho RE25 .....	59
Tabela 14 – Perda de carga unitária para o trecho RE32 .....	60
Tabela 15 – Valores médios dos parâmetros para curva de transposição.....	61

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perda de carga experimental vs. Vazão de Joelho 90° .....	54
Gráfico 2 – Perda de carga experimental vs. Vazão da Curva de Transposição ....	57
Gráfico 3 – Perda de carga experimental vs. Vazão do Registro de Esfera.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Rey – Número de Reynolds

K – Coeficiente de Perda de Carga

Leq – Comprimento Equivalente

TR 20 – Tubulação Retilínea de 20 mm

TR 25 – Tubulação Retilínea de 25 mm

TR 32 – Tubulação Retilínea de 32 mm

CT 20 – Curva de Transposição de 20 mm

CT 25 – Curva de Transposição de 25 mm

CT 32 – Curva de Transposição de 32 mm

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Objetivos .....	16
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Organização do Trabalho .....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1 Tipos e Regimes de Escoamento .....	18
2.2 Equações Fundamentais do Escoamento.....	20
2.2.1 Equação da Continuidade .....	20
2.2.2 Equação de Bernoulli .....	21
2.3 Perda de Carga em Tubulações .....	23
2.3.1 Perda de Carga Contínua .....	24
2.3.1.1 Fator de Atrito .....	25
2.3.1.2 Equações Empíricas para Escoamento Turbulento de Transição .....	28
2.3.1.2.1 Equação de Fair-Whipple-Hsiao .....	29
2.3.1.2.2 Equação de Hazen - Williams.....	29
2.3.2 Perda de Carga Localizada .....	31
2.3.2.1 Conexões Especiais .....	32
2.3.2.2 Métodos dos comprimentos equivalentes .....	32
2.4 Análises Experimentais de Perda de Carga .....	33
2.4.1 Medidas de Pressão .....	34
2.4.2 Estudos Realizados .....	36
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
3.1 Montagem do Sistema .....	39
3.1.1 Joelho 90° .....	42
3.1.2 Cuidados tomados na Montagem dos Trechos Utilizados .....	43
3.2 Ligação dos Trechos Estudados ao Sistema Fechado.....	46
3.3 Determinação da Vazão Experimental.....	47
3.4 Determinação da Perda de Carga Experimental.....	48
3.5 Cálculo do Parâmetro K e Leq das Conexões .....	50
3.6 Cálculo da Perda de Carga pelas Equações Usuais e Comparação com Dados Observados.....	52
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>

<b>4.1 Joelho 90° .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Curva de Transposição.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3 Registro de Esfera.....</b>	<b>58</b>
<b>4.4 Considerações sobre as Análises de Laboratório e Sugestões para os Trabalhos Futuros .....</b>	<b>62</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história da civilização com o crescimento das cidades e, estas, muitas vezes distantes de mananciais para suprir a demanda da população, ocorreu a necessidade da busca por novos meios para que a água chegasse as residências da população. Assim, há registros de várias experiências que envolvem o processo de desenvolvimento deste meio de captação, tratamento e distribuição de água, tais como, construções de aqueduto de Jerwan, sendo o primeiro sistema público de água conhecido, obras de elevação de água do rio Eufrates, para alimentar as fontes dos famosos jardins suspensos da babilônia, utilização da roda hidráulica pelos gregos em seus domínios e o transporte por tubos.

Nesse sentido, salienta-se que os primeiros a fabricarem tubos de cobre foram os egípcios, cerca de 2750 a.C. Por volta de 1664, foram inventados os tubos de ferro fundido, moldados na França. Com o passar dos anos e o aprimoramento dos materiais, buscando-se os menos prejudiciais à saúde, por cerca de 1936, na Alemanha, fez-se o lançamento de tubos de PVC (HELLER, 2010), também conhecido como policloreto de polivinila, ou cloreto de vinila ou policloreto de vinil, mais conhecido pelo acrônimo PVC.

Com o conhecimento e a popularização houve um grande aumento na demanda dos tubos e, com a procura do material, ocorreram muitos aperfeiçoamentos do produto e estudos relacionados ao tema. Porém, com o aumento do nível de abastecimento de água nas casas, obteve-se também a necessidade de uma estética mais aprimorada nas residências e para que isso então pudesse ser corrigido, precisou-se cada vez mais de conexões especiais para auxiliar e facilitar estas instalações.

Basicamente, ainda, os sistemas de instalações hidráulicas prediais são compostos por trechos retilíneos, contudo, quando há restrições e troca-se de direção ou módulo de velocidade, ou de pressão, são utilizadas conexões especiais para assessorar neste processo. E, uma vez em que o sistema de instalações prediais possua várias conexões especiais, os somatórios totais destas vinculações geram grandes perdas de energia do fluido, especialmente devido à viscosidade e ao atrito do fluido com a tubulação utilizada, onde afeta principalmente o ponto de descarga, como por exemplo o chuveiro, mais próximo verticalmente do reservatório da

edificação, o qual deve possuir uma pressão mínima de 1 metro de coluna d'água (mca).

Sabendo-se então, que se a pressão disponível no ponto de descarga for abaixo da mínima, pode danificar irreversivelmente o objeto instalado e trazer danos no bem-estar do usuário, é importante levar em consideração esta perda para prevenir estes danos e de ter uma economia de energia.

Como citado anteriormente, esta perda acontece principalmente devido a viscosidade e ao atrito do fluido com a tubulação utilizada, onde a seção que o transporta está totalmente cheia deste fluido, neste caso cheio de água, denominando, assim, um escoamento forçado, ou seja, onde o líquido se transporta sob uma pressão diferente da atmosférica. A perda de energia, ou perda de carga, que ocorre ao longo deste trajeto, é classificada em: perda de carga distribuída e localizada, como descreve Baptista (2010).

Essencialmente, a perda de carga distribuída decorre ao longo do comprimento da tubulação, devido à viscosidade do fluido e rugosidade da tubulação. Já a perda de carga localizada ocorre devido ao acréscimo de turbulência causadas pelas peças acessórias ou conexões especiais, e representa, geralmente, uma parcela mais significativa quando se trata de instalações hidráulicas prediais.

A perda de carga varia de acordo com o diâmetro e o tipo do material. Existem atualmente no mercado vários tipos de materiais, como; PVC, aço galvanizado, cobre, ferro fundido, Tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e PEX (polietileno reticulado) sendo que para estas tubulações, os próprios fabricantes fornecem as informações que se fazem indispensáveis para o dimensionamento do sistema.

Entretanto, algumas das conexões especiais que são utilizadas em projetos não possuem valores para dimensionamento da perda de carga, em bibliografias de fácil acesso, como catálogos dos fabricantes, Normas Brasileiras aprovadas pela Associação Brasileiras de Normas Técnicas - NBRs ou livros consagrados.

Diante do exposto, este trabalho tem o intuito de abordar experimentalmente esta demanda, procurando quantificar os valores reais de perdas de carga em algumas conexões especiais de PVC.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo consiste em determinar experimentalmente o valor da perda de carga localizada em conexões especiais; joelho 90°, registro de esfera e curva de transposição, de PVC soldável, ocasionados pelo escoamento em conduto forçado, através de pressões mensuradas.

Os objetivos específicos são:

- Mensurar experimentalmente a perda de carga localizada, em tubulação de material PVC soldável de diâmetro de 20 mm, 25 mm e 32 mm, para as seguintes conexões: curva de transposição, joelho de 90° e registro de esfera;
- Estabelecer o valor do coeficiente de perda de carga,  $k$ , das conexões específicas já definidas, assim como seu comprimento equivalente, em metros de tubulação;
- Correlacionar os valores obtidos experimentalmente às informações fornecidas pelos fabricantes, Normas Brasileiras aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR) e pela literatura consagrada para as peças joelho 90° e registro de esfera.

## 1.2 Justificativa

Reconhece-se que a estimativa do valor da perda de carga, quando se trata de instalação hidráulica predial, é muito importante, principalmente no pavimento mais desfavorável em relação à pressão, considerando uma vez que o pavimento é o mais próximo do reservatório e a energia potencial já é pequena. Assim, a quantidade de conexões especiais e peças acessórias, pode levar a uma perda de carga que reduza a pressão no ponto de utilização abaixo do valor mínimo para funcionamento do aparelho, caso não dimensionado adequadamente.

Para que os projetos hidráulicos sejam aplicados corretamente e seus condutores funcionem corretamente é fundamental, portanto, que a estimativa da perda de carga represente valores próximos do que ocorre na realidade.

### 1.3 Organização do Trabalho

Para que este estudo possa alcançar seu objetivo, o presente trabalho encontra-se estruturado em três capítulos.

**Capítulo 1:** Demonstra uma breve introdução sobre o tema, trazendo a contextualização do problema de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa para a pesquisa referente a perda de carga das conexões especiais e a organização do trabalho.

**Capítulo 2:** Apresenta a fundamentação teórica, que mostra qual a direção da pesquisa do trabalho, reunindo os assuntos que englobam a investigação do tema.

**Capítulo 3:** Exibe quais serão os métodos de análise para a obtenção dos dados necessários para alcançar os objetivos específicos, para chegar ao alcance dos objetivos finais do trabalho. Este capítulo também contempla os procedimentos a serem utilizados para o alcance dos resultados finais.

**Capítulo 4:** Expõe uma análise criteriosa dos resultados obtidos nos experimentos e compara as demais premissas disponibilizadas nos objetivos específicos do trabalho.

**Capítulo 5:** Exibe as conclusões baseadas nos resultados obtidos da investigação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Tipos e Regimes de Escoamento

Para a mecânica dos fluidos, toda a substância que é capaz de escoar e tomar forma de acordo com o recipiente depositado, denomina-se fluido. O escoamento que ocorre com este fluido possui muitas denominações e, a partir destas, são classificadas de acordo com suas características, que podem ser: uniforme, variado, turbulento, laminar, livre, forçado, dentre outros.

Basicamente o escoamento uniforme ocorre quando suas características, direção, sentido e velocidade são iguais em todos os pontos medidos. Se sua velocidade característica variar, então este escoamento é denominado não uniforme ou variado.

Já o escoamento em superfície livre ocorre essencialmente pela ação da gravidade, e ele acontece basicamente em rios e córregos, onde sua seção transversal não possui forma definida e, para que o escoamento seja livre, o líquido que percorre esta seção precisa estar em contato com a atmosfera. Já o escoamento forçado, ou em pressão, é o tipo de escoamento presente em tubulações fechadas, nos quais preenchem todos os espaços da mesma e a pressão interna é diferente que a pressão atmosférica. (PORTO, 2006)

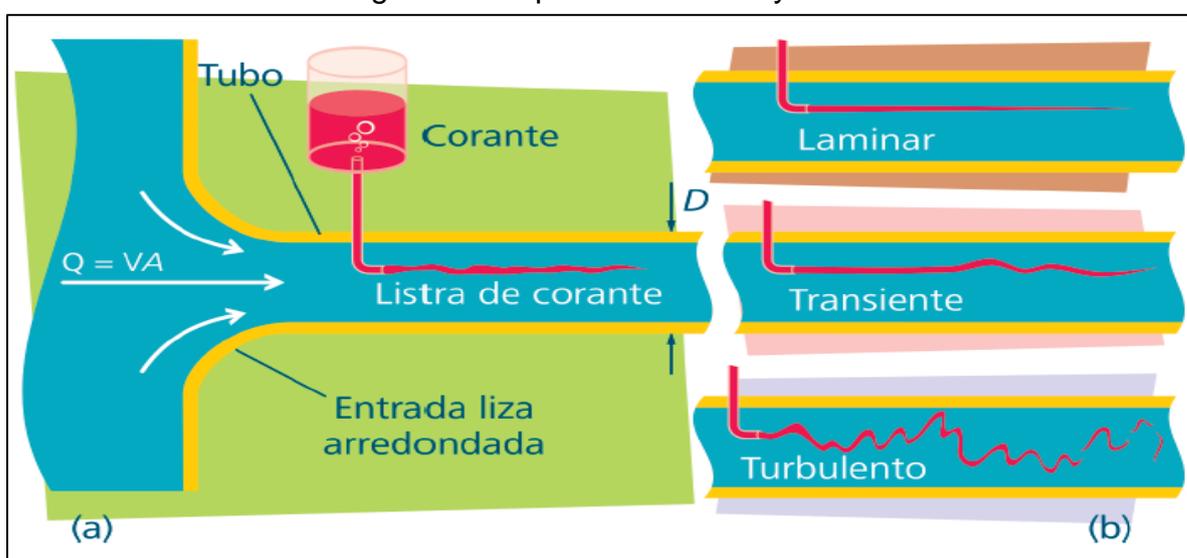
Neste estudo será englobado fundamentalmente o escoamento forçado, pois será analisada a perda de carga que conexões especiais têm ao longo de uma tubulação. E essas conexões são preenchidas ao longo de toda sua seção com água, sendo assim caracterizado como escoamento forçado.

Quando o fluido se move em um único sentido, em velocidade baixa ou com viscosidade alta, e com rumo bem definido, pode se defini-lo como escoamento laminar. Mas cabe salientar que, com o aumento da velocidade de transporte ou com a viscosidade relativamente baixa, passa-se de escoamento laminar para turbulento, onde sua trajetória não é mais em um único sentido e sim em movimentos aleatórios, onde se encontram muitos problemas comuns na Engenharia.

Em 1883, o cientista britânico Osborne Reynolds realizou um experimento que ficou conhecido como Experimento de Reynolds, no qual foi observado como se comporta o escoamento em líquidos.

Como mostrado na Figura 1 (a), através de um tubo de vidro com o auxílio de uma sonda com fluido colorido (corante) e água, o experimento que foi realizado por Reynolds teve como objetivo mostrar o padrão do escoamento. Para este experimento, a vazão que percorria o tubo era controlada e para pequenas vazões o fluido colorido se transportava em filete ao longo do trajeto. Já para vazões crescentes apresentaram-se oscilações, chegando no completo desaparecimento do filete, tendo como objetivo a mistura do líquido com o fluido colorido. Assim, foi possível encontrar dois tipos de existência de escoamento, laminar e turbulento, separados pela sua transição, como mostra a Figura 1 (b).

Figura 1 – Experimento de Reynolds



Fonte: VILANOVA (2011, p. 50)

Reynolds, após suas investigações teóricas e experimentais, trabalhando com diferentes diâmetros e temperaturas, concluiu que o melhor critério para se determinar o tipo de movimento em uma canalização não se prende exclusivamente ao valor da velocidade, mas ao valor de uma expressão sem dimensões, na qual se considera também a viscosidade do líquido (AZEVEDO NETTO, 1998, p. 112).

A Equação 1 mostra como se é obtido este valor adimensional.

$$\text{Rey} = \frac{VD}{\nu} \quad \dots(1)$$

Onde:

Rey – Número de Reynolds

V – Velocidade do fluido (m/s);

D – Diâmetro da canalização (m);

$\nu$  – Viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s).

