



**PÂMELA RODRIGUES FIAIS**

**QUANTIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES  
DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM REGISTROS DE  
PRESSÃO**

**LAVRAS – MG  
2021**

**PÂMELA RODRIGUES FIAIS**

**QUANTIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE PERDA DE  
CARGA LOCALIZADA EM REGISTROS DE PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**PÂMELA RODRIGUES FIAIS**

**QUANTIFICAÇÃO E DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES DE PERDA DE  
CARGA LOCALIZADA EM REGISTROS DE PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 07 de junho de 2021

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi – UFLA

M.Sc. Karina Vilela Rodrigues – UFLA

M.Sc. Miguel Ángel Corea Alvarez - UFLA

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, louvo e glorifico a Deus por me permitir realizar esse sonho. Agradeço aos meus pais pelo amor incondicional, apoio constante e sacrifícios realizados. As minhas irmãs pela compreensão, incentivo e ombro amigo. A todos os familiares e amigos pela torcida e apoio. A minha amada República Desatino, agradeço por ter sido meu lar durante a graduação e ter me proporcionado tanto aprendizado, amor, amizade e experiências únicas. Ao Michael, meu orientador, externo toda minha gratidão por todo suporte, auxílio, orientação e compreensão.

## RESUMO

O transporte de fluidos é realizado através de condutos projetados para tal finalidade, sendo eles condutos livres ou forçados. Durante o escoamento há dissipação de energia do fluido em razão de diversos fatores. Na prática, nas tubulações de água tem-se a presença de diversos acessórios que, conforme a sua disposição e seu formato, provocam um acréscimo das turbulências produzindo assim a perda de energia do fluido, denominada perda de carga localizada. No presente trabalho, foi quantificada e determinada a perda de carga em registros de pressão de diâmetros nominais de 20 e 25 mm para diferentes números de Reynolds. Para todos os ensaios foram determinados o comportamento da perda de carga, o coeficiente de perda de carga  $k$  e o comprimento equivalente em função do diâmetro do registro e do índice de fechamento relativo, sendo avaliados os registros completamente abertos e fechados em 25%, 50% e 75%. A perda de carga apresentou aumento gradativo conforme era aumentada a vazão veiculada no módulo experimental e dentre os diferentes níveis de aberturas parciais, foi para a abertura relativa de 25% que ocorreram os maiores valores para o coeficiente de perda de carga  $k$  e o comprimento equivalente.

**Palavras-chave:** Condutos sob pressão, coeficientes de perda de carga, instalações hidráulicas prediais.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção transversal de um conduto livre e de um conduto forçado.....	13
Figura 2 - Análise da energia no escoamento de fluidos.....	14
Figura 3 - Registro de gaveta: (A) vista geral; (A) corte detalhado.....	18
Figura 4 - Registro de pressão: (A) vista geral; (B) corte detalhado.....	19
Figura 5 - Registro de esfera: (A) vista geral; (B) corte detalhado.....	20
Figura 6 - Registro de esfera: (A) vista geral; (B) corte detalhado.....	20
Figura 7 - Esquema representativo do módulo experimental e trechos ampliados: módulo inteiro (A), trecho 1-3 (B), trecho 4-6 (C), trecho 7-8 (D).....	21
Figura 8 - Detalhes das singularidades utilizadas nos trechos da tubulação no módulo experimental: ligação entre luva, registro e adaptador (A), adaptador, união, bucha de redução e adaptador (B), união e adaptador (C), adaptador, registro e adaptador (D) e adaptador e registro (E).....	24
Figura 9 - Código VBA.....	26
Figura 10 - Comparativo entre área livre de passagem para diferentes válvulas.....	42
Gráfico 1 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento da perda de carga localizada “ $hf_L$ ” em função do número de Reynolds para o registro de pressão $\frac{1}{2}$ ” (A) e registro de pressão $\frac{3}{4}$ ” (B).....	32
Gráfico 2 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do coeficiente de perda de carga localizada “ $k$ ” em função do Número de Reynolds, calculado a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro, para o registro de pressão $\frac{1}{2}$ ” (A) e registro de pressão $\frac{3}{4}$ ” (B).....	34
Gráfico 3 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do coeficiente de perda de carga localizada “ $k$ ” em função do Número de Reynolds, calculado a partir da velocidade média de escoamento na tubulação retilínea, para o registro de pressão $\frac{1}{2}$ ” (A) e registro de pressão $\frac{3}{4}$ ” (B).....	36
Gráfico 4 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do comprimento equivalente “ $L_{eq}$ ” da singularidade instalada na tubulação em função do número de Reynolds, para o registro de pressão $\frac{1}{2}$ ” (A); registro de pressão $\frac{3}{4}$ ” (B).....	38
Quadro 1 - Peças constituintes do aparato hidráulico.....	23

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e perda de carga localizada em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ " (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ " (B) em diferentes aberturas relativas..... 33
- Tabela 2 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o coeficiente de perda de carga localizada "k", calculado a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ " (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ " (B) em diferentes aberturas relativas. .... 35
- Tabela 3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o coeficiente de perda de carga "k", ajustado pela velocidade média de escoamento estimada na tubulação retilínea, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ " (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ " (B) em diferentes aberturas relativas. ... 37
- Tabela 4 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o comprimento equivalente " $L_{eq}$ " da singularidade instalada na tubulação, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ " (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ " (B) em diferentes aberturas relativas. .... 39
- Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão do número dos números de Reynolds obtidos, perda de carga localizada e coeficientes de perda de carga para registros ensaiados. .... 40
- Tabela 6 - Valores do coeficiente k para diversos registros. .... 41
- Tabela 7 - Comprimento equivalente em metros de tubulação de PVC..... 41

## LISTA DE SÍMBOLOS

$D_{\text{tubo}}$	Diâmetro interno do tubo [m]
$f$	Fator de atrito
$g$	Aceleração da gravidade [ $\text{m/s}^2$ ]
$h_f$	Perda de carga [m]
$h_{fD}$	Perda de carga distribuída [m]
$h_{fL}$	Perda de carga localizada [m]
$h_{\text{H}_2\text{O}}$	Altura da coluna de água [m]
$h_{\text{Hg}}$	Altura da coluna de mercúrio [m]
$k$	Coeficiente de perda de carga localizada
$k_{v_{\text{ent,reg}}}$	Coeficiente de perda de carga localizada ajustado a partir da velocidade média do escoamento do fluido na entrada do registro
$k_{v_{\text{tubo}}}$	Coeficiente de perda de carga localizada ajustado a partir da velocidade média do escoamento do fluido na tubulação
$L$	Comprimento do tubo [m]
$L_{\text{eq}}$	Comprimento equivalente [m]
$L_{\text{TP1-TP2}}$	Comprimento útil da tubulação no módulo experimental [m]
$L_{\text{virt}}$	Comprimento virtual [m]
$m$	Massa de água coletada em cada ensaio [kg]
$P$	Pressão manométrica [ $\text{N/m}^2$ ]
$\Delta P$	Diferencial de pressão [ $\text{N/m}^2$ ]
$Q$	Vazão volumétrica [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$Re$	Número de Reynolds
$S$	Área da seção transversal do tubo [ $\text{m}^2$ ]
$T$	Temperatura da água aquirada durante o ensaio [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\Delta t$	Tempo de duração do escoamento [s]
$v$	Velocidade média de escoamento do fluido na tubulação [ $\text{m/s}$ ]
$v_{\text{ent,reg}}$	Velocidade média do escoamento na entrada do registro [ $\text{m/s}$ ]
$z$	Altura piezométrica [m]
$\varepsilon$	Rugosidade do tubo [m]
$\gamma$	Peso específico do fluido [ $\text{N/m}^3$ ]

$\gamma_{H_2O}$	Peso específico da água [N/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{Hg}$	Peso específico do mercúrio [N/m <sup>3</sup> ]
$\rho$	Massa específica do fluido [kg/m <sup>3</sup> ]
$\nu$	Viscosidade cinemática do fluido [m <sup>2</sup> /s]

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo geral .....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	Conduto forçados .....	13
3.2	Perda de carga .....	14
3.2.1	Perda de carga localizada .....	16
3.3	Aspectos gerais sobre registros .....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
6	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
	ANEXO A – Dados experimentais.....	47
	ANEXO B – Propriedades do fluido e do escoamento .....	49
	ANEXO C – Perda de carga.....	53
	ANEXO D – Coeficiente de perda de carga localizada e comprimento equivalente – 1ª metodologia .....	55

## 1 INTRODUÇÃO

As instalações hidráulicas apresentam como principais funções: o escoamento, a distribuição e o abastecimento de água. Geralmente são compostas por diversos tubos e singularidades, ocasionando variações de diâmetros, rugosidades e materiais e, em situações práticas, sempre haverá a perda energética durante o escoamento do fluido.

O uso de acessórios em uma tubulação, para a operação do sistema, acarreta alterações no fluxo e variações de pressões. De tal forma, torna-se necessário conhecer o impacto das singularidades instaladas nas tubulações e sua relação com a perda de carga ocorrida ao longo do escoamento. Um dos fatores que determinam a natureza do escoamento é a relação entre as forças inerciais e viscosas, determinada pelo Número de Reynolds.

A ABNT NBR 5626 (2020) estabelece uma série de condições para o funcionamento adequado das tubulações em uma instalação hidráulica, como a pressão dinâmica e velocidade em qualquer ponto do sistema. Para isso é necessária a obtenção dos valores de vazão, perda de carga nas tubulações e nas singularidades.

Neste sentido, registros de pressão apresentam elevada perda de carga, as quais devem sempre ser considerados na concepção de projetos. Esse tipo de registro geralmente é utilizado para liberar, controlar e bloquear o fluxo de água, sendo comumente utilizado em instalações hidráulicas prediais os registros com diâmetro nominal de  $\frac{3}{4}$ " ou 25 mm.

Devido à escassez de dados na literatura sobre a utilização de registros de pressão e o impacto de sua utilização no projeto hidráulico, buscou-se por meio do presente trabalho quantificar e determinar a perda de carga localizada em dois registros de pressão com os diâmetros nominais mais utilizados em sistemas prediais de água fria.

Para isso foram analisados registros de pressão com diâmetros comerciais de 20 e 25 mm, onde foi caracterizado o escoamento na tubulação que continha essas singularidades, quantificados os coeficientes de perda de carga localizada para os mesmos e verificada a influência do fechamento parcial dos registros em relação as perdas de carga.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estudar a perda de carga localizada em registros de pressão de dois diâmetros nominais, mais utilizados em sistemas prediais de água fria.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Verificar a perda de carga nos registros estudados em diferentes números de Reynolds obtidos a partir da variação da vazão em volume do escoamento;
- Determinar o comportamento da perda de carga localizada em função do diâmetro dos diferentes tipos de registros e do índice de fechamento relativo;
- Obter o valor do coeficiente de perda de carga  $k$  e do comprimento equivalente para cada um dos cenários avaliados; e
- Ajustar equações lineares para a estimativa de coeficientes de perda de carga que possam como variável independente o número de Reynolds.

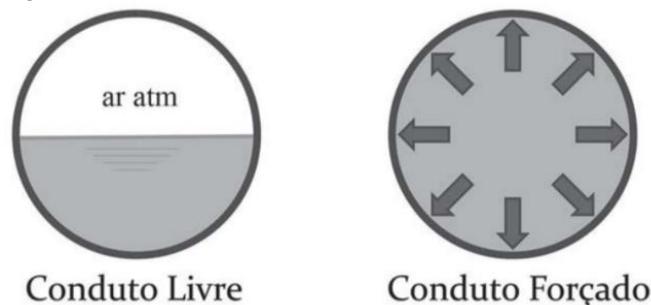
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Condutos forçados

Os condutos são canalizações destinadas ao escoamento de fluidos, podendo ser projetados e executados como condutos livres ou forçados. A maioria das aplicações hidráulicas na engenharia estão relacionadas à utilização de tubos, que geralmente apresentam seção transversal circular (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

O conduto é considerado livre quando apresenta uma superfície aberta em contato com a pressão atmosférica. E é dito forçado quando o fluido escoar nele preenchendo-o totalmente e em contato com toda a parede interna, sem apresentar nenhuma superfície livre (BRUNETTI, 2008), conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - Seção transversal de um conduto livre e de um conduto forçado.



Fonte: ESPARTEL, 2017.