Após a obtenção do número de Reynolds, é possível definir se o escoamento é laminar, transiente ou turbulento. Para o escoamento ser denominado laminar, o número de Reynolds deve ser inferior a 2000 em tubulações. O número de Reynolds entre valores de 2000 e 4000 é chamado escoamento transiente, pois encontra-se em uma zona crítica, onde não é possível assegurar em qual tipo de escoamento se encontra.

Se o escoamento se verificar com o número de Reynolds superior a 4000, o movimento nas condições correntes, em tubos comerciais, sempre será turbulento. Em condições ideais de laboratório, já se tem observado o regime laminar com valores de Re superiores a 40000; entretanto, nessas condições, o regime é muito instável, bastando qualquer causa perturbadora, por pequena que seja, para modificá-lo. Na prática, admite-se que tais causas perturbadoras estejam sempre presentes (AZEVEDO NETTO, 1998, p. 112).

## **2.2 Equações Fundamentais do Escoamento**

### **2.2.1 Equação da Continuidade**

Vários conceitos são importantes nos fundamentos de escoamento dos fluidos, como a conservação da massa que desenvolve a partir da equação da continuidade. Pode-se definir equação da continuidade, simplesmente pelo fato de que, a quantidade de massa que entra no corpo é a mesma quantidade de massa que sai, ou seja, o fluxo de líquido deve ser constante mesmo que sua seção seja variável, onde, assim, irá aumentar ou diminuir sua velocidade de percolação. (BAPTISTA, 2010) Logo, considerando duas seções em qualquer corpo/tubulação, sendo a seção 1 definida como a entrada e a seção 2 como saída, tem-se a Equação 2.

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad \dots(2)$$

Onde:

$\rho$  – Massa específica do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$V$  – Velocidade média do escoamento ( $\text{m/s}$ );

$A$  –Área da seção transversal do escoamento ( $\text{m}^2$ ).

Para o estudo da hidráulica, tem-se como principal objetivo a implementação em fluidos como a água, então, considera-se praticamente incompressíveis a massa específica do fluido, onde a equação da continuidade acaba sendo como mostrada a Equação 3. (BAPTISTA, 2010)

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \dots(3)$$

Onde:

$Q$  – Vazão do escoamento ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$V$  – Velocidade média do escoamento ( $\text{m/s}$ );

$A$  –Área da seção transversal do escoamento ( $\text{m}^2$ ).

### 2.2.2 Equação de Bernoulli

A Equação de Bernoulli, desenvolvida por Daniel Bernoulli, um matemático suíço, é utilizada para expor o comportamento do fluido em movimento no interior dos tubos. Esta equação pode ser formulada a partir do Teorema Trabalho Energia, pois expressa a conservação da energia do fluido e também as Leis de Newton, onde, se a velocidade em que o fluido percorre muda ao longo do percurso, é porque existem diferenças de pressão ao longo da tubulação.

A equação de Bernoulli consiste em um caso particular da Primeira Lei da Termodinâmica, que estabelece que a mudança de energia interna de um sistema é igual à soma da energia adicionada ao fluido com o trabalho realizado pelo fluido. (BAPTISTA, 2010)

Desta forma, considerando o movimento permanente e um fluido incompressível, onde o peso específico é constante, a Equação 4 mostra como deve ser aplicada a equação de Bernoulli entre duas seções.

$$\left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \right) = H_m + \Delta h \quad \dots(4)$$

Onde:

P – Pressão no ponto (N);

$\gamma$  – Peso específico do fluido (N/m<sup>3</sup>);

Z – Energia ou carga de posição (m);

$\alpha$  – Coeficiente de Coriolis (adimensional);

$\frac{P}{\gamma}$  – Energia ou carga de pressão (m);

$\alpha \frac{V^2}{2g}$  – Energia ou carga cinética (m);

H<sub>m</sub> – Energia inserida ou removida do sistema considerada caso exista alguma máquina como bomba ou turbina (m);

$\Delta h$  – Perda de carga (m).

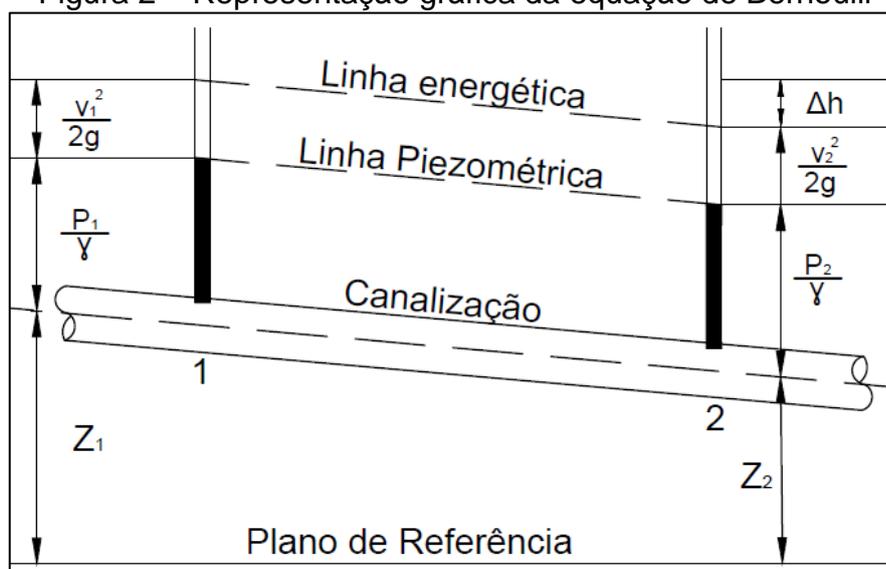
Sabe-se que através da Física pode-se transformar energia potencial em cinética e vice-versa. Denomina-se energia potencial, a parcela de soma entre  $\frac{P}{\gamma} + Z$  e, assim, energia cinética como  $\alpha \frac{V^2}{2g}$ .

O fator  $\alpha$  pode ser denominado também como coeficiente de energia cinética, ou de Coriolis, como já foi citado. Este fator serve para corrigir a parcela relativa a carga cinética, pois há nas paredes internas da tubulação um atrito com o fluido e isso causa uma variação de velocidade significativa.

Quando está acontecendo escoamento em condutos forçados, a velocidade é uniforme, assim, quando não há variações significativas de velocidade nas seções de escoamento, adota-se  $\alpha$  igual a 1, conforme descrito por Baptista (2010).

Segundo Azevedo (1998), a perda de carga, registrada como  $\Delta h$ , na Figura 2, é de grande importância para problemas hidráulicos na engenharia e tem sido foco de várias investigações ao longo de gerações de cientistas.

Figura 2 – Representação gráfica da equação de Bernoulli



Fonte: Azevedo (1998, p. 115)

O escoamento mostrado na Figura 2 é um exemplo de conduto forçado, onde a Linha Energética ou Linha de Energia, demonstra o somatório das parcelas de carga  $\left(\frac{P}{\gamma} + Z + \alpha \frac{V^2}{2g}\right)$ , ou seja, a energia hidráulica que o líquido possuía.

Já a Linha Piezométrica é a parcela da energia potencial, ou seja  $\frac{P}{\gamma} + Z$ , onde mostrará o nível que o líquido atingirá em cada trecho. A perda de carga,  $\Delta h$ , é somente o abaixamento entre os dois trechos da Linha Energética, onde os resultados foram todos obtidos de acordo com o Plano de Referência mostrado na Figura 2.

### 2.3 Perda de Carga em Tubulações

Segundo Baptista (2010), quando um líquido está sendo escoado, ele transforma parte de sua energia em calor, contudo, esta parcela de energia cinética e/ou potencial da qual foi transformada não é mais recuperada, assim denominando a perda de carga em tubulações.

A perda de carga total em determinado trecho de tubulação é formada pelo somatório das duas parcelas: i) perda de carga distribuída ou contínua ( $\Delta h'$ ); e perda de carga localizada ( $\Delta h''$ ).

### 2.3.1 Perda de Carga Contínua

O fator de atrito entre partículas escoando em diferentes velocidades é uma das principais razões que ocasionam perda de carga distribuída. No entanto, as causas que levam a acontecer esta variação de velocidade na tubulação são fatores como: a rugosidade das paredes, do fluido, a viscosidade e a massa específica, pois provocam também a perda de energia ao longo de seu comprimento.

Como a perda de carga distribuída e o comprimento da tubulação determinam a razão que expressa a inclinação que é chamada de perda de carga unitária (J), a Equação 5 fornece o gradiente da linha de energia.

$$J = \frac{\Delta h'}{L} \text{ (m/m)} \quad \dots(5)$$

Onde:

J – Perda de carga unitária (m);

$\Delta h'$  – Perda de carga distribuída (m);

L – Comprimento da tubulação (m).

Através de análise dimensional, obtém-se uma relação entre parâmetros geométricos, perda de carga continua e propriedades importantes do fluido. Esta relação resulta na equação universal de perda de carga, que foi desenvolvida por Darcy-Weisbach, para aplicações em tubos circulares e está exposta na Equação 6.

$$\Delta h = f \frac{L.V^2}{D.2g} \quad \dots(6)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

L – Comprimento da tubulação (m);

V – Velocidade de percolação do fluido (m);

D – Diâmetro da tubulação (m).

A equação também pode ser expressa em função da sua vazão, como mostra a Equação 7, porém, demonstrando a carga unitária.

$$J = \frac{8.f}{\pi^2.g} \frac{Q^2}{D^2} \quad \dots(7)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

g – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

Q – Vazão (m<sup>3</sup>/s);

D – Diâmetro da tubulação (m).

### 2.3.1.1 Fator de Atrito

O coeficiente de perda de carga, ou fator de atrito, pode ser denominado como um valor adimensional que depende do regime do escoamento. E para escoamento laminar, pode ser obtido pela Equação 8 de Hagen-Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Rey} \quad \dots(8)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

Rey – Número de Reynolds.

Conforme Porto (2006) em 1933, resultados de um trabalho experimental, para a determinação do fator de atrito em tubulações circulares, por J. Nikurasde, onde realizou-se com tubos lisos com paredes revestidas com grãos de areia, de granulometria controlada, onde este tipo de situação foi criada para encontrar valores relacionados ao da rugosidade relativa. Assim J. Nikuradse (1933) propôs, ao fim do experimento, que para os escoamentos turbulentos lisos, a determinação do fator de atrito seja feita através da Equação 9, uma vez que é válida para  $\frac{u_*\epsilon}{V} < 5$  e  $\frac{Rey\sqrt{f}}{\frac{D}{\epsilon}} < 14,14$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{Rey\sqrt{f}}{2,51} \quad \dots (9)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

Rey – Número de Reynolds.

Para escoamento turbulento rugoso, o valor do fator de atrito é dado pela Equação 10, sendo válida para:  $\frac{u*\varepsilon}{V} > 70$  e  $\frac{Rey\sqrt{f}}{\frac{D}{\varepsilon}} > 198$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( 3,71 * \frac{D}{\varepsilon} \right) \quad \dots (10)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

$\varepsilon$  – Rugosidade da tubulação (m);

D – Diâmetro da tubulação (m).

Baseando-se nas pesquisas anteriores, Colebook e White, em 1939, propuseram para as tubulações com escoamento turbulento de transição, trabalhadas em tubulações comerciais, a Equação 11, que representa uma combinação das Equações 9 e 10, e assim como elas, devendo ser aplicada somente no seguinte intervalo:  $14,14 < \frac{Rey\sqrt{f}}{\frac{D}{\varepsilon}} < 198$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3,71 * D} + \frac{2,51}{Rey\sqrt{f}} \right) \quad \dots (11)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

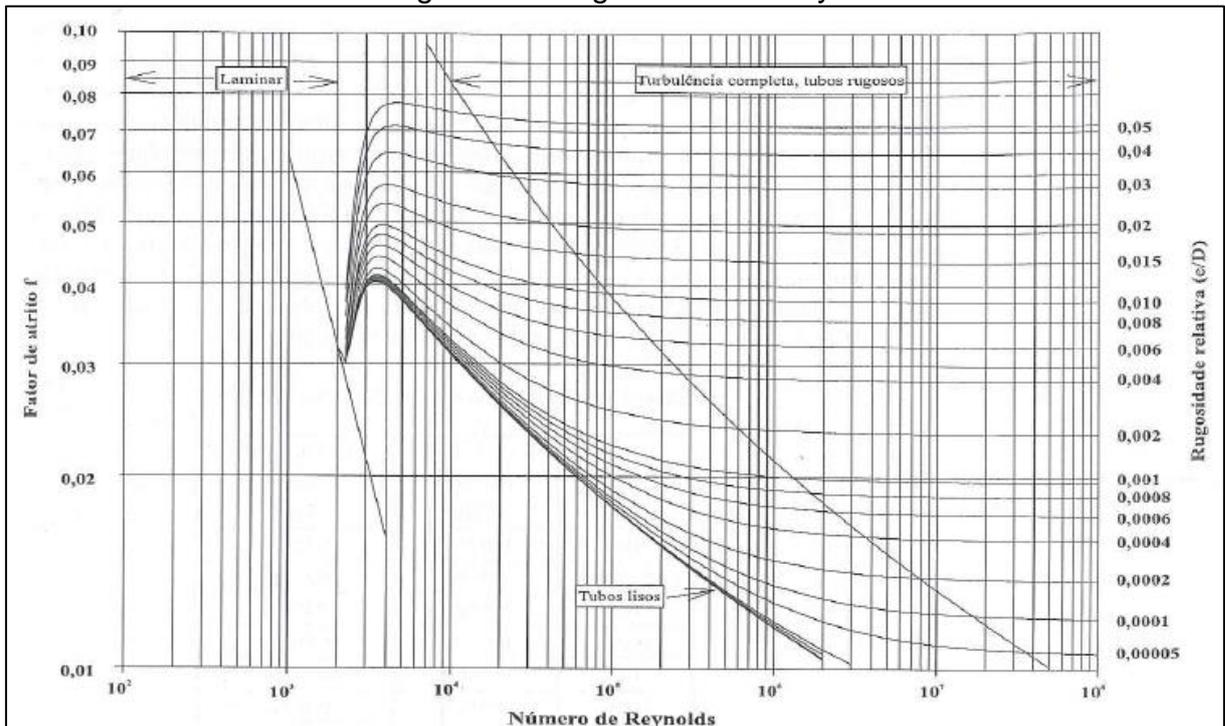
$\varepsilon$  – Rugosidade da tubulação (m);

Rey – Número de Reynolds;

D – Diâmetro da tubulação (m).

Já em 1944, Moody realizou a representação desta equação em gráfico, na forma do diagrama de Stanton, onde os eixos de coordenadas são em graduação logarítmica, como mostra a Figura 3, sendo o fator de atrito em coordenadas e o número de Reynolds em abcissas.

Figura 3 – Diagrama de Moody



Fonte: Porto (2006, p.47)

Porém, devido à complexidade do gráfico, pode-se explicitar o valor do fator de atrito em função da velocidade média, como mostra a Equação 12.

$$V = -2\sqrt{2 * g * D * J} * \log\left(\frac{\varepsilon}{3,71 * D} + \frac{2,51v}{D\sqrt{2 * g * D * J}}\right) \quad \dots (12)$$

Onde:

- V – Velocidade média (m/s);
- f – Fator de atrito (adimensional);
- Rey – Número de Reynolds;
- g – aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);
- J – Perda de carga unitária (m);
- D – Diâmetro da tubulação (m);

$\varepsilon$  – Rugosidade da tubulação (m).

Assim chegando-se na Equação 13, que foi desenvolvida por Swamee, onde é uma simplificação da Equação 11, explícita e aproximada, desde que esteja entre os períodos de:  $10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6}$  e  $5 \cdot 10^3 \leq \text{Rey} \leq 10^8$ .

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log\left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Rey}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \dots (13)$$

Onde:

f – Fator de atrito (adimensional);

Rey – Número de Reynolds;

D – Diâmetro da tubulação (m);

$\varepsilon$  – Rugosidade da tubulação (m).

### 2.3.1.2 Equações Empíricas para Escoamento Turbulento de Transição

As tubulações comerciais frequentemente utilizadas em projetos hidráulicos trabalham em regime turbulento de transição. Existem fórmulas práticas que foram desenvolvidas por pesquisadores em laboratórios, as quais podem ser empregadas para determinar perda de carga em situações específicas.

Existem vários tipos de equações que podem substituir o embasamento teórico de forma mais prática, sendo as mais empregadas em questões práticas da engenharia hidráulica as equações de Fair-Whipple-Hsiao e Hazen-Williams.

A equação de Fair-Whipple-Hsiao utiliza-se para diâmetros menores de 100mm, para transporte de líquidos tanto em temperatura ambiente, quanto aquecidos. E a equação prática de Hazen-Williams é recomendada, para aplicação de diâmetros iguais ou maiores do que 100mm e líquidos à 20°C.

Para melhor entendimento, as Equação de Fair-Whipple-Hsiao e Hazen-Williams estão descritas nas subseções 2.3.1.2.1 e 2.3.1.2.2 deste trabalho.

### 2.3.1.2.1 Equação de Fair-Whipple-Hsiao

Esta equação é mais utilizada para diâmetros pequenos, ou seja, menores que 100mm. Para instalações prediais, são necessários nas instalações de água fria e água quente, grandes números de conexões ao longo da tubulação e também trechos curtos de tubulações onde ocorrem grandes variações de diâmetros.

De acordo com o material utilizado, muda-se a fórmula a ser utilizada para encontrar a perda de carga unitária. A Equação 14, mostra a fórmula a ser empregada para o caso de cobre ou plástico, onde entra o material estudado, PVC rígido, para condução de água fria:

$$J = 0,000859 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad \dots(14)$$

Onde:

J – Perda de carga unitária (m/m);

Q – Vazão (m<sup>3</sup>/s);

D – Diâmetro da tubulação (m).

Já para tubulações de aço galvanizado ou ferro fundido conduzindo água fria utiliza-se a Equação 15.

$$J = 0,0002021 \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}} \quad \dots(15)$$

Onde:

J – Perda de carga unitária (m/m);

Q – Vazão (m<sup>3</sup>/s);

D – Diâmetro da tubulação (m).

### 2.3.1.2.2 Equação de Hazen - Williams

Podendo ser aplicada para qualquer tipo de conduto e material, a equação de Hazen-Williams geralmente é indicada para todos os casos que envolvem os

diâmetros maiores ou iguais do que 100mm de diâmetro, desde que o líquido esteja com uma temperatura em torno de 20°C, pois não se leva em consideração o efeito da viscosidade. Esta equação é indicada para escoamento turbulento de transição, e é mostrada na Equação 16.

$$J = \frac{10,64 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad \dots(16)$$

Onde:

J – Perda de carga unitária (m/m);

Q – Vazão (m<sup>3</sup>/s);

C – Coeficiente de perda de carga;

D – Diâmetro da tubulação (m).

O valor do coeficiente de perda de carga utilizado na Equação de Hazen-Williams, depende do material, como mostra a Tabela 1.

<b>Material</b>	<b>Valores do coeficiente C</b>
<b>Aço corrugado</b>	60
<b>Concreto, bom acabamento</b>	130
<b>Ferro fundido, novo</b>	130
<b>Ferro fundido, usado</b>	90
<b>Ferro fundido, após 15-20 anos</b>	100
<b>Aço galvanizado</b>	125
<b>Cobre</b>	130
<b>Tubos extrudados, P.V.C.</b>	150

Fonte: Adaptado PORTO (2006, p. 54)

### 2.3.2 Perda de Carga Localizada

Na instalação hidráulica, ocorre a utilização de conexões e peças acessórias para fazer manobras, mudanças de direções e adaptações, de forma a deixar o projeto hidrossanitário compatível com os demais.

Segundo Porto (2006, p. 69), para a maioria dos acessórios ou conexões utilizadas nas instalações hidráulicas, não há um tratamento analítico para o cálculo da perda de carga desenvolvida. Apenas possui um campo de análise experimental, pois a avaliação de tais perdas depende de fatores diversos e de difícil qualificação.

Apesar disso, há experiências que mostram que as perdas de cargas localizadas podem ser expressas pela Equação 17.

$$\Delta h'' = K \frac{V^2}{2g} \quad \dots(17)$$

Onde:

$\Delta h''$  – Perda de carga localizada (m/m);

K – Coeficiente de perda de carga;

V – Velocidade média de uma seção (m/s);

g – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

O valor de K, coeficiente de perda de carga, depende da geometria e do número de Reynolds, rugosidade do material e, em algumas situações, das condições de escoamento, como descreve Silva (2016). Para alguns de seus valores, deve-se adotar valores médios, pois como são adquiridos experimentalmente, ocasionam-se perdas por diversos fatores.

A perda de carga que há em cada conexão também depende de seu acabamento interno, pois pode variar para cada fabricante e, assim, alterar também o seu valor.

### **2.3.2.1 Conexões Especiais**

Conexões especiais, denominadas também de peças especiais, são peças que se localizam em cada troca de sentido do transporte do fluido. Elas são utilizadas para melhor alocar as tubulações nas edificações.

Curvas de transposição, são conexões utilizadas em casos que não se leva em consideração um desnível sobre os sistemas de tubulações e que em algum trecho desse sistema ocorrerá um choque transversal de tubulações, fazendo com que ocorra então o emprego da curva de transposição, que será somente no ponto específico da sobreposição das tubulações, não alterando o projeto já dimensionado.

Registro de esfera, de pressão e de gaveta são as peças utilizadas para romper a passagem de fluido por completo de um dimensionamento, ou apenas controlar o fluxo do mesmo. Alguns registros ficam com uma parcela dele localizado dentro da alvenaria/parede, deixando somente a parte da regulagem para fora, ou podem ficar totalmente aparente, desse modo, ambos para que se possa regular ou interromper a vazão.

Joelho é uma das conexões mais utilizadas na implementação do sistema hidráulico da edificação, ele pode ser de  $90^\circ$  ou de  $45^\circ$ . O joelho dispõe da mesma função de uma curva, porém, é uma peça de curva curta que e pode ser locado em espessuras pequenas, característica que a curva não possui, pois trata-se de conexão de curva longa que necessita de uma espessura mais espessa.

Para o registro de esfera e joelhos, é possível encontrar valores do coeficiente de perda de carga. Contudo, para a conexão especial, curva de transposição, não se encontram na bibliografia equações que ajudem a determinar o valor da perda de carga que possuem. Então, para a obtenção de seu valor serão utilizados apenas valores obtidos experimentalmente no próprio trabalho.

### **2.3.2.2 Métodos dos comprimentos equivalentes**

Este constitui em outra forma de calcular a perda de carga localizada, onde esta perda é transformada em comprimentos equivalentes, ou seja, perdas presentes em tubulações retilíneas que possuem mesmo diâmetro, mesma vazão e que devem então possuir a mesma perda de carga que é causada pela peça utilizada, como

descreve Silva (2016). Como Silva (2016) apresenta este método dos comprimentos equivalentes, nada mais é do que a simplificação do procedimento de cálculo das perdas de cargas, podendo ser descrito pela igualdade da Equação 6, com a Equação 17, como mostra a Equação 18.

$$L_{eq} = \frac{KD}{f} \quad \dots(18)$$

Onde:

$L_{eq}$  – Comprimento equivalente em metros de tubulação para a conexão (m);

$f$  – Fator de atrito (adimensional);

$D$  – Diâmetro da tubulação (m).

## 2.4 Análises Experimentais de Perda de Carga

O valor da perda de carga experimental pode ser obtido de forma prática através da equação de Bernoulli aplicada no início e no final dos trechos desejados, conforme a equação 19.

$$\left( \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) = \left( \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h \right) \quad \dots(19)$$

Onde:

$P$  – Pressão no ponto (N);

$\gamma$  – Peso específico do fluido (N/m<sup>3</sup>);

$Z$  – Energia ou carga de posição (m);

$\alpha$  – Coeficiente de Coriolis (adimensional);

$\frac{P}{\gamma}$  – Energia ou carga de pressão (m);

$\alpha \frac{V^2}{2g}$  – Energia ou carga cinética (m);

$\Delta h$  – Perda de carga (m).

Para que isso seja possível a perda de carga ( $\Delta h$ ) é o valor a ser descoberto entre dois pontos de mesma cota, diâmetro e vazão constantes. Assim tem-se as equações 20 e 21.

$$Z_1 = Z_2 \quad \dots(20)$$

$$v_1 = v_2 \quad \dots(21)$$

Onde:

$Z$  – Energia ou carga de posição (m);

$v$  – velocidade do fluido (m/s).

Portanto, isolando a perda de carga, que é o valor a ser encontrado, chega-se a simplificação da equação de Bernoulli, como mostra a Equação 22.

$$\Delta h = \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) \quad \dots(22)$$

Onde:

$P$  – Pressão no ponto (N);

$\gamma$  – Peso específico do fluido (N/m<sup>3</sup>);

$\Delta h$  – Perda de carga (m).

Como mostrado na Equação 22, a perda de carga pode ser encontrada pela medição da pressão nas seções de início e fim do trecho analisado.

#### 2.4.1 Medidas de Pressão

Existem diversos dispositivos para medir a pressão existente nos sistemas. O mais simples deles, segundo Azevedo (1998), é o tubo piezométrico, que consiste em inserir um tubo transparente na canalização e observar o quanto subirá, medindo a altura  $Z$ , que o líquido irá alcançar.

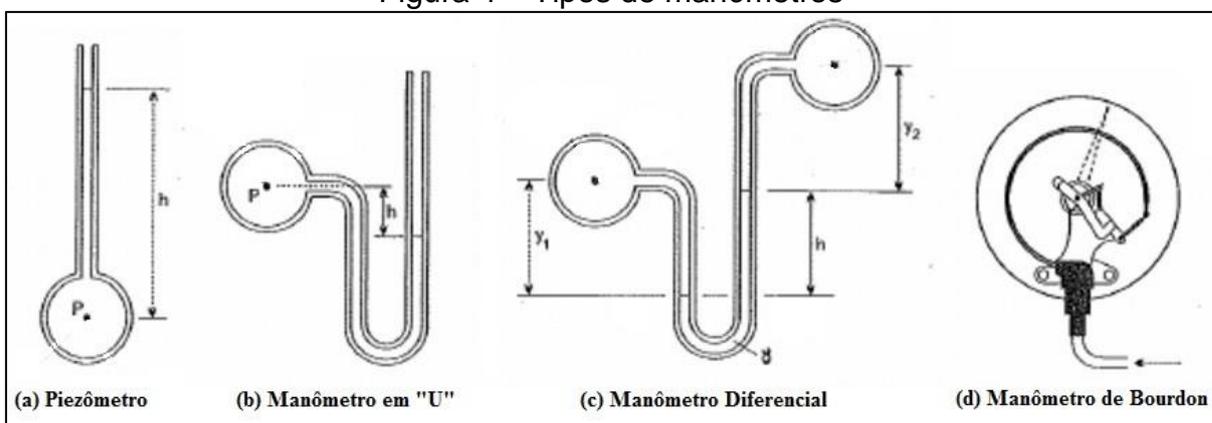
Outros destes dispositivos que medem esta pressão é o manômetro, que pode ser achado em várias formas, tais como: manômetro em “U”, manômetro diferencial e o manômetro metálico tipo Bourdon.

O manômetro tipo “U” denomina-se assim, pois, nada mais é do que a sua formatação, sendo detectado desta forma e podendo encontrar um valor de pressão negativa, ou seja, abaixo da pressão atmosférica, além da positiva. Já o manômetro diferencial possui suas duas extremidades ligadas nos dois sistemas para que seja possível medir a diferença entre eles.

Para medir pressões muito elevadas, utiliza-se nestes dois manômetros já citados acima, líquidos diferentes que estão presentes no sistema, principalmente com peso específico maiores. Mas cabe salientar que, quando deseja-se obter pressões mais baixas, utiliza-se da mesma técnica, com valores de peso específicos mais pequenos, como expõe Azevedo (1998).

Já para processos industriais, utiliza-se, então o manômetro metálico tipo Bourdon, pois ele apresenta outro tipo de funcionamento, com um tubo chato, curvo e selado em uma das extremidades, sendo a outra extremidade livre conectada ao sistema para medir. Assim sendo, esta deformação é proporcional à pressão do sistema que será transmitida por um ponteiro solidário ao tubo curvo a um mostrador e este tipo de manômetro deve estar sempre calibrado para possuir melhor precisão, como descreve Azevedo (1998). A Figura 4 mostra os modelos de manômetros citados anteriormente.

Figura 4 – Tipos de manômetros



Fonte: Adaptado de Azevedo (1998, p. 58)

Basicamente, os dispositivos citados que serão utilizados são baseados na Lei de Stevin, que tem como base a Equação 23.

$$P = h \gamma \quad \dots(23)$$

Onde:

$P$  – Pressão no ponto (N);

$h$  – Altura da coluna de líquido (m);

$\gamma$  – Peso específico do líquido (kN/m<sup>3</sup>).

#### 2.4.2 Estudos Realizados

Citam-se sucintamente, alguns trabalhos encontrados na área de análise experimental da perda de carga de peças especiais.