Os condutos forçados são projetados para tolerar altas tensões provenientes da pressão estática da coluna d'água e ocasionadas devido ao golpe de aríete criado pelas mudanças bruscas no fluxo (COELHO; XAVIER, 2015); são eles: encanamentos, canalizações ou tubulações sob pressão e de sucção, sifões verdadeiros e invertidos, colunas ou *shafts*, canalizações forçadas das usinas hidrelétricas, barrilete de sucção ou descarga, entre outros (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

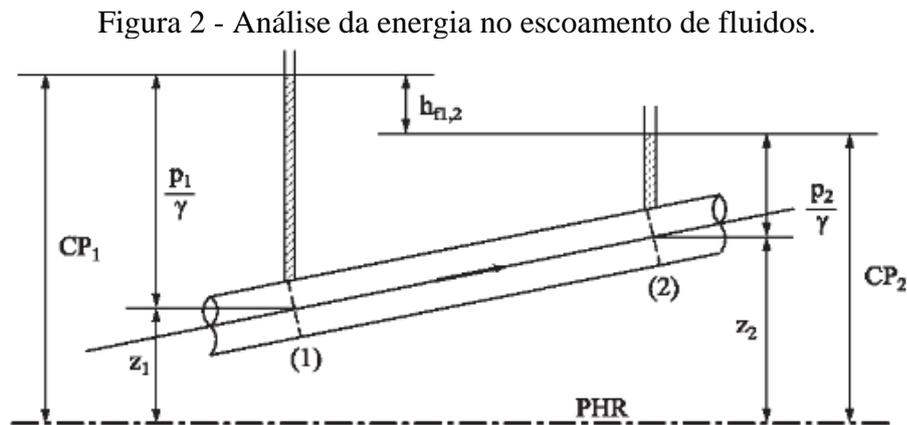
O escoamento pode ocorrer pela ação da gravidade ou por meio de bombeamento (PORTO, 2006).

Ao escoar em um conduto forçado o fluido sofre variações de pressão devido a mudanças na elevação da tubulação, alteração na velocidade de escoamento devido a variação da área da seção transversal do conduto, como na ocorrência de reduções e ampliações. Ao longo e durante o escoamento há a ocorrência de atrito devido ao grau de aspereza e irregularidade da superfície interna do conduto, podendo também ser função do balanço entre as forças inerciais

e viscosas, representado pelo número de Reynolds gerado entre o fluido e a face interna da parede do conduto (RESENDE, 2007).

### 3.2 Perda de carga

Ao escoar, existe uma movimentação das partículas do fluido que resulta em atrito entre elas, dissipando energia em forma de calor. Dessa forma, a perda de carga em uma canalização pode ser descrita como a diferença entre o valor da energia inicial e o valor da energia final do fluido, quando ele escoar de um ponto ao outro em uma canalização (CARVALHO JÚNIOR, 2014). Para melhor compreensão, na Figura 2 está representado esse diferencial de carga energética.



Fonte: BRUNETTI, 2008.

De forma explicativa, a Figura 2 representa o escoamento de um líquido que flui de (1) para (2) na canalização indicada. Parte da energia é dissipada em forma de calor. Em (2), a soma das três cargas não se iguala à carga total em (1) (BRUNETTI, 2008).

A diferença da perda de carga é de grande importância nos problemas de engenharia, por isso tem sido objeto de variados estudos (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

A perda de carga seria uma restrição, uma resistência, à passagem do fluxo dentro da tubulação, que procede o fato do escoamento necessitar superar obstáculos que atuam contrariamente à sua propagação (GERNER, 2013).

Haverá perda de carga em consequência do resultado do atrito entre as próprias moléculas do fluido, atrito entre as moléculas com a parede interna do tubo, da alteração na direção do escoamento, obstruções na trajetória do fluido e mudanças abruptas ou graduais na área de escoamento (CREMASCO, 2018).

Assim, têm-se que a viscosidade e a turbulência são fatores determinantes para ocorrência de uma maior ou menor perda de carga (CARVALHO JÚNIOR, 2014). Na prática, as canalizações não são constituídas somente por tubos retilíneos e de mesmo diâmetro, há a inclusão de peças especiais e conexões. Além de apresentarem outras singularidades, como válvulas, registros, medidores, entre outros (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

A perda de carga, essencialmente, varia de forma proporcional ao comprimento da tubulação, diâmetro da mesma e número de conexões. Percebe-se ainda maior contribuição para perda de carga em relação ao diâmetro da tubulação do que seu comprimento. Isso é evidenciado em trechos com mesmo número de conexões, mesmo comprimento, porém com valores de perda diferentes (TAVARES et al., 2015).

Essas perdas podem ser classificadas como localizadas ou distribuídas, sendo a perda de carga total a soma dessas (CARVALHO JÚNIOR, 2014). Neste sentido, a perda de carga distribuída ocorre ao longo de trechos retilíneos da tubulação, onde a pressão imposta pela parede do tubo diminui gradativamente ao longo de seu comprimento e a geometria da área interna permanece constante. Sendo dependente do comprimento e diâmetro interno do tubo, da rugosidade da sua superfície interna e da sua vazão (FOX et al., 2018).

As perdas localizadas ocorrem pela elevação da turbulência do fluido em locais onde ele sofre perturbações bruscas, que alteram o paralelismo das linhas de corrente. Nesses trechos encontram-se instaladas conexões, registros e demais peças (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Em geral, as perdas de carga são medidas por meio de experiências e correlacionadas com os parâmetros do escoamento em tubos (ESPARTEL, 2017).

Diversas relações matemáticas são utilizadas nos cálculos de perda de carga, dentre elas, a equação de Darcy-Weisbach. É uma das equações mais completas para o cálculo da perda de carga em tubulações, já que envolve todas as variáveis responsáveis pelo fenômeno. Sua fórmula é representada pela Equação 1. Em que o fator de atrito ( $f$ ) varia de acordo com a condição de escoamento e deve ser determinado por meio de equações matemáticas para cada regime (ZITTERELL et al., 2009).

$$h_f = f \frac{L}{D_{\text{tubo}}} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Onde:

$h_f$  = perda de carga [m];

$f$  = fator de atrito;

$L$  = comprimento do tubo [m];

$D_{\text{tubo}}$  = diâmetro interno do tubo [m];

$v$  = velocidade média de escoamento do fluido na tubulação [m/s]; e

$g$  = aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>].

### 3.2.1 Perda de carga localizada

Quando o fluido sofre alguma perturbação brusca em seu escoamento devido a algum elemento inserido no tubo temos a ocorrência de perda de carga localizada (GOMES et al, 2010).