Silva (2016) realizou verificações da peça de curva de transposição, com diâmetros de 20 mm, 25 mm e 32 mm e de joelho de 90° de 32 mm, no qual o supracitado autor, chegou a resultados já esperados pelos valores da bibliografia para quase todas as peças, exceto para a curva de transposição de 25 mm, como pode-se analisar na Tabela 2, no qual o erro foi devido ao manômetro de baixa precisão ou da variação de diâmetro da bancada utilizada para os ensaios.

Tabela 2 – Perdas de cargas localizadas medianas encontradas por Silva

<b>Conexão/Peça</b>	<b>DN</b>	<b>Comprimento equivalente – Leq (m)</b>	<b>Coefficiente de Perda de carga - K</b>
Joelho 90°	32	0,907	0,429
Curva de Transposição	20	1,293	0,543
	25	1,103	0,216
	32	4,192	0,443

Fonte: Adaptado de Silva (2016)

O presente trabalho, trata-se de uma extensão do trabalho de Silva (2016), onde será executado novos ensaios, com peças especiais diferentes das conexões já

analisadas e será também executada a reanálise do ensaio da curva de transposição, pois, os valores que foram obtidos pelo ensaio realizado não apresentaram resultados esperados para o diâmetro de 25 mm, onde o diâmetro deveria obter valores intermediários, entre o diâmetro de 20 mm e o de 32 mm.

Já Delforno (2006) realizou estudos sobre curvas de transposição de diâmetros de 20 mm, 25 mm e 32 mm de material PVC rígido soldável, e chegou à conclusão de que as perdas de cargas presentes nestas peças não devem ser desprezadas em cálculos de sistemas hidráulicos prediais, ou seja, que a curva de transposição possui grande intensidade diante de todo o sistema, como pode-se analisar na Tabela 3, o valor médio do coeficiente de perda de carga encontrado, da peça de 25 mm ou da de 32 mm.

Tabela 3 – Perdas de cargas localizadas encontradas por Delforno (2006)

<b>Conexão/Peça</b>	<b>DN</b>	<b>Comprimento equivalente - Leq (m)</b>	<b>Coeficiente de Perda de carga - K</b>
Curva de Transposição	20	0,303	0,589
	25	0,794	1,159
	32	0,662	0,781

Fonte: Adaptado de Delforno (2006)

É importante citar que Branco (2005) analisou buchas de redução de PVC soldável de diferentes dimensões e verificou que a perda de carga que se obteve foi de valores médios bastantes elevados, como mostra a Tabela 4. Portanto, torna-se necessário considerar as buchas de redução, uma vez que elas podem comprometer o funcionamento do sistema de instalação hidráulica.

Tabela 4 – Perdas de cargas localizadas encontradas por Branco (2005)

<b>Conexão/Peça</b>	<b>DN</b>	<b>Coeficiente de Perda de carga - K</b>
Bucha de Redução	60x25	1,559
	60x32	1,478
	60x40	1,239
	60x50	1,168

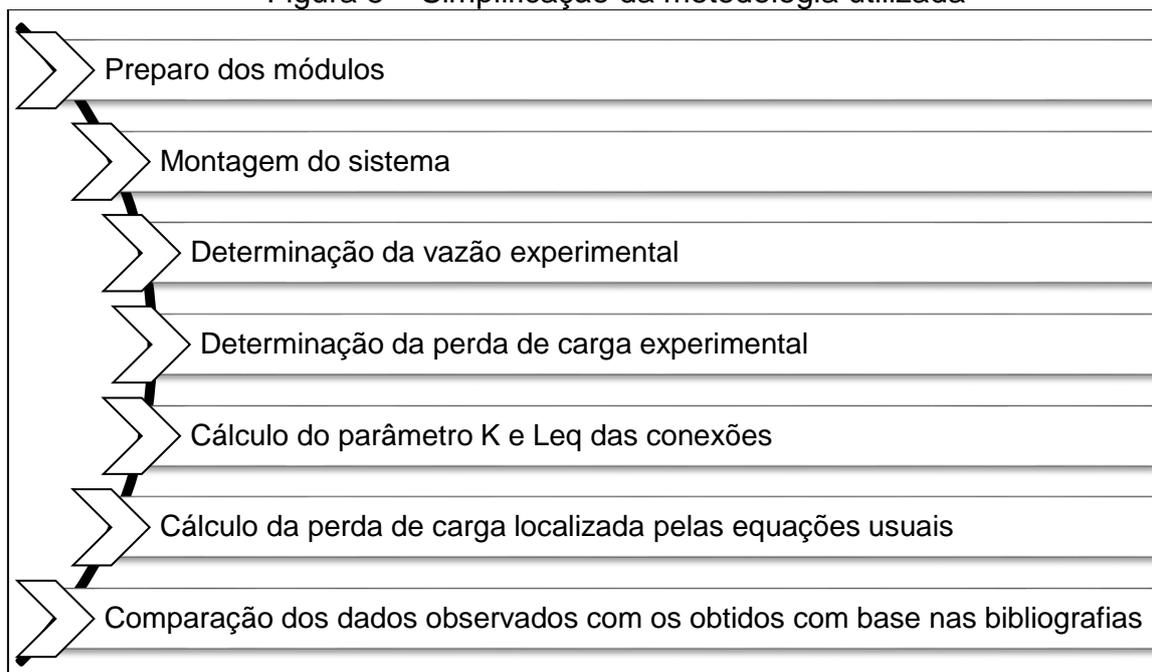
Fonte: Adaptado de Branco (2005)

Após a análise dos trabalhos já realizados, percebe-se que as perdas de cargas em conexões especiais não possuem valores precisos, necessitando de uma maior investigação, pois são bastante utilizadas na prática da instalação hidráulica e não considerar estas perdas pode ocasionar o mau funcionamento do sistema.

### 3 METODOLOGIA

Os métodos e os procedimentos adotados para a realização da pesquisa, estão dispostos na Figura 5, utilizou-se para a realização dos ensaios, o Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete.

Figura 5 – Simplificação da metodologia utilizada



Fonte: Acervo próprio

#### 3.1 Montagem do Sistema

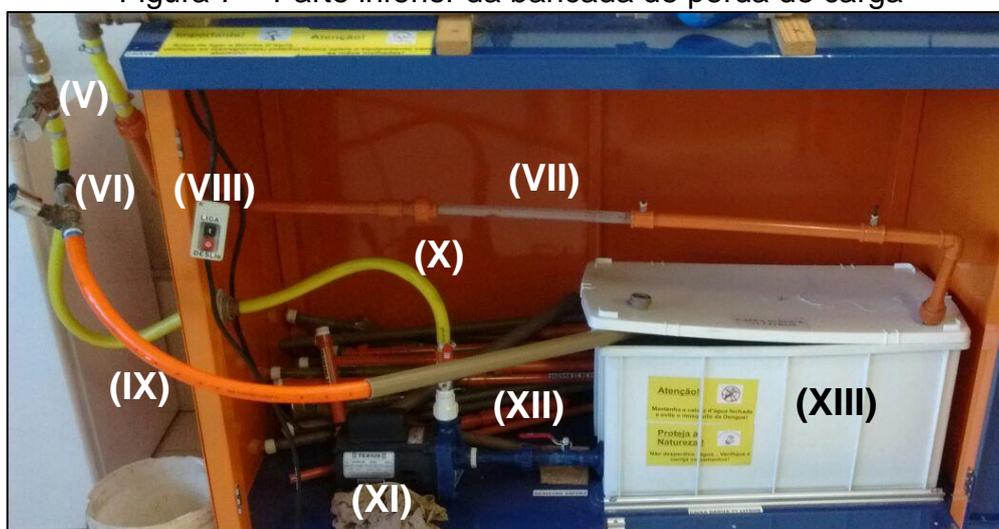
Para realizar os ensaios propostos na pesquisa, empregou-se um simulador de sistema de distribuição de água fria, bancada de perda de carga como mostram as Figuras 6 e 7, de circuito fechado, onde foram adaptadas as peças necessárias ao estudo.

Figura 6 – Parte superior da bancada de perda de carga



Fonte: Acervo próprio

Figura 7 – Parte inferior da bancada de perda de carga

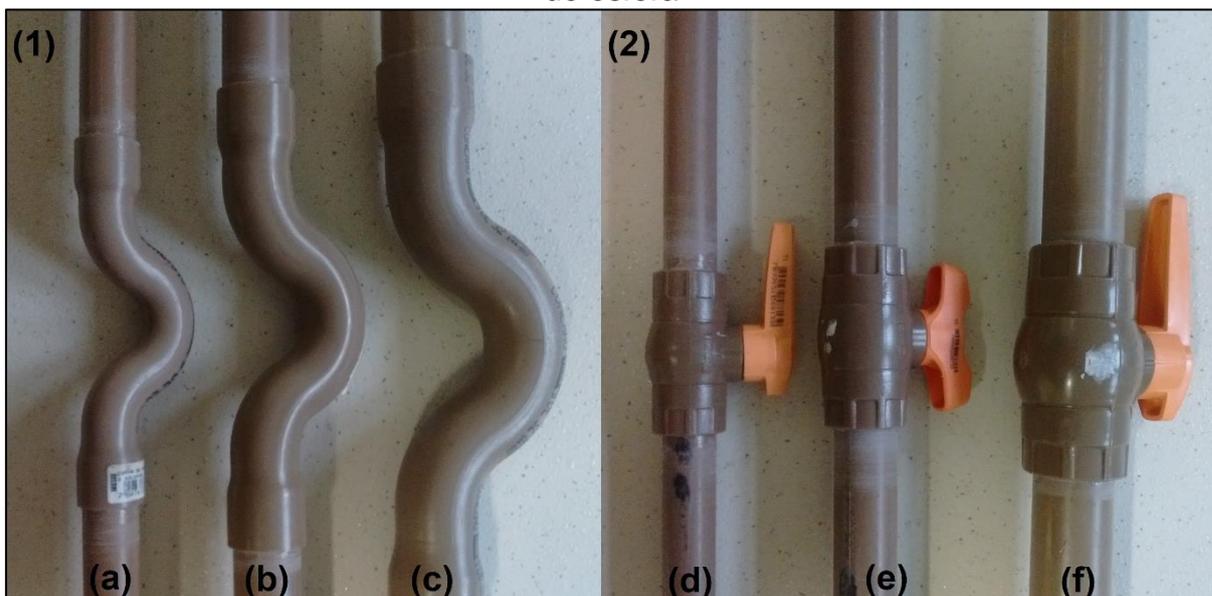


Fonte: Acervo próprio

A bancada, mostrada nas Figuras 6 e 7 é composta por manômetros (I) reservatório (I), registro de gaveta (II), trecho a ser verificado experimentalmente (III), hidrômetro (IV), registro de esfera 1 (V), registro de esfera 2 (VI), retorno para o reservatório (VII), botão ligar/desligar da bancada (VIII), tubulação de retorno, que é de material acrílico transparente (IX), tubulação de recalque (X), motor-bomba (XI), tubulação de sucção (XII) e reservatório (XIII).

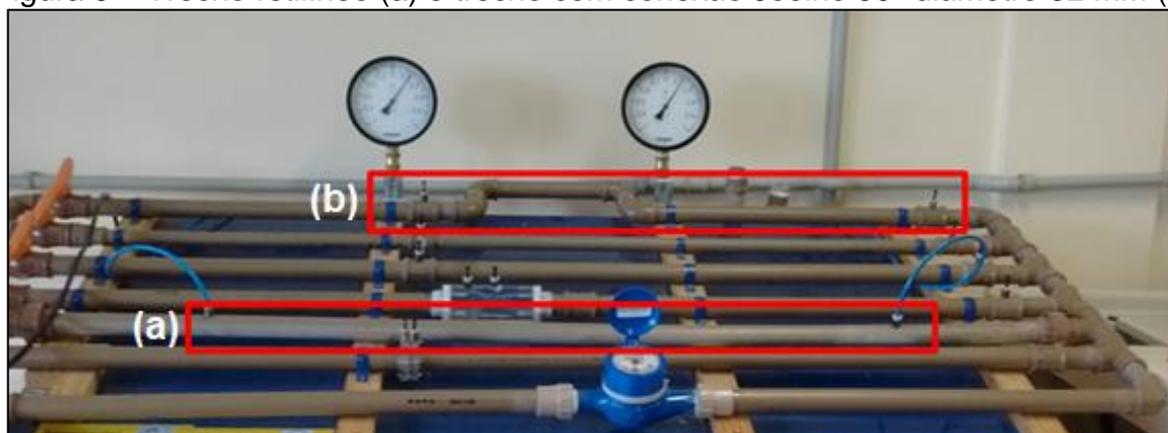
O estudo realizado verificou a perda de carga do material tipo PVC soldável, sendo as conexões especiais do tipo: curva de transposição e registro de esfera, para os diâmetros comerciais de 20 mm, 25 mm e 32 mm e joelho de 90° de 32 mm, como mostram as Figuras 8 e 9 , sendo utilizado para as medições experimentais, o trecho (III) da bancada, como mostra a Figura 6, sendo as conexões especiais utilizadas (1) Curvas de transposição de 20 mm (a), 25 mm (b) e 32 mm (c) e (2) Registro de Esfera de 20 mm (d), 25 mm (e) e 32 mm (f) .