Quanto menor for o comprimento de um conduto mais importante se tornam as singularidades, pois há um menor comprimento de conduto para a perda de carga distribuída se dissipar (ESPARTEL, 2017).

Essas perdas de carga em virtude da presença de acessórios em uma tubulação decorrem da separação de uma camada de escoamento e da formação de correntes turbulentas (CREMASCO, 2018).

As singularidades comumente encontradas instaladas em tubulações são a entrada e saída do tubo, expansões ou contrações, curvas, cotovelos, válvulas, registros, tês ou outros acessórios (ESPARTEL, 2017).

A estimativa dos valores dessas perdas pode ser realizada por dois métodos: método do coeficiente da perda de carga localizada ( $k$ ) e método do comprimento equivalente ( $L_{eq}$ ) (CREMASCO, 2018).

O coeficiente  $k$  é dependente do número de Reynolds, da rugosidade do tubo, da geometria da singularidade e das condições de escoamento (HIBBELER, 2016).

Tendo os valores tabelados de acordo com cada tipo de singularidade e seu material constituinte, esses valores de  $k$  foram determinados de forma experimental (PORTO, 2006).

No caso de alargamento brusco é possível obter o coeficiente  $k$  através de uma simples análise. Para isso é necessário levar em consideração as equações da continuidade, da conservação da quantidade de movimento para um volume de controle entre as duas seções e a equação de energia (BOMBARDELLI, 2018).

Conforme Bagarello et al. (1997), as forças viscosas começam a se tornarem desprezíveis para valores de número de Reynolds maiores que 10000.

A perda de carga localizada ( $h_{fL}$ ) é expressa classicamente pela variação da energia cinética multiplicada pelo coeficiente  $k$  (Zitterell et al., 2009). Podendo ser calculada através da Equação 2:

$$h_{fL} = k \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Onde:

$h_{fL}$  = perda de carga localizada [m]; e

$k$  = coeficiente de perda de carga localizada.

O método do comprimento equivalente consiste em considerar que cada singularidade acarreta uma perda de carga igual a que seria produzida por um determinado comprimento de tubulação com o mesmo diâmetro. Os valores desse comprimento de tubulação equivale virtualmente ao comprimento produzido pela peça considerada, sendo esse valores tabelados para cada tipo de peça (MACINTYRE, 2010).

Assim, o comprimento total da tubulação será a soma do comprimento real ( $L$ ) e o comprimento equivalente ( $L_{eq}$ ) da peça, conforme indicado na Equação 3. O valor dessa soma é utilizado como se a tubulação fosse retilínea e sem singularidades (MACINTYRE, 2010).

$$L_{virt} = L + L_{eq} \quad (3)$$

Onde:

$L_{virt}$  = comprimento virtual [m]; e

$L_{eq}$  = comprimento equivalente [m].

### 3.3 Aspectos gerais sobre registros

No Brasil, diversas válvulas são conhecidas como registros, quando destinadas ao escoamento de água e operadas de forma manual. Podem estar localizadas em diferentes pontos da tubulação, além de apresentar diversos tipos (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Esses acessórios destinam-se ao sistema de abertura, fechamento e regulação da passagem do fluido pela tubulação. Alguns permitem a segurança da instalação hidráulica e outros permitem desmontagens, reparos e substituição de elementos na instalação (FIALHO, 2013).

A escolha do tipo de registro depende da natureza de operação, das propriedades físicas e químicas do fluido, da pressão e temperatura de submissão e da forma de acionamento (FIALLHO, 2013).

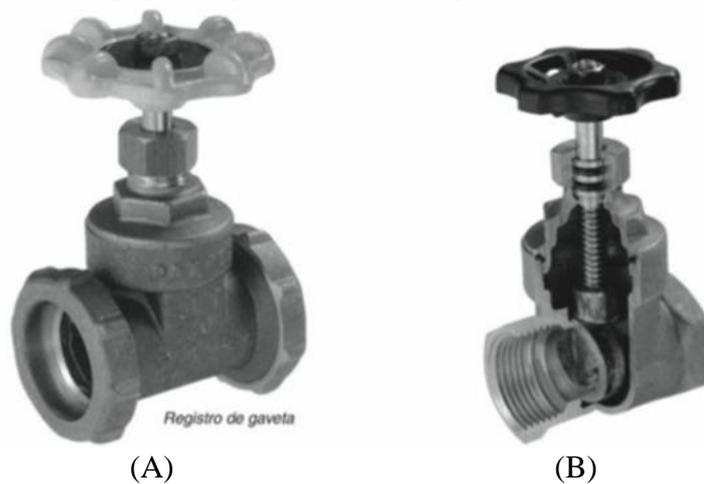
A variação na abertura do registro influencia no escoamento e na perda de carga naquele ponto. Podem apresentar abertura plena – pouca influência no fluxo- e totalmente fechada – interrupção da passagem do escoamento (ESPARTEL, 2017).

Dentre os variados tipos de registro, destacam-se o registro de gaveta, de pressão, de esfera e o de globo.

O registro de gaveta é destinado à interrupção eventual da passagem de água. No seu interior se encontra uma cunha ou gaveta, que acionada por uma haste se desloca fechando ou abrindo totalmente a passagem de água, conforme a norma NBR 15704-1 (ABNT, 2009), conforme representado na Figura 3.

Não deve ser utilizado como registro de controle nos pontos de utilização de água. Quando aberto apresenta perda de carga desprezível, quando parcialmente aberto produzem elevada perda de carga e em instalações de vapor sob certas condições, estão sujeitos a cavitação (MACINTYRE, 2010).

Figura 3 - Registro de gaveta: (A) vista geral; (B) corte detalhado.



Fonte: CREDER, 2018.

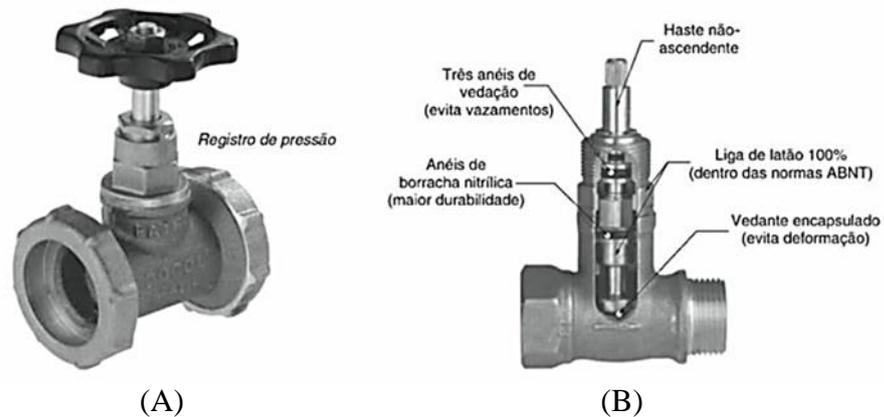
A vedação é obtida parcialmente pela pressão da água sobre a gaveta, em um ou ambos os sentidos dependendo da concepção. A abertura e fechamento são feitos com arraste entre duas superfícies, sendo possível uma má vedação ao longo do tempo (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Já os registros de pressão são utilizados em instalações hidráulicas de distribuição de sub-ramais, como no caso de chuveiros. Eles podem ser roscáveis ou não, onde a haste

rosqueada é deslocada em virtude da rosca correspondente da peça, que fica na parte superior do corpo do registro (MACINTYRE, 2010).

O sentido de escoamento do fluido deve ser de forma que tenda a elevar o disco e a haste, diminuindo o risco de vazamento pelas gaxetas. Além de apresentar um volume de escoamento destacável, permite que o fluxo de água ocorra em um único sentido (CREDER, 2018), como pode ser visto por meio da Figura 4.

Figura 4 - Registro de pressão: (A) vista geral; (B) corte detalhado.

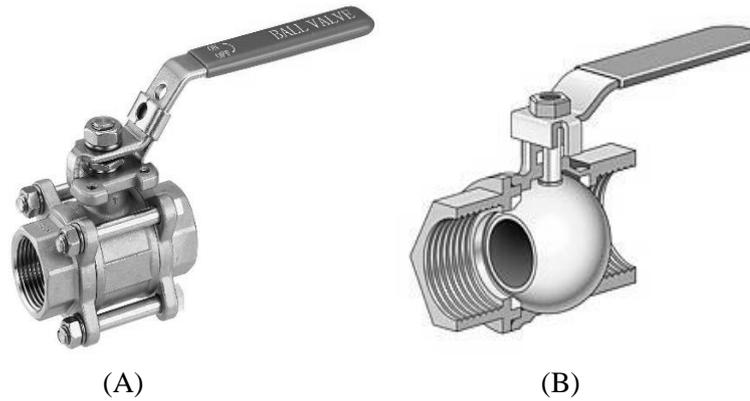


Fonte: CREDER, 2018.

O registro de esfera possui sistema de obstrução constituído de mecanismos que se assestam em uma sede no sentido contrário do fluxo, numa passagem central localizada no corpo do registro. Destinado a operar totalmente aberto ou completamente fechado, seu comando geralmente é manual e de fechamento rápido (MACINTYRE, 2010), como pode ser visto na Figura 5.

Quando utilizado na posição aberta tem perda de carga praticamente nula, enquanto na posição fechada pode vedar em um sentido ou em ambos (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Figura 5 - Registro de esfera: (A) vista geral; (B) corte detalhado



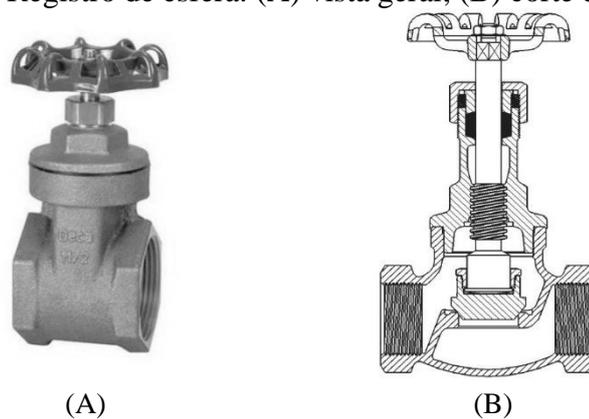
(A) Fonte: (A) RGR Pneumáticos, 2020.  
(B) MTIBrasil, 2020.

O registro de globo serve para regulagem de vazão e bloqueio do fluxo, geralmente utilizado em serviços de regulagem e fechamento. Possui uma haste parcialmente rosqueada na extremidade, oposta ao volante da manobra (MACINTYRE, 2010). Conforme esquematizado na Figura 6.

Visto por fora, o corpo da válvula apresenta formato aproximadamente esférico. Projetado para desviar o fluxo para entrar perpendicularmente ao disco de vedação, prevendo fluxo unidirecional e não permitindo contrafluxo (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Mesmo totalmente aberto, acarreta elevada perda de carga, conseguindo uma vedação absolutamente estanque em tamanhos pequenos (MACINTYRE, 2010).

Figura 6 - Registro de esfera: (A) vista geral; (B) corte detalhado.



(A) Fonte: Merc, 2020.

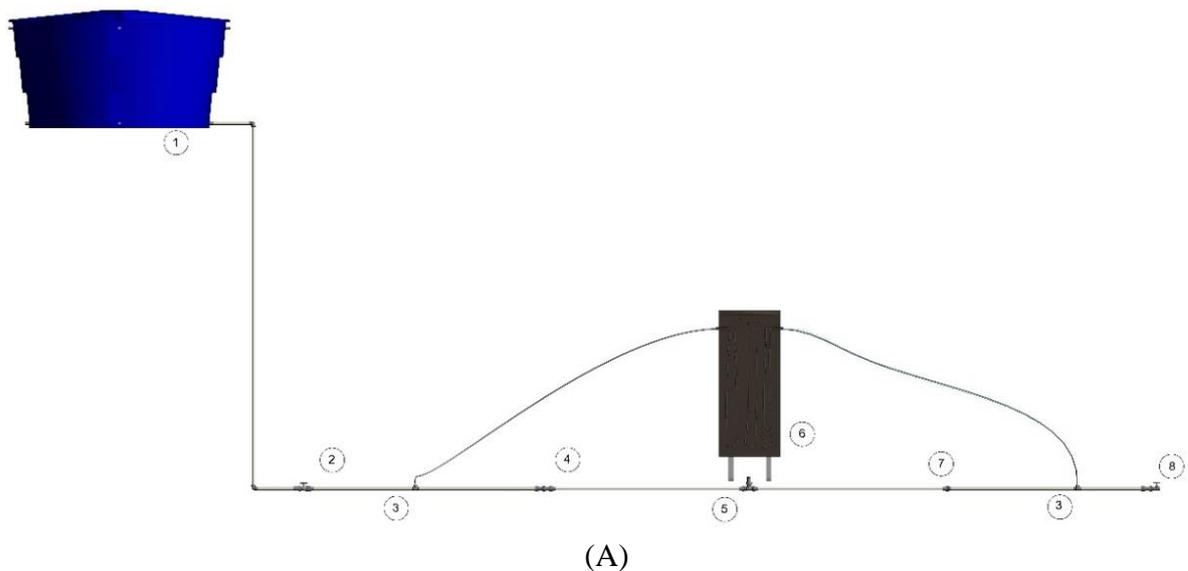
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