Figura 8 – Conexões especiais utilizadas: (1) Curvas de transposição e (2) Registro de esfera



Fonte: Acervo próprio

Figura 9 – Trecho retilíneo (a) e trecho com conexão Joelho 90° diâmetro 32 mm (b)



Fonte: Acervo próprio

Para melhor organização e disposição dos resultados, utilizaram-se nomenclaturas para cada conexão empregada, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Nomenclatura dos trechos experimentais

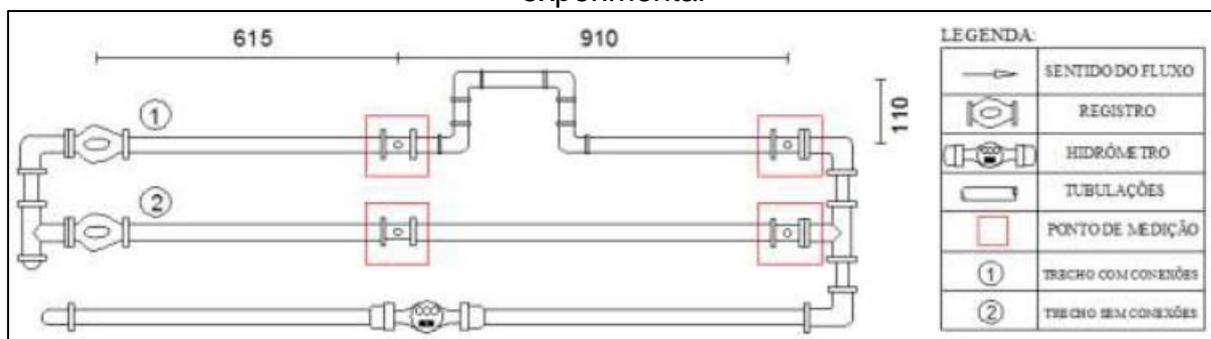
Trecho Experimental	DN (mm)	Nomenclatura
Tubulação Retilínea	20	TR20
	25	TR25
	32	TR32
Curva de Transposição	20	CT20
	25	CT25
	32	CT32
Registro de Esfera	20	RE20
	25	RE25
	32	RE32
Joelho 90°	32	JO32

Fonte: Acervo próprio

### 3.1.1 Joelho 90°

O trecho de joelho 90°, já existia na bancada que foi utilizada para a realização dos ensaios, o diâmetro que foi utilizado para a medição era o mesmo da saída da bancada, ou seja, de 32 mm e, assim, não precisou utilizar buchas de redução na entrada do trecho, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Representação esquemática do trecho dotado de joelho 90° da bancada experimental



Fonte: Silva (2016)

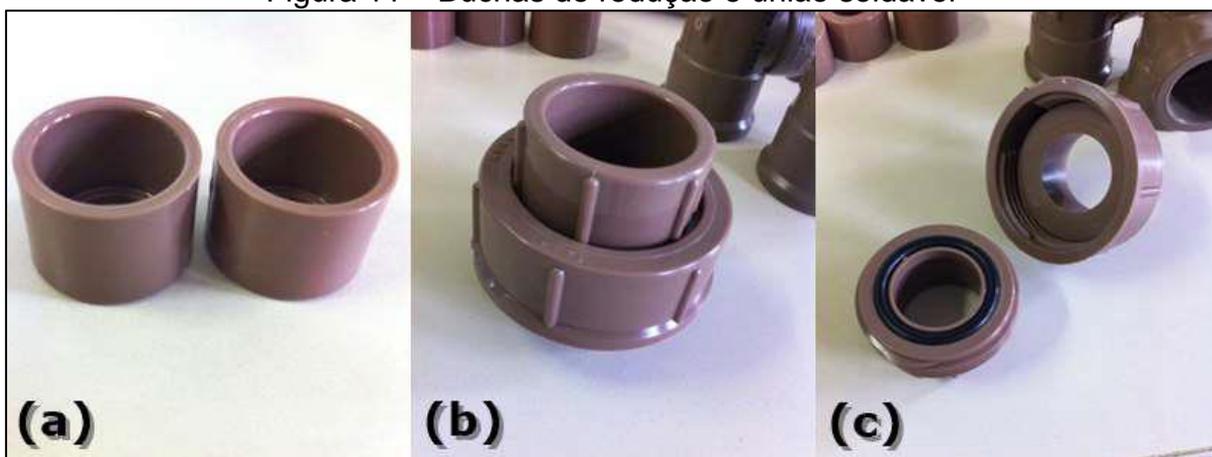
Na Figura 10, pode-se analisar que no trecho 1, apresenta-se 4 conexões do tipo joelho 90° e no trecho 2, consiste apenas em tubulação retilínea.

### 3.1.2 Cuidados tomados na Montagem dos Trechos Utilizados

Como o sistema deve possuir uma boa funcionalidade, tomou-se cuidado para a fixação das tubulações retilíneas soldadas às conexões que se conectaram ao sistema, sendo localizadas à montante e jusante da peça, para que cheguem até a ligação do sistema com o mínimo possível de turbulência, uma vez que esta turbulência pode ocasionar erro nas medições.

A bancada onde foram implantados os novos trechos possui uma saída de 32 mm. Logo para toda e qualquer peça de diâmetro diferente, fez-se necessário fazer uma adaptação com as peças mostradas na Figura 11, para então conseguir adaptar ao sistema.

Figura 11 – Buchas de redução e união soldável



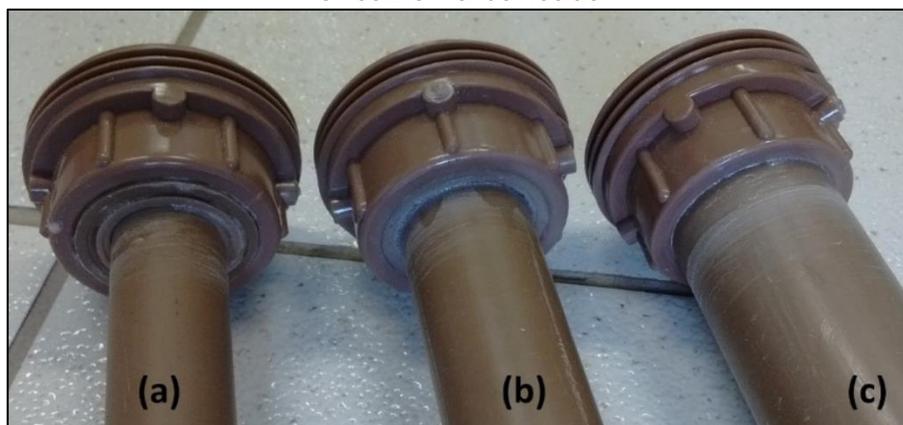
Fonte: Silva (2016)

Pode-se visualizar na Figura 11, buchas de redução (a) de diâmetro de 32 para 25 mm e 25 para 20 mm, união soldável (b) de diâmetro de 32 mm e união soldável (c) que permite inserir e remover os trechos, analisando assim todos os trechos estudados, no mesmo local da bancada.

Para fazer a ligação entre tubulação e conexões, primeiramente lixaram-se todos os elementos, com cuidado para não danificar internamente a conexão e utilizando a lixa de granulação 100 que é a indicada para a tubulação em PVC. Para a união definitiva entre conexões e tubulações, utilizou-se adesivo instantâneo, que foram imediatamente encaixados após a distribuição do adesivo. Para este processo, cuidou-se também a quantidade colocada, pois qualquer excesso pode danificar a

realização do ensaio. A Figura 12 mostra o processo descrito acima já finalizado, sendo mostrado em (a) tubulação de 20 mm, (b) de 25 mm e (c) de 32 mm, sendo em (a) e (b), utilizado buchas de redução, para conectá-los ao sistema.

Figura 12 – Detalhe das extremidades dos trechos experimentais prontos para encaixe na bancada



Fonte: Acervo próprio

Após a montagem do trecho, nas tubulações retilíneas foi necessário realizar uma perfuração, com o uso de uma furadeira de bancada com broca de 4 mm e uma broca de 8 mm em pontos determinados, distanciados meio metro do ponto central da peça instalada no trecho, que mais tarde foram os pontos que se realizaram as medições das pressões na tubulação. Esta variação de broca para a perfuração, só foi utilizada, pois, não se encontrou engate pneumático com roscas do mesmo diâmetro de saída, uma vez que havia um pequeno número de engate pneumático de 4 mm disponível no laboratório. A Figura 13 mostra a diferença dos dois engates pneumáticos utilizados.

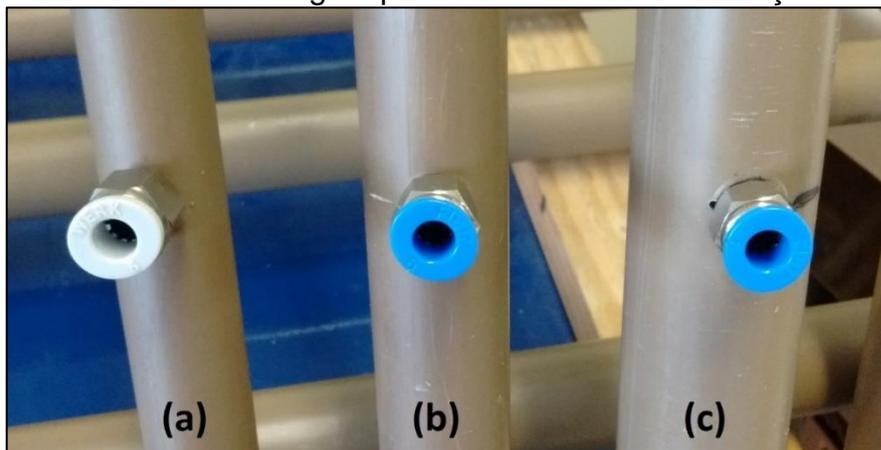
Figura 13 – Diferença de diâmetro de entrada do engate pneumático reto



Fonte: Acervo próprio

No cobrimento da abertura do tubo, empregou-se o engate rápido pneumático reto, sendo disposto para todas as tubulações de 20 mm o engate de conexão de 4 mm, (a), e para os diâmetros maiores, o engate de conexão maior (b) e (c) localizado Figura 14. A saída do engate pneumático reto possui uma dimensão igual para os dois modelos já mostrados, sendo de 6 mm, e essa abertura foi conectada então ao manômetro que serviu para medir a pressão. A Figura 14, também mostra como ficaram dispostos os engates na tubulação.

Figura 14 – Detalhe do engate pneumático e da sua utilização nos trechos



Fonte: Acervo próprio

### 3.2 Ligação dos Trechos Estudados ao Sistema Fechado

Após ter concluído a montagem de todos os intervalos e alocado o trecho a ser estudado na bancada, abriram-se todos os registros da bancada, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Detalhe dos Registros de gaveta, todos abertos

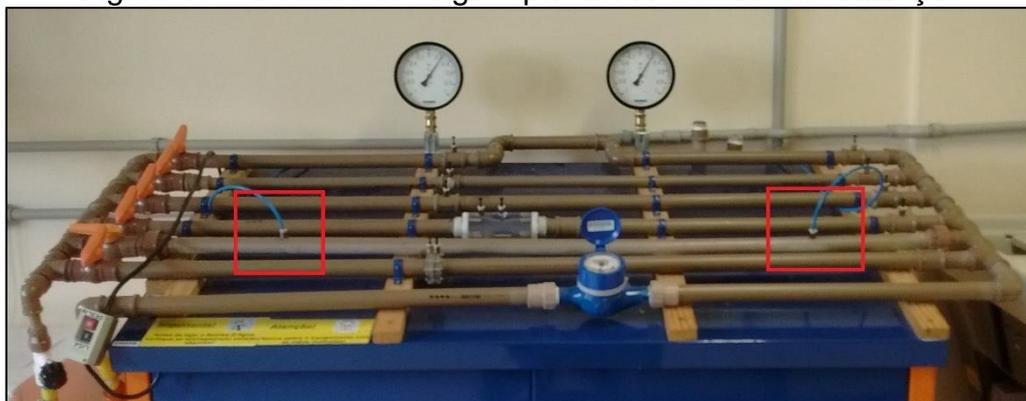


Fonte: Acervo próprio

Para dar início ao experimento, ligou-se o sistema e realizaram-se o fechamento dos registros gavetas, os quais não foram utilizados no momento, apenas foram utilizados o trecho (II) da Figura 7, para não apresentar bolhas de ar na tubulação.

A tomada de pressão só foi feita após a acoplagem do manômetro ao trecho, e como pode ser visualizado na Figura 16, onde mostra os pontos utilizados.

Figura 16 – Detalhe do engate pneumático e da sua utilização



Fonte: Acervo próprio

Para iniciar o experimento, acionou-se o conjunto motor bomba, mostrado na Figura 7 (XI) através do botão ligar/desligar da bancada (VIII), e realizou-se este mesmo procedimento para todos os trechos a serem verificados.

### 3.3 Determinação da Vazão Experimental

Para o cálculo da vazão experimental, mediu-se o tempo do escoamento, para os dados dos volumes observados no hidrômetro, mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Hidrômetro da bancada utilizada



Fonte: Acervo Próprio

Estes volumes foram inseridos na Equação 24, que determinou a vazão em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), sendo ela utilizada para cada diferença de pressão.

$$Q = \frac{V_{o1}}{t} \quad \dots(24)$$

Onde:

$V_{o1}$  – Volume observado ( $m^3$ );

$t$  – Tempo (s).

Para cada trecho, utilizaram-se diferentes vazões, sendo controladas pelo registro de esfera 2, como visto na Figura 7 (VI). Este recurso é usado para verificar o comportamento da perda de carga em função da sua vazão, sendo realizado em

média, três medições para cada vazão, onde será considerada uma vazão média para cada trecho.

### 3.4 Determinação da Perda de Carga Experimental

Para obtenção da perda de carga experimental, aplicou-se a Equação de Bernoulli (Equação 4) e a sua simplificação, que é dada pela Equação 22, onde foram aplicadas nos pontos à montante e à jusante da conexão. Para a obtenção mais precisa dos dados, foram adotadas, em média, três medições, e várias vazões diferentes.

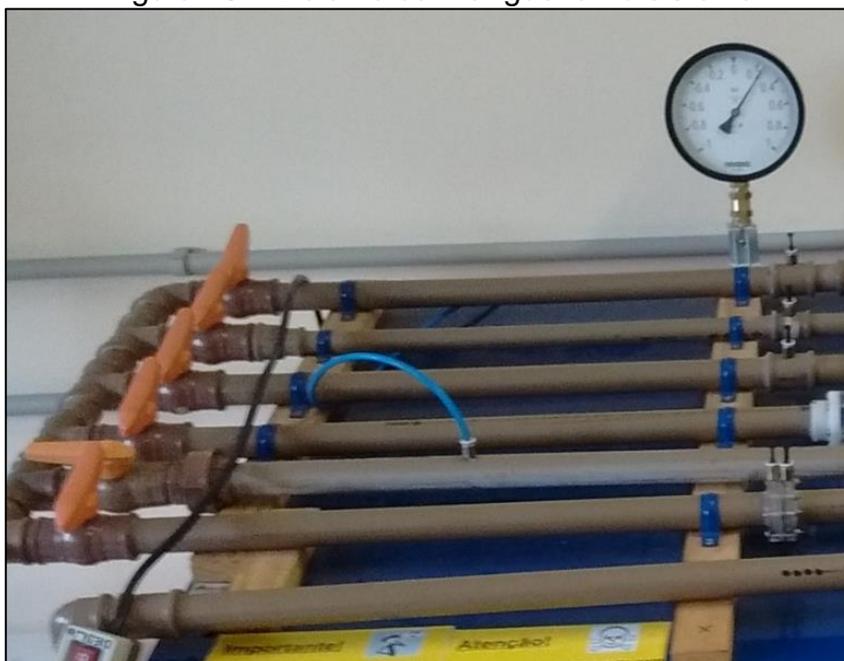
As medições das pressões nos pontos determinados das tubulações foram realizadas com o auxílio de manômetros analógicos, como mostra a Figura 18. Estes foram ligados nos engates pneumáticos através de mangueiras, como apresenta-se a Figura 19, e assim verificou-se qual a pressão do manômetro durante a passagem do fluxo.

Figura 18 – Manômetro analógico



Fonte: Acervo Próprio

Figura 19 – Detalhe da mangueira no sistema



Fonte: Acervo próprio

Para a realização deste estudo, foram utilizados dois manômetros analógicos localizados à montante e à jusante de cada da conexão estudada no momento. Para melhor comparação, registrou-se cada pressão apresentados nos manômetros. A Figura 20 mostra o quão considerável é a diferença da leitura nos dois manômetros.

Figura 20 – Leitura de variação de pressão



Fonte: Acervo Próprio

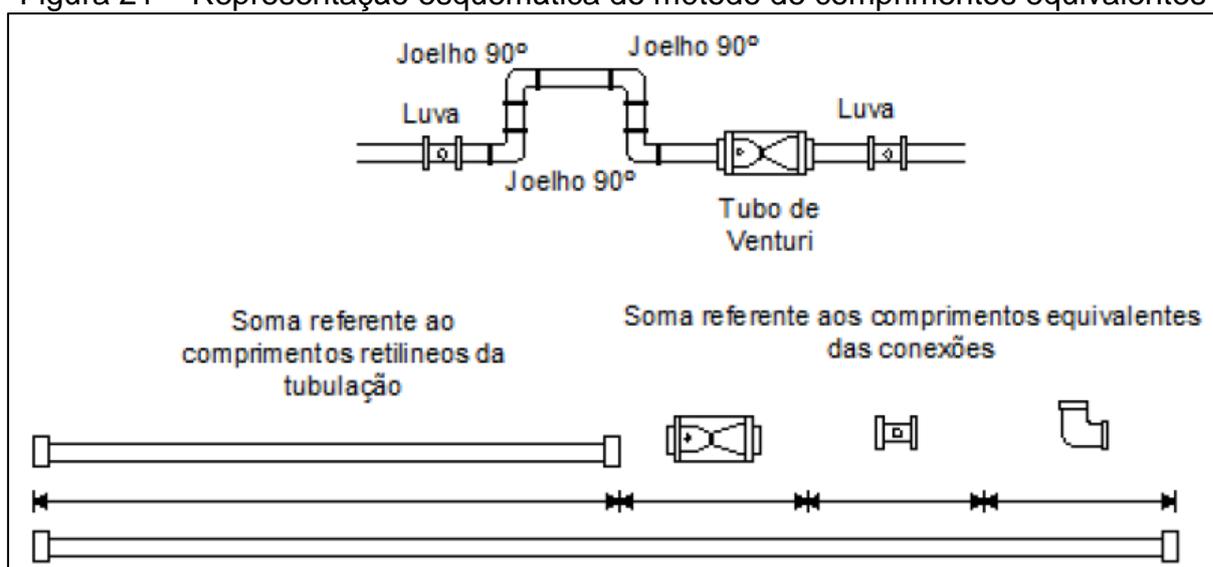
Para o procedimento da leitura das variações de pressão, foram realizadas três medições de pressão para cada vazão, onde a vazão foi determinada pelo pesquisador, tentando manter sempre as mesmas vazões para todos os trechos, para melhor observar as diferenças.

O trecho dos joelhos possuía maior comprimento do que os demais trechos estudados, sendo assim necessária a utilização da perda de carga distribuída por metro retilíneo para a obtenção da perda de carga concentrada de cada joelho 90°, essa diferença pode ser notada no Apêndice C.

### 3.5 Cálculo do Parâmetro K e Leq das Conexões

Para melhor explicar esta simplificação do comprimento equivalente que foi utilizada, a Figura 21 mostra, como seria esta simplificação se fossem utilizadas as conexões especiais como o sistema de perda de cargas destas peças, das quais serão transformados em um sistema simples de perda de cargas distribuídas. O somatório do comprimento real da tubulação com os comprimentos equivalentes de todas as peças resulta no chamado “comprimento virtual” da tubulação. Este é utilizado então para o cálculo da perda de carga total do trecho analisado (perdas de carga distribuídas e localizadas), através da equação universal ou outra equação empírica.

Figura 21 – Representação esquemática do método de comprimentos equivalentes



Fonte: Silva (2016)

Estes valores de comprimentos equivalentes ou virtuais de cada conexão especial necessária podem ser obtidos em valores fornecidos pela ABNT NBR 5626:1998 e pelo Catálogo Técnico da Tigre. Para o presente estudo, foram utilizados apenas materiais de PVC rígido, que está colocado na Tabela 6, são apresentados os respectivos comprimentos equivalentes para registro de globo e registro de gaveta aberto para este tipo de material.

Tabela 6 – Perda de carga localizada: Equivalência em metros de tubulação de PVC rígido

<b>Diâmetro Nominal (DN)</b>	<b>Tipo de conexão</b>	
	<b>Registro de Globo Aberto</b>	<b>Registro de Gaveta Aberto</b>
<b>20</b>	11,1	0,1
<b>25</b>	11,4	0,2
<b>32</b>	15,0	0,3
<b>40</b>	22,0	0,4
<b>50</b>	35,8	0,7
<b>65</b>	37,9	0,8
<b>75</b>	38,0	0,9
<b>85</b>	40,0	0,9
<b>110</b>	42,3	1,0

Fonte: Adaptado Catálogo Técnico da Tigre (2016?)

Para a conexão curva de transposição, não foi possível encontrar nas bibliografias disponíveis valores dos comprimentos equivalentes. Após a obtenção dos dados e para melhor comparação, calculou-se a velocidade experimental, que foi dada pela Equação da Continuidade (Equação 3), onde com a vazão, já determinada, e o diâmetro utilizado, denominou-se a área da seção transversal e, com isso, através da Equação 17, equação geral, obteve-se o valor do coeficiente K.

Com o valor do coeficiente K, calculou-se o valor de  $Leq$ , comprimento equivalente da tubulação, onde utilizou-se a Equação 5 que encontra o valor da perda de carga por metro linear. Assim, com o conhecimento da perda de carga medida,

dividiu-se o valor encontrado pela perda de carga unitária (J), que resultou no comprimento equivalente da peça em estudo.

Para a obtenção do comprimento equivalente,  $Leq$ , utilizou-se a medição para cada diâmetro estudado, em seções sem perdas de cargas localizadas, para assim transformar as perdas de cargas localizadas em distribuídas, ou seja, em comprimento equivalente.

### **3.6 Cálculo da Perda de Carga pelas Equações Usuais e Comparação com Dados Observados**

As perdas de carga para cada trecho testado, foram calculados também através das equações usuais, como a equação universal, de Hazen-Williams e de Fair-Whipple-Hsiao. Assim, os demais valores necessários, como rugosidade e coeficientes de perda de carga "C" foram obtidos em bibliografias consagradas.

Sabe-se que a Equação de Hazen-Williams não é a melhor indicação para diâmetros pequenos, porém é bastante utilizada na prática de projetos hidráulicos, sendo também incluso este método empírico no estudo.

Para a utilização da equação universal, equação de Darcy-Weisbach, determinou-se anteriormente os parâmetros de rugosidade da tubulação e número de Reynolds.

Os valores das perdas de carga totais observadas (pela Equação 22) foram comparados com os valores calculados pelas equações citadas, buscando-se analisar o comportamento das equações e sua aplicabilidade. Os valores então foram analisados estatisticamente em termos de média, desvio padrão, máximo e mínimo.

Os valores já calculados de K e  $Leq$ , também comparados com os valores obtidos das bibliografias, como os estudos de casos, catálogos técnicos, ABNT NBR 5626:1998, ou em qualquer outra bibliografia conceituada.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos através dos métodos descritos anteriormente.

### 4.1 Joelho 90°

Para a melhor disposição, os resultados das diferenças de pressões verificadas para o trecho de joelho 90° encontra-se disposto no Apêndice C, que mostra também a vazão média, conforme o item 3.3.

Com os dados do Apêndice C, encontraram-se valores aproximados utilizados. Na Tabela 7, que mostra os valores da perda de carga unitária por conexão, seu coeficiente de perda de carga e seu comprimento equivalente.

Tabela 7 – Perda de carga unitária e comprimento equivalente para o trecho JO32

Número de Medições	Dados Médios Observados				Dados baseados em Bibliografia				
	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)	k	Leq (m)	$\Delta H$ – Eq. Universal	$\Delta H$ – Eq. Hazen	$\Delta H$ – Eq. Fair-W.
1	2,463	0,024	0,368	0,468	0,9	1,5	0,083	0,079	0,093
2	2,518	0,075	1,105	1,468			0,086	0,083	0,096
3	2,588	0,074	1,03	0,867			0,091	0,087	0,101
4	2,774	0,094	1,148	0,926			0,103	0,099	0,114
5	3,086	0,122	1,203	0,801			0,124	0,121	0,138
6	3,431	0,146	1,163	0,717			0,15	0,147	0,166
Média		0,089	1,003	0,874					
Desvio Padrão		0,043	0,317	0,332					
Mín		0,024	0,368	0,468					
Máx		0,146	1,203	1,468					
Intervalo de Confiança	95% +	0,173	1,624	1,525					
	95% -	0,005	0,382	0,223					

Fonte: Acervo próprio

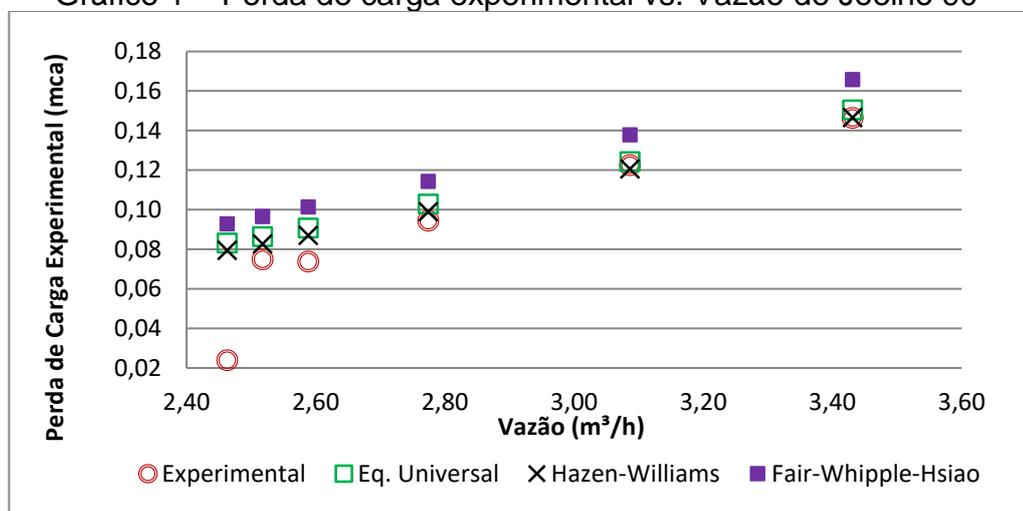
O valor médio encontrado em laboratório para o comprimento equivalente foi de 0,87m, sendo dentro do esperado, pois, o valor encontrado em Porto (2006) é de 1,5m. O mesmo ocorreu para o valor do coeficiente de perda de carga, K, um valor adimensional, onde o valor encontrado em laboratório foi de 1,05 e o valor da bibliografia (NBR 5626:1998) 0,9, demonstrando-se valores muito próximos.

A Tabela 7 apresenta também os valores obtidos através da utilização de parâmetros desenvolvidos na bibliografia, utilizando os métodos da Equação Universal (Darcy-Weisbach), de Hazen-Williams e de Fair-Whipple-Hsiao. Utilizou-se um fator de rugosidade igual a 0,00575 mm. Para PVC, que varia de 0,0015 a 0,010, para a Equação Universal. Para a Equação de Hazen-Williams utilizou-se o coeficiente C de 150. O comprimento equivalente utilizado foi retirado da bibliografia, no valor de 1,50 m, para que dessa forma fosse possível avaliar os dados calculados em projetos hidráulicos de escritório com os valores encontrados em laboratório. Todos os valores utilizados foram baseados em Porto (2006).

As Equações que mais se aproximaram dos valores experimentais, foram a Equação Universal e de Hazen-Williams, sendo que a de Hazen-Williams encontrou valores mais próximos aos observados, embora não seja indicada para diâmetros menores que 100 mm.

O Gráfico 1 mostra a perda de carga em relação a vazão dos valores obtidos em laboratório e dos valores calculados através das equações.

Gráfico 1 – Perda de carga experimental vs. Vazão de Joelho 90°



Fonte: Acervo próprio

Por meio do Gráfico 1, é possível visualizar a relação entre as perdas de cargas localizadas experimentais encontradas e as perdas de cargas calculadas através das equações. Desta forma percebe-se também que a Equação Universal e de Hazen-Williams, foram as duas que melhor representaram os valores obtidos em laboratório, se destacando a Equação de Hazen-Williams, por uma pequena diferença.

Para o comprimento equivalente da conexão, nota-se que os valores obtidos experimentalmente são valores inferiores ao encontrado na bibliografia, indicando que os valores propostos pela norma (NBR 5626:1998) podem ser utilizados com segurança para dimensionamentos hidráulicos.

## 4.2 Curva de Transposição

Como descrito anteriormente, os resultados das diferenças de pressões verificadas para os trechos de curva de transposição, estão dispostos nos Apêndices A, B e C, que mostram também a vazão média, conforme o item 3.3.