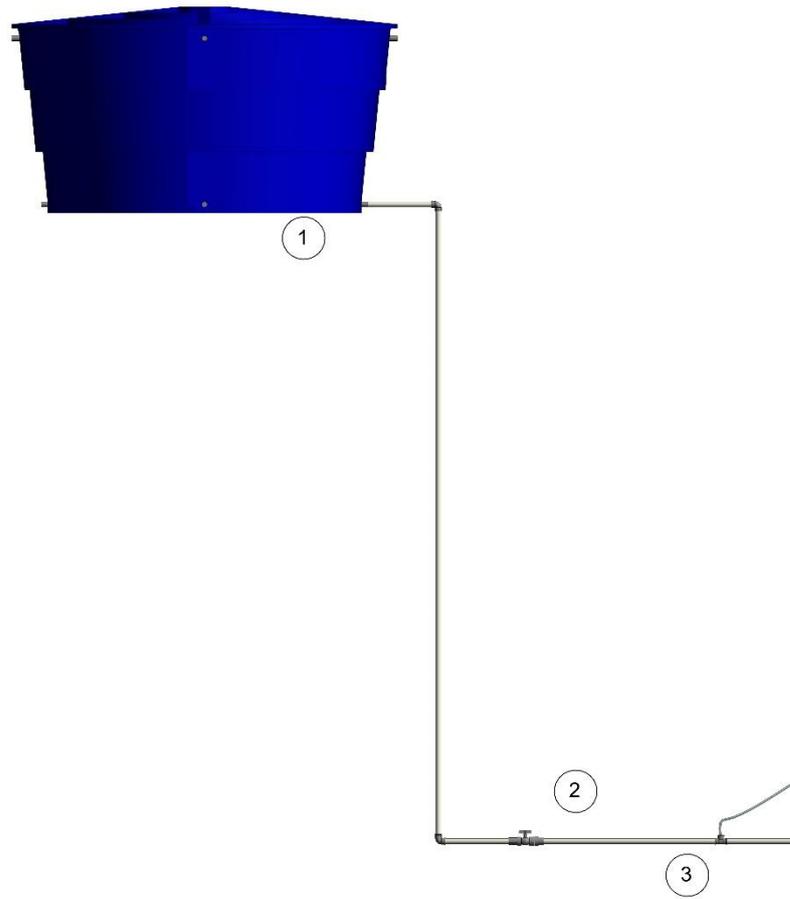
O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica, nas dependências do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Um módulo experimental foi construído para a realização do experimento, visando a coleta de dados para análise da perda de carga localizada ao longo da tubulação. Foi utilizada uma infraestrutura de apoio ao módulo, composta por reservatório a nível constante, tubulações, registros, colar de tomada de pressão e manômetro de mercúrio de formato em U.

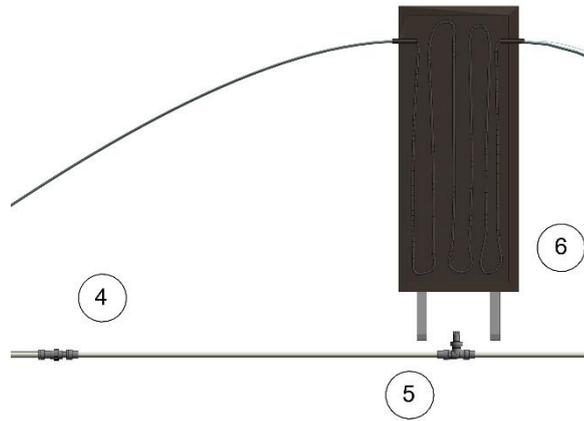
O esquema do módulo experimental está representado na Figura 7 e as peças constituintes estão indicadas no Quadro 1.

Figura 7 - Esquema representativo do módulo experimental e trechos ampliados: módulo inteiro (A), trecho 1-3 (B), trecho 4-6 (C), trecho 7-8 (D).

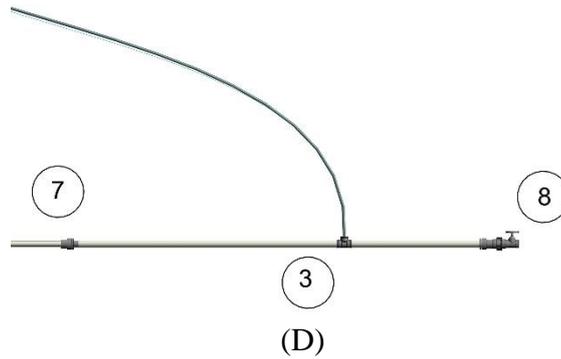




(B)



(C)



Fonte: Da autora (2021).

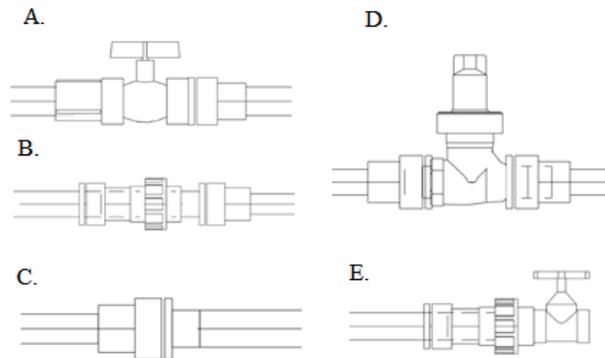
#### Quadro 1 - Peças constituintes do aparato hidráulico.

- 1 Reservatório a nível constante
- 2 Luva roscável – registro de esfera – adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro
- 3 Colar de tomada de pressão
- 4 Adaptador soldável - união roscável - bucha de redução roscável – adaptador soldável curto
- 5 Adaptador soldável curto – registro a ser ensaiado – adaptador soldável curto
- 6 Manômetro
- 7 União roscável – adaptador soldável curto
- 8 Adaptador soldável curto – registro de gaveta

Fonte: Da autora (2021).