Com as diferenças de pressões e vazões, localizadas nos Apêndices A, B e C e realizando-se correlações entre a perda de carga distribuída e perda de carga da conexão, chegam-se aos resultados expostos nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 – Perda de carga unitária para o trecho CT20

Número de Medições	Dados Médios Observados			
	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)
1	2,068	0,425	1,300	0,833
2	2,134	0,391	1,123	0,697
3	2,195	0,408	1,108	0,667
4	2,347	0,476	1,131	0,700
5	2,659	0,476	0,881	0,571
6	2,885	0,612	0,962	0,643
Média		0,465	1,084	0,685
Desvio Padrão		0,080	0,146	0,086
Mín		0,391	0,881	0,571
Máx		0,612	1,300	0,833
Intervalo de Confiança	95% +	0,622	1,370	0,854
	95% -	0,308	0,798	0,516

Fonte: Acervo próprio

Tabela 9 – Perda de carga unitária para o trecho CT25

Número de Medições	Dados Médios Observados			
	Q (m³/h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)
1	2,182	0,153	1,096	0,500
2	2,207	0,170	1,190	0,526
3	2,271	0,170	1,124	0,476
4	2,489	0,153	0,842	0,333
5	2,774	0,221	0,980	0,448
6	2,996	0,374	1,421	0,846
Média		0,207	1,109	0,522
Desvio Padrão		0,086	0,196	0,172
Mín		0,153	0,842	0,333
Máx		0,374	1,421	0,846
Intervalo de Confiança	95% +	0,376	1,493	0,859
	95% -	0,038	0,725	0,185

Fonte: Acervo próprio

Tabela 10 – Perda de carga unitária para o trecho CT32

Número de Medições	Dados Médios Observados			
	Q (m³/h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)
1	2,463	0,085	1,311	1,667
2	2,518	0,102	1,506	2,000
3	2,588	0,102	1,425	1,200
4	2,774	0,153	1,860	1,500
5	3,086	0,204	2,004	1,333
6	3,431	0,289	2,297	1,417
Média		0,156	1,734	1,519
Desvio Padrão		0,079	0,383	0,283
Mín		0,085	1,311	1,200
Máx		0,289	2,297	2,000
Intervalo de Confiança	95% +	0,311	2,485	2,074
	95% -	0,001	0,983	0,964

Fonte: Acervo próprio

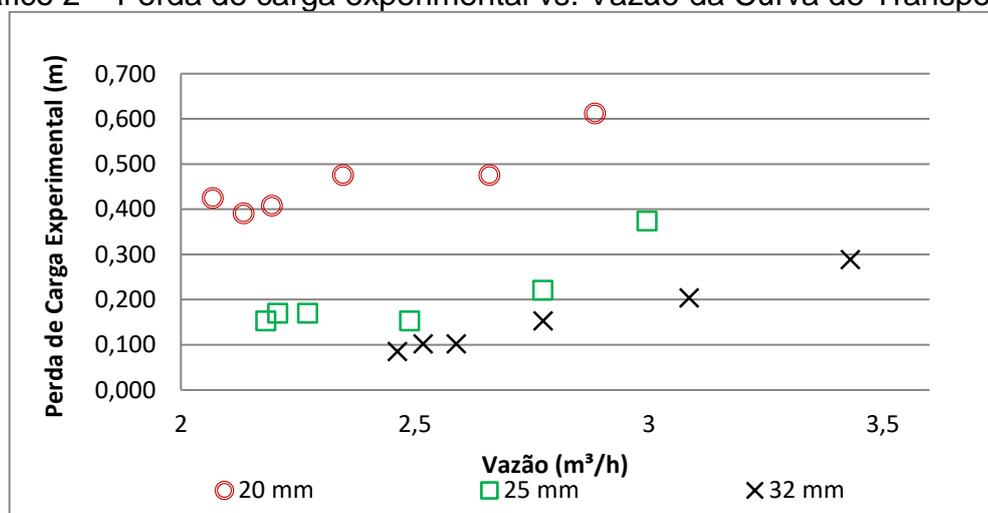
Na bibliografia não se encontra valor de comprimento equivalente para a conexão curva de transposição, assim não é possível correlacionar este parâmetro com os valores obtidos em laboratório.

Outro valor que não é encontrado para a conexão de curva de transposição, que se refere a perda de carga da conexão, uma vez que no catálogo do fabricante que foi utilizado não apresenta a citada conexão. (TIGRE,2016?)

Nota-se que o valor médio do coeficiente de perda de carga  $K$  é menor quanto menor for seu diâmetro, sendo este o comportamento esperado, inclusive para os comprimentos equivalentes. Nesse sentido, o valor de comprimento equivalente para o DN 25 mm indica um possível erro na determinação da perda de carga distribuída, pois o gráfico da perda de carga localizada na peça não ilustra este comportamento.

O Gráfico 2, que mostra os valores obtidos da perda de carga em função da vazão utilizada no experimento para os três diâmetros trabalhados de curva de transposição.

Gráfico 2 – Perda de carga experimental vs. Vazão da Curva de Transposição



Fonte: Acervo próprio

Um detalhe interessante perceptível no Gráfico 2, é de que as vazões menores são as mais concentradas, mostrando que o registro utilizado não possui uma grande variação quando próximo ao fechamento total. Observa-se também no Gráfico 2, o comportamento dos valores de perda de carga conforme já esperado, onde: i) para uma mesma vazão, quanto menor o diâmetro, maior a perda de carga; e ii) para um mesmo diâmetro, quanto maior a vazão, maior a perda de carga.

Como esta conexão já foi analisada por Silva (2016) e Delforno (2006), podem-se comparar os valores encontrados de perda de carga e comprimento equivalente por estes autores, com os valores encontrados neste trabalho como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios dos parâmetros para curva de transposição

<b>Elaborador</b>	<b>Valores Médios</b>	<b>DN 32 mm</b>	<b>DN 25 mm</b>	<b>DN 20 mm</b>
Pelo autor	Leq (m)	1,519	0,522	0,685
	K	1,734	1,109	1,084
Silva (2016)	Leq (m)	0,443	0,216	0,543
	K	4,192	1,103	1,293
Delforno (2006)	Leq (m)	0,662	0,794	0,303
	K	0,781	1,159	0,589

Fonte: Acervo próprio

Nota-se que os valores encontrados por Silva (2016) e Delforno (2006) diferem dos valores encontrados pela autora. Silva (2016) apontou em seu trabalho algumas dificuldades enfrentadas nos ensaios que podem ter levado a erros nas medições, sendo uma delas a imprecisão dos manômetros. Já Delforno (2006), recomenda maiores intervalos de variações de vazões para melhorar os resultados encontrados.

Embora não existam valores especificados em norma para esta conexão bastante utilizada na prática de instalações hidráulicas, é comprovado que seu valor é significativo e, portanto, deve ser considerado nos dimensionamentos de projetos.

### 4.3 Registro de Esfera

Para os dados do registro de esfera, estão dispostos os resultados das diferenças de pressões de todos os trechos analisados, e, estão dispostos nos Apêndices A, B e C, que mostra também a vazão média.

As diferenças de pressões e vazões estão localizadas nos Apêndices A, B e C e através das realizações correlações entre a perda de carga distribuída e perda de carga da conexão, chegou-se aos dados apresentados nas Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12 – Perda de carga unitária para o trecho RE20

Número de Medições	Dados Médios Observados				Dados baseados em Bibliografia				
	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)	k	Leq (m)	$\Delta H$ – Eq. Universal	$\Delta H$ – Eq. Hazen	$\Delta H$ – Eq. Fair-W.
1	2,068	0,357	1,092	0,700	10	11,4	4,968	4,792	5,374
2	2,134	0,306	0,879	0,545			5,258	5,078	5,677
3	2,195	0,272	0,739	0,444			5,531	5,348	5,962
4	2,347	0,272	0,646	0,400			6,246	6,053	6,703
5	2,659	0,289	0,535	0,347			7,840	7,627	8,342
6	2,885	0,561	0,882	0,589			9,096	8,868	9,620
Média		0,343	0,795	0,504					
Desvio Padrão		0,111	0,198	0,131					
Mín		0,272	0,535	0,347					
Máx		0,561	1,092	0,700					
Intervalo de Confiança	95% +	0,561	1,183	0,761					
	95% -	0,125	0,407	0,247					

Fonte: Acervo próprio

Tabela 13 – Perda de carga unitária para o trecho RE25

Número de Medições	Dados Médios Observados				Dados baseados em Bibliografia				
	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)	k	Leq (m)	$\Delta H$ – Eq. Universal	$\Delta H$ – Eq. Hazen	$\Delta H$ – Eq. Fair-W.
1	2,182	0,255	1,827	0,833	10	11,4	1,714	1,648	1,892
2	2,207	0,238	1,666	0,737			1,750	1,683	1,930
3	2,271	0,204	1,349	0,571			1,843	1,775	2,030
4	2,489	0,136	0,749	0,296			2,173	2,103	2,383
5	2,774	0,272	1,206	0,552			2,641	2,569	2,879
6	2,996	0,544	2,067	1,231			3,036	2,963	3,296
Média		0,275	1,477	0,703					
Desvio Padrão		0,140	0,475	0,317					
Mín		0,136	0,749	0,296					
Máx		0,544	2,067	1,231					
Intervalo de Confiança	95% +	0,549	2,408	1,324					
	95% -	0,001	0,546	0,082					

Fonte: Acervo próprio

Tabela 14 – Perda de carga unitária para o trecho RE32

Número de Medições	Dados Médios Observados				Dados baseados em Bibliografia				
	Q (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta h$ peça	K	Leq (m)	k	Leq (m)	$\Delta H$ – Eq. Universal	$\Delta H$ – Eq. Hazen	$\Delta H$ – Eq. Fair-W.
1	2,463	0,272	4,196	5,333	10	15	0,830	0,794	0,928
2	2,518	0,306	4,517	6,000			0,864	0,827	0,965
3	2,588	0,272	3,799	3,200			0,908	0,870	1,013
4	2,774	0,255	3,100	2,500			1,027	0,989	1,143
5	3,086	0,153	1,503	1,000			1,243	1,205	1,378
6	3,431	0,204	1,622	1,000			1,503	1,466	1,658
Média		0,244	3,123	3,172					
Desvio Padrão		0,056	1,299	2,124					
Mín		0,153	1,503	1,000					
Máx		0,306	4,517	6,000					
Intervalo de Confiança	95% +	0,354	5,669	7,335					
	95% -	0,134	0,577	0,000					

Fonte: Acervo próprio

Para o registro de esfera encontra-se em Porto (2006) os valores de comprimento equivalente, e, nota-se que os valores encontrados em laboratório não alcançam os valores encontrados em bibliografia.

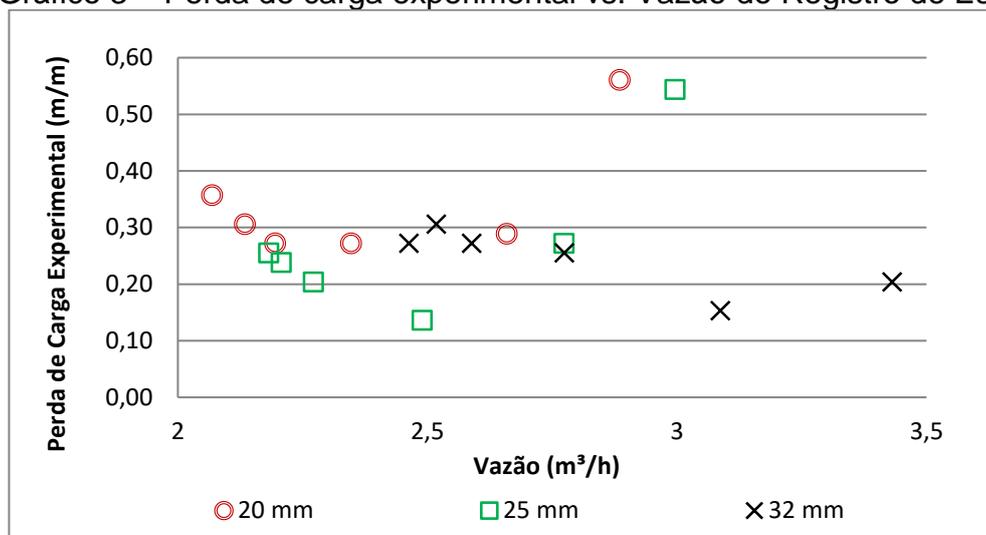
Outro valor que se encontra em Porto (2006), é o valor do coeficiente de perda de carga, K, sendo também pequenos os valores encontrados em laboratórios comparando-se aos valores disponíveis em literatura.

Já analisando o valor da perda de carga calculado através das Equações de Darcy-Weisbach (Eq. Universal), Hazen-Williams e Fair-Whipple-Hsiao, nota-se que a melhor equação que representa é a Equação de Hazen-Williams, uma equação empírica, indicada para diâmetros maiores do que 100mm.

Como os valores encontrados em laboratório são consideravelmente inferiores aos valores apresentados nas bibliografias, pode-se utilizar os dados de literatura com segurança.

O Gráfico 3 mostra nos valores obtidos da perda de carga em função da vazão utilizada experimentalmente para os três diâmetros trabalhados da conexão registro de esfera.

Gráfico 3 – Perda de carga experimental vs. Vazão do Registro de Esfera



Fonte: Acervo próprio

Os valores encontrados no gráfico possuem valores inesperados para vazões até 2,25 m³/h, onde para um diâmetro constante quanto menor a vazão, sua perda de carga aumenta. Porém os dados para valores de maiores vazões que 2,25 m³/h os resultados apresentam melhor comportamento.

Na Tabela 15, estão sintetizados os valores encontrados experimentalmente de  $Leq$  e  $K$ , da conexão curva de transposição.

Tabela 15 – Valores médios dos parâmetros para curva de transposição

DN		32 mm	25 mm	20 mm
Valores Médios	$Leq$ (m)	3,172	0,703	0,504
	$K$	3,123	1,477	0,795
Valores disponíveis em bibliografia	$Leq$ (m)	15	11,4	-
	$K$	10		

Fonte: Acervo próprio

Através da Tabela 15, pode-se analisar que os valores encontrados,  $Leq$  e  $K$ , através dos ensaios laboratoriais possuem um valor decrescente quanto menor o diâmetro, sendo o esperado para valores de comprimento equivalente,  $Leq$ . Nota-se também que os valores obtidos em laboratórios são bem inferiores aos valores disponíveis em bibliografia.

#### **4.4 Considerações sobre as Análises de Laboratório e Sugestões para os Trabalhos Futuros**

Com o decorrer das análises de laboratório, foram observados alguns detalhes que podem ter interferido na precisão dos resultados obtidos, sugerindo-se para próximos trabalhos:

- Os pontos de tomada de pressão não estavam distantes dos joelhos e, portanto, o escoamento ainda apresentava turbulência causada pela conexão. Para corrigir este fato, sugere-se para as próximas análises, ampliação do comprimento da bancada, deixando assim o escoamento nos pontos de amostragem de pressão distante da influência da turbulência;
- A escala do manômetro permitia medir uma faixa bastante ampla de pressões. Sugere-se que nas próximas análises se utilize um manômetro com a variação de escala mais detalhada para os valores medidos, melhorando assim a precisão dos valores medidos.
- Após estes ajustes, aplicar a metodologia utilizada neste trabalho para mais verificações experimentais, alternando seu diâmetro ou o tipo do material em estudo;

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os valores de comprimentos equivalentes encontrados em laboratório são coerentes com os valores obtidos em bibliografia, e, com isso, verificou-se que os valores utilizados na normativa atendem os dimensionamentos hidráulicos com segurança.

Em relação às equações testadas, a equação de Hazen-Williams apresentou melhor desempenho, mesmo não sendo a equação mais indicada para utilização em instalações prediais. No entanto, os resultados obtidos entre as três equações testadas não apresentaram diferenças expressivas entre elas.

Já para a conexão curva de transposição, constatou-se que os valores encontrados em laboratório são valores significativos e não devem ser negligenciados em projetos hidráulicos. Assim, os valores dispostos para o registro de esfera, foram

descobertos os valores esperados, decrescendo seu valor de acordo com o decrescimento do seu diâmetro, outro fato a ser considerado é de que os valores obtidos em laboratórios são bem inferiores aos valores disponíveis em bibliografia.

Os valores de perda de carga e comprimento equivalente aqui encontrados podem ser utilizados em dimensionamentos, desde que aplicados a sistemas de mesmas características que o utilizado nos ensaios, como faixas de vazões e diâmetros. Além disso, é importante tomar cuidado para em sua utilização, aplicação um fator de segurança e a majoração do valor utilizado.