Na Figura 8 estão representados os detalhamentos das singularidades utilizadas nos trechos da tubulação do módulo experimental.

Figura 8 - Detalhes das singularidades utilizadas nos trechos da tubulação no módulo experimental: ligação entre luva, registro e adaptador (A), adaptador, união, bucha de redução e adaptador (B), união e adaptador (C), adaptador, registro e adaptador (D) e adaptador e registro (E).



Fonte: Da autora (2021).

As tubulações utilizadas foram de PVC Soldável, com diâmetros comerciais de 20 e 25 mm. As conexões usadas nas tubulações ensaiadas foram do tipo conexões soldáveis e roscáveis para a tubulação de PVC. Toda a tubulação foi colocada em nível, permitindo a determinação da perda de carga e da vazão volumétrica por gravimetria.

O trecho onde foi avaliada a perda de carga foi o trecho compreendido entre as duas tomadas de pressão instaladas na tubulação do módulo experimental.

A constituição do módulo experimental teve por início um registro de esfera de  $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, instalado na extremidade da tubulação a montante da área útil, precedido de uma luva roscável e tubulação oriunda do reservatório, ambos já existentes no local de montagem. Em sequência foram utilizadas as seguintes conexões com diâmetro de 25 mm: adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro, união e bucha de redução roscável.

A área central do módulo montado era formada por um adaptador soldável curto com bolsa em ambas as pontas de cada tubo, sendo eles dois tubos com 1,5 m de comprimento conectados ao registro a ser ensaiado.

Foram ensaiados registros de pressão com diâmetros nominais de 20 e 25 mm. As tubulações conectadas a eles possuíam diâmetro idêntico a cada registro, respectivamente.

Nas tubulações a montante e a jusante da região central foram instaladas uma tomada de pressão, ambas com uma distância de 1 m da tubulação da área central. Para instalá-las foram feitos furos na tubulação e realizado o encaixe.

Nas tomadas de pressão foi conectado o manômetro de mercúrio em formato U. Para não haver obstrução do furo ou surgimento de bolhas na mangueira de silicone incolor do manômetro, era realizada a calibragem do sistema através da aspensão da água da mangueira.

A medição da vazão ocorreu por meio da coleta de dados por gravimetria, a jusante de um registro de gaveta instalado no final do módulo experimental. Cada ensaio foi executado da seguinte maneira: o fluido era fornecido pelo reservatório a nível constante, escoava pela tubulação e conexões situados no módulo experimental, sendo controlado pela abertura ou fechamento de um dos registros localizados na bancada.

Os colares das tomadas de pressão estavam situados antes e após o trecho da tubulação de área útil. Logo, para cada posição do registro ensaiado foram coletados cinco dados de vazão e pressão.

Para coleta dos dados, primeiramente fixava-se o tubo com o registro a ser ensaiado e abria o registro da extremidade do módulo, que estava conectado à tubulação do reservatório e permitia a passagem do fluxo. Os dados eram coletados após ocorrer a estabilidade do escoamento do fluido no interior da tubulação, para não haver oscilação nos valores de leitura no manômetro. O procedimento se repetia para as demais vazões através do fechamento e abertura do registro ensaiado e do registro localizado no final do módulo.

O registro ensaiado tinha sua abertura controlada através de uma porcentagem relativa à sua abertura total, sendo coletados dados com 25%, 50%, 75% e 100% de abertura. O controle da vazão se dava também através da manipulação da abertura do registro localizado no final do módulo, sendo a variação de abertura em torno de 30° em relação a angulação total para obter 100% de abertura dele.

Conforme ocorria o escoamento e sua estabilização, eram realizadas as leituras das pressões no manômetro e demarcava-se o tempo, com um intervalo de aproximadamente 30 segundos. Após o início da cronometragem a água oriunda do escoamento era recolhida no béquer. Ao encerrar o cronômetro, a massa de água coletada era pesada juntamente ao béquer.

A determinação ou estimativa dos valores da perda de carga total, localizada e distribuída ocorridas durante o escoamento do fluido foi dividida em três etapas:

Na primeira etapa foi realizada a determinação experimental da perda de carga total ao longo do escoamento, sendo estes os resultados da análise da perda de carga nos trechos de tubulação retilínea, singularidade (registro) e novamente tubulação retilínea, montados em laboratório.

Foi realizada a leitura do diferencial de pressão no manômetro de mercúrio para cada ensaio observando a altura manométrica dos pontos  $P_1$  e  $P_2$ , em mm Hg. Desta forma foi obtida a altura da coluna de mercúrio e da coluna de água no manômetro. O diferencial de pressão foi obtido através da Equação 4.

$$\Delta P = h_{\text{Hg}} \gamma_{\text{Hg}} - h_{\text{H}_2\text{O}} \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \quad (4)$$

Onde:

$\Delta P$  = Diferencial de pressão [N/m<sup>2</sup>];

$h_{\text{Hg}}$  = altura da coluna de mercúrio [m];

$\gamma_{\text{Hg}}$  = peso específico do mercúrio [N/m<sup>3</sup>];

$h_{\text{H}_2\text{O}}$  = altura da coluna de água [m]; e

$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$  = peso específico da água [N/m<sup>3</sup>].

O peso específico dos fluidos foi calculado através da Equação 5.

$$\gamma = \rho g \quad (5)$$

Onde:

$\gamma$  = peso específico do fluido [N/m<sup>3</sup>]; e

$\rho$  = massa específica do fluido [kg/m<sup>3</sup>].

A massa específica do mercúrio foi considerada igual a 13600 kg/m<sup>3</sup> (ÇENGEL, 2015). Para o cálculo da massa específica e viscosidade cinemática da água foi criado um código na linguagem VBA, utilizando o módulo Macros do Microsoft Excel®.