Enfim, através das análises realizadas, sabe-se que as conexões em estudo trazem contribuições consideráveis para a área, sendo uma delas a conexão do tipo curva de transposição que não apresenta valores disponíveis em bibliografias consagradas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BAPTISTA, M. B. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3 ed. Ver. E ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

BRANCO, A. M. **Estudo da perda de carga localizada em buchas de redução em PVC**. 2005. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2005.

DELFORNO, E. J. **Determinação experimental da perda de carga localizada em curvas de transposição em PVC rígido**. 2006. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2006.

HELLER, L. Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In: PÁDUA, V. L. (Org.) **Abastecimento de água para consumo humano. Volume 1**. Belo Horizonte: ed. UFMG 2010. p. 29-45.

Orientações para instalações de Água Fria. **Tabela – Perdas de carga localizadas – Sua equivalência em metros de tubulações de PVC rígido**. Catálogo Técnico. Disponível em: <<http://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/Catálogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf>> Acesso em: 06 de junho de 2017.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 3. Ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

SILVA, A. F. **Quantificação da perda de carga em conexões de PVC soldável: Determinação dos Coeficientes K e comprimentos equivalentes**. 2016. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

VILANOVA, L. C. **Mecânica dos Fluidos. UFSM - CTISM** (Colégio Técnico Industrial de Santa Maria), 2011.

SCHNEIDER Motobombas. **Tabela 7 – Perda de carga em acessórios.** Manual técnico. Disponível em:

<[http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/Perdas\\_de\\_carga\\_em\\_acessorios.pdf](http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/Perdas_de_carga_em_acessorios.pdf)

> Acesso em: 31 de maio de 2017.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A** – Tabelas dos dados de 20 mm

**APÊNDICE B** – Tabelas dos dados de 25 mm

**APÊNDICE C** – Tabelas dos dados de 32 mm

## APÊNDICE A – Tabelas dos dados de 20 mm

### Vazão 1

#### Valores médios de 20 mm

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,575	0,001	2,068	2,531	0,027	0,029	0,510	43028,998

#### TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	4,487	3,977	0,510	0,510
2					4,487	3,977	0,510	
3					4,487	3,977	0,510	

#### CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	4,436	3,518	0,918	0,408	0,425	1,300	0,833
2					4,436	3,518	0,918	0,408			
3					4,436	3,467	0,969	0,459			

#### CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	4,487	3,620	0,867	0,357	0,357	1,092	0,700
2					4,487	3,620	0,867	0,357			
3					4,487	3,620	0,867	0,357			

<b>Vazão 2</b>
----------------

<b>Valores médios de 20 mm</b>							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,593	0,001	2,134	2,612	0,027	0,036	0,561	44399,877

<b>TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	4,742	4,181	0,561	0,561
2					4,742	4,181	0,561	
3					4,742	4,181	0,561	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	4,691	3,722	0,969	0,408	0,391	1,123	0,697
2					4,640	3,722	0,918	0,357			
3					4,640	3,671	0,969	0,408			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	4,742	3,875	0,867	0,306	0,306	0,879	0,545
2					4,742	3,875	0,867	0,306			
3					4,742	3,875	0,867	0,306			

<b>Vazão 3</b>
----------------

<b>Valores médios de 20 mm</b>							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,610	0,001	2,195	2,686	0,028	0,044	0,612	45659,250

<b>TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	5,099	4,487	0,612	0,612
2					5,099	4,487	0,612	
3					5,099	4,487	0,612	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	5,099	4,079	1,020	0,408	0,408	1,108	0,667
2					5,099	4,079	1,020	0,408			
3					5,099	4,079	1,020	0,408			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	5,099	4,181	0,918	0,306	0,272	0,739	0,444
2					5,048	4,181	0,867	0,255			
3					5,048	4,181	0,867	0,255			

<b>Vazão 4</b>
----------------

<b>Valores médios de 20 mm</b>							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,652	0,001	2,347	2,872	0,027	0,039	0,680	48820,930

<b>TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	5,813	5,150	0,663	0,680
2					5,864	5,150	0,714	
3					5,813	5,150	0,663	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	5,966	4,844	1,122	0,442	0,476	1,131	0,700
2					5,966	4,844	1,122	0,442			
3					6,016	4,793	1,224	0,544			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	5,864	4,946	0,918	0,238	0,272	0,646	0,400
2					5,864	4,895	0,969	0,289			
3					5,864	4,895	0,969	0,289			

<b>Vazão 5</b>
----------------

<b>Valores médios de 20 mm</b>							
--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,739	0,001	2,659	3,254	0,026	0,032	0,833	55319,811

<b>TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	7,495	6,679	0,816	0,833
2					7,546	6,679	0,867	
3					7,495	6,679	0,816	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	7,648	6,373	1,275	0,442	0,476	0,881	0,571
2					7,699	6,373	1,326	0,493			
3					7,699	6,373	1,326	0,493			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável</b>											
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	7,597	6,475	1,122	0,289	0,289	0,535	0,347
2					7,546	6,424	1,122	0,289			
3					7,597	6,475	1,122	0,289			

**Vazão 6**

Valores médios de 20 mm							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,801	0,001	2,885	3,530	0,025	0,028	0,952	60014,108

TRECHO RETILINEO - DN 20 mm - PVC Soldável								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	17	0,017	0,00023	9,127	8,209	0,918	0,952
2					9,178	8,209	0,969	
3					9,178	8,209	0,969	

CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 20 mm - PVC Soldável											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	9,382	7,801	1,581	0,629	0,612	0,962	0,643
2					9,382	7,852	1,530	0,578			
3					9,433	7,852	1,581	0,629			

CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 20 mm - PVC Soldável											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	17	0,017	0,0002	9,331	7,801	1,530	0,578	0,561	0,882	0,589
2					9,280	7,801	1,479	0,527			
3					9,331	7,801	1,530	0,578			

**APÊNDICE B – Tabelas dos dados de 25 mm**

**Vazão 1**

**Valores médios de 25 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,606	0,001	2,182	1,654	0,047	0,367	0,306	35721,799

**TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	4,844	4,538	0,306	0,306
2					4,844	4,538	0,306	
3					4,844	4,538	0,306	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	4,844	4,385	0,459	0,153	0,153	1,096	0,500
2					4,844	4,385	0,459	0,153			
3					4,844	4,385	0,459	0,153			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	4,895	4,334	0,561	0,255	0,255	1,827	0,833
2					4,895	4,334	0,561	0,255			
3					4,895	4,334	0,561	0,255			

**Vazão 2**

<b>Valores médios de 25 mm</b>							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,613	0,001	2,207	1,673	0,049	0,402	0,323	36134,223

<b>TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,048	4,742	0,306	0,323
2					5,099	4,742	0,357	
3					5,048	4,742	0,306	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,150	4,640	0,510	0,187	0,170	1,190	0,526
2					5,150	4,640	0,510	0,187			
3					5,099	4,640	0,459	0,136			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,099	4,538	0,561	0,238	0,238	1,666	0,737
2					5,099	4,538	0,561	0,238			
3					5,099	4,538	0,561	0,238			

**Vazão 3**

<b>Valores médios de 25 mm</b>							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,631	0,001	2,271	1,722	0,051	0,454	0,357	37186,620

<b>TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,456	5,099	0,357	0,357
2					5,456	5,099	0,357	
3					5,456	5,099	0,357	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,507	4,946	0,561	0,204	0,170	1,124	0,476
2					5,456	4,946	0,510	0,153			
3					5,456	4,946	0,510	0,153			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	5,456	4,895	0,561	0,204	0,204	1,349	0,571
2					5,456	4,895	0,561	0,204			
3					5,456	4,895	0,561	0,204			

**Vazão 4**

<b>Valores médios de 25 mm</b>							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,691	0,001	2,489	1,887	0,055	0,547	0,459	40755,942

<b>TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	6,271	5,813	0,459	0,459
2					6,271	5,813	0,459	
3					6,271	5,813	0,459	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	6,322	5,711	0,612	0,153	0,153	0,842	0,333
2					6,322	5,711	0,612	0,153			
3					6,322	5,711	0,612	0,153			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	6,271	5,711	0,561	0,102	0,136	0,749	0,296
2					6,322	5,711	0,612	0,153			
3					6,322	5,711	0,612	0,153			

**Vazão 5**

<b>Valores médios de 25 mm</b>							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,770	0,001	2,774	2,103	0,047	0,371	0,493	45414,284

<b>TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	8,107	7,597	0,510	0,493
2					8,056	7,597	0,459	
3					8,107	7,597	0,510	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	7,954	7,189	0,765	0,272	0,221	0,980	0,448
2					7,903	7,240	0,663	0,170			
3					7,954	7,240	0,714	0,221			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	8,107	7,342	0,765	0,272	0,272	1,206	0,552
2					8,107	7,342	0,765	0,272			
3					8,107	7,342	0,765	0,272			

**Vazão 6**

<b>Valores médios de 25 mm</b>							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,832	0,001	2,996	2,271	0,036	0,162	0,442	49056,465

<b>TRECHO RETILINEO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	9,688	9,280	0,408	0,442
2					9,739	9,280	0,459	
3					9,739	9,280	0,459	

<b>CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	9,790	8,974	0,816	0,374	0,374	1,421	0,846
2					9,739	8,923	0,816	0,374			
3					9,739	8,923	0,816	0,374			

<b>CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 25 mm - PVC Soldável</b>											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	21,6	0,0216	0,00037	9,892	8,923	0,969	0,527	0,544	2,067	1,231
2					9,892	8,923	0,969	0,527			
3					9,943	8,923	1,020	0,578			

**APÊNDICE C – Tabelas dos dados de 32 mm**

**Vazão 1**

Valores médios de 32 mm							
Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,684	0,001	2,463	1,127	0,022	-0,010	0,051	31330,13

TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel								
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	4,844	4,793	0,051	0,051
2					4,844	4,793	0,051	
3					4,844	4,793	0,051	

CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	4,946	4,793	0,153	0,102	0,085	1,311	1,667
2					4,946	4,793	0,153	0,102			
3					4,946	4,844	0,102	0,051			

CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	4,895	4,589	0,306	0,255	0,272	4,196	5,333
2					4,895	4,589	0,306	0,255			
3					4,946	4,589	0,357	0,306			

CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel											
Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	4,640	4,487	0,153	0,024	0,024	0,368	0,468
2					4,640	4,487	0,153	0,024			
3					4,640	4,487	0,153	0,024			

**Vazão 2**

**Valores médios de 32 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,699	0,001	2,518	1,152	0,021	-0,016	0,051	32030,35

**TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	5,099	5,048	0,051	0,051
2					5,099	5,048	0,051	
3					5,099	5,048	0,051	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,252	5,099	0,153	0,102	0,102	1,506	2,000
2					5,252	5,099	0,153	0,102			
3					5,252	5,099	0,153	0,102			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,201	4,844	0,357	0,306	0,306	4,517	6,000
2					5,201	4,844	0,357	0,306			
3					5,201	4,844	0,357	0,306			

**CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,099	4,742	0,357	0,075	0,075	1,105	1,468
2					5,099	4,742	0,357	0,075			
3					5,099	4,742	0,357	0,075			

**Vazão 3**

**Valores médios de 32 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,719	0,001	2,588	1,185	0,033	0,132	0,085	32929,140

**TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	5,507	5,405	0,102	0,085
2					5,507	5,405	0,102	
3					5,507	5,456	0,051	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,609	5,405	0,204	0,119	0,102	1,425	1,200
2					5,660	5,456	0,204	0,119			
3					5,609	5,456	0,153	0,068			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,507	5,150	0,357	0,272	0,272	3,799	3,200
2					5,558	5,201	0,357	0,272			
3					5,558	5,201	0,357	0,272			

**CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	5,507	5,099	0,408	0,078	0,074	1,030	0,867
2					5,507	5,099	0,408	0,078			
3					5,456	5,099	0,357	0,065			

**Vazão 4**

**Valores médios de 32 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,771	0,001	2,774	1,270	0,035	0,162	0,102	35293,104

**TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	6,322	6,220	0,102	0,102
2					6,322	6,220	0,102	
3					6,322	6,220	0,102	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	6,424	6,169	0,255	0,153	0,153	1,860	1,500
2					6,424	6,169	0,255	0,153			
3					6,424	6,169	0,255	0,153			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	6,322	5,966	0,357	0,255	0,255	3,100	2,500
2					6,322	5,966	0,357	0,255			
3					6,322	5,966	0,357	0,255			

**CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	6,322	5,813	0,510	0,099	0,094	1,148	0,926
2					6,322	5,813	0,510	0,099			
3					6,322	5,864	0,459	0,086			

**Vazão 5**

**Valores médios de 32 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,857	0,001	3,086	1,412	0,042	0,326	0,153	39265,735

**TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	7,903	7,750	0,153	0,153
2					7,954	7,801	0,153	
3					7,954	7,801	0,153	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	8,311	7,954	0,357	0,204	0,204	2,004	1,333
2					8,311	7,954	0,357	0,204			
3					8,311	7,954	0,357	0,204			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	8,005	7,699	0,306	0,153	0,153	1,503	1,000
2					8,005	7,699	0,306	0,153			
3					8,056	7,750	0,306	0,153			

**CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	7,801	7,138	0,663	0,122	0,122	1,203	0,801
2					7,801	7,138	0,663	0,122			
3					7,801	7,138	0,663	0,122			

**Vazão 6**

**Valores médios de 32 mm**

Q (l/s)	Q(m³/s)	Q(m³/h)	Vel (m/s)	F atrito	Rugosidade (mm)	J (m/m)	Rey
0,857	0,001	3,086	1,412	0,042	0,326	0,153	39265,735

**TRECHO RETILINEO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δh (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,00061	9,790	9,586	0,204	0,204
2					9,841	9,637	0,204	
3					9,841	9,637	0,204	

**CONEXÃO: CURVA DE TRANSPOSIÇÃO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	9,993	9,484	0,510	0,306	0,289	2,297	1,417
2					9,993	9,484	0,510	0,306			
3					9,993	9,535	0,459	0,255			

**CONEXÃO: REGISTRO DE ESFERA - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	9,993	9,586	0,408	0,204	0,204	1,622	1,000
2					9,993	9,586	0,408	0,204			
3					9,993	9,586	0,408	0,204			

**CONEXÃO: JOELHO - DN 32 mm - PVC Soldavel**

Medição	L(mm)	DI (mm)	DI (m)	Ai (m²)	P1 (mca)	P2 (mca)	P1-P2	Δhpeça	Δhpeça	K	Leq (m)
1	1000	27,8	0,0278	0,0006	10,044	9,229	0,816	0,146	0,146	1,163	0,717
2					10,044	9,229	0,816	0,146			
3					10,044	9,229	0,816	0,146			