Figura 9 – Código VBA.

```
Sub Gráfico3_Clique()
End Sub

Function mespl(t#)
Rem journal of Chm eng.data 20(1),97,1975
a# = 999.83952 + 16.945176 * t# - 7.9870401 / 10 ^ 3 * t# ^ 2
b# = -46.170461 / 10 ^ 6 * t# ^ 3 + 105.56306 / 10 ^ 9 * t# ^ 4
c# = -280.54253 / 10 ^ 12 * t# ^ 5
d# = (a# + b# + c#) / (1 + 16.87985 / 10 ^ 3 * t)
mespl = d#
End Function

Function Cvisc(t#)
Rem journal of Chm eng.data 20(1),97,1975
a# = 999.83952 + 16.945176 * t# - 7.9870401 / 10 ^ 3 * t# ^ 2
b# = -46.170461 / 10 ^ 6 * t# ^ 3 + 105.56306 / 10 ^ 9 * t# ^ 4
c# = -280.54253 / 10 ^ 12 * t# ^ 5
d# = (a# + b# + c#) / (1 + 16.87985 / 10 ^ 3 * t)
Rem From Bingham -Fluidity and Elasticity p240McGraw-Hill, New York,1922
e# = 2.1482 * ((t# - 8.435) + (8078.4 + (t# - 8.435) ^ 2) ^ (1 / 2)) - 120
f# = (1 / e#) / 10
Cvisc = f# / d#
End Function

Function meINMETRO(tC)
a = 1000.14 + 0.0094 * tC - 0.0053 * tC ^ 2
meINMETRO = a
End Function
```

Fonte: Da autora (2021).

O código desenvolvido usou como parâmetros a Portaria n° 455 – Certificação de Bombas Centrífugas (INMETRO, 2010) para o cálculo do peso específico da água, conforme a Equação 6. E correlações para o cálculo da viscosidade cinemática do fluido conforme publicado no Journal of Chemical and Engineering Data (KELL, 1975) e International Journal of Plasticity (BETTEN; SHIN, 1992).

$$\rho = 1000,14 + 0,0094T - 0,0053T^2 \quad (6)$$

Onde:

T = temperatura da água aquirada durante o ensaio [°C].

Na realização do experimento foi medida a temperatura da água utilizando um termômetro fabricado em vidro, com seção circular e contendo um tubo capilar preenchido com mercúrio em seu interior.

Para o cálculo da perda de carga total no escoamento foi aplicado o Teorema de Bernoulli, representado pela Equação 7. Como a tubulação do módulo experimental estava em nível, a altura piezométrica dos pontos 1 e 2 eram iguais, ou seja,  $z_1 = z_2$ . A velocidade de escoamento na tubulação era a mesma nos dois pontos analisados, visto que os mesmos apresentavam vazão volumétrica e área da seção transversal idênticas, logo,  $v_1 = v_2$ . Desta maneira foi possível o cálculo da perda de carga total do escoamento utilizando as Equação 7 e 8.

$$\frac{P_1}{\gamma_{H_2O}} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{H_2O}} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad (7)$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma_{H_2O}} \quad (8)$$

Onde:

P = Pressão manométrica [N/m<sup>2</sup>]; e

z = altura piezométrica [m].

A segunda etapa consistiu no cálculo da perda de carga distribuída utilizando a equação de Darcy-Weisbach, citada anteriormente, com o uso da Equação de Colebrook-White para

determinação do fator de atrito “f”, dependente do diâmetro interno do tubo, número de Reynolds e a rugosidade do tubo, representada pela Equação 9.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \quad (9)$$

Onde:

$\varepsilon$  = rugosidade do tubo [m]; e

Re = número de Reynolds.

Para esta equação o fator de atrito (f) está implícito, sendo necessária a utilização de métodos numéricos iterativos para a estimativa dos seus valores para cada ensaio realizado. Para tal, utilizou-se o módulo Solver do Microsoft Excel<sup>®</sup>. Para estimar o valor do fator de atrito (f) foi necessária a determinação da velocidade do escoamento da água ao longo do tubo e a área da seção transversal do trecho em que ocorria o escoamento, de acordo com as Equações 10 e 11.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (10)$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (11)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica [m<sup>3</sup>/s]; e

S = área da seção transversal do tubo [m<sup>2</sup>].

A área da seção transversal foi calculada considerando o valor do diâmetro interno do tubo. Os valores considerados para o diâmetro interno do tubo foram iguais a 17 e 21,6 mm para os tubos com diâmetro nominal de 20 e 25 mm, respectivamente, conforme as especificações técnicas do catálogo do fornecedor. A vazão em volume foi determinada por meio da Equação 12.

$$Q = \frac{m}{\rho \times \Delta t} \quad (12)$$

Onde:

$m$  = massa de água coletada em cada ensaio [kg]; e

$\Delta t$  = tempo de duração do escoamento [s].

Após o cálculo da velocidade e da viscosidade cinemática para cada ensaio, os dados foram inseridos em planilha eletrônica juntamente com o valor do diâmetro interno do tubo e o valor da rugosidade absoluta, que para tubos de PVC considera-se  $\varepsilon = 0,000015$  m (ESPARTEL, 2017). Ao inserir os dados, automaticamente a planilha eletrônica calculava o número de Reynolds, realizava a classificação do escoamento para cada ensaio e estimava o valor do fator de atrito.

Logo, a perda de carga distribuída pode ser calculada pela Equação 13.

$$h_{f_D} = f \frac{L_{TP1-TP2}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Onde:

$h_{f_D}$  = perda de carga distribuída [m]; e

$L_{TP1-TP2}$  = comprimento útil da tubulação no módulo experimental [m].

Sendo utilizado o comprimento de tubulação compreendido entre as tomadas de pressão instaladas no módulo experimental.

A terceira etapa consistiu no cálculo da perda de carga localizada nos registros, sendo resultado da subtração da perda de carga total ocorrida no trecho ensaiado e a perda de carga distribuída estimada para o trecho, conforme a Equação 14.

$$h_{f_L} = h_f - h_{f_D} \quad (14)$$

O coeficiente de perda de carga ( $k$ ) foi estimado por dois métodos diferentes. A primeira metodologia adotada utilizou os valores da perda de carga localizada calculada anteriormente e a velocidade de escoamento do fluido na entrada do registro a ser ensaiado, conforme a Equação 15.

$$k_{v_{ent,reg}} = h_{fL} \frac{2g}{v_{ent,reg}^2} \quad (15)$$

Onde:

$k_{v_{ent,reg}}$  = coeficiente de perda de carga localizada ajustado a partir da velocidade média do escoamento do fluido na entrada do registro; e

$v_{ent,reg}$  = velocidade média do escoamento na entrada do registro.

Sendo a velocidade de escoamento do fluido na entrada do registro determinada por meio da Equação 10, citada anteriormente. Foram utilizados os valores da vazão em volume, sendo a área da seção transversal calculada através da Equação 11, onde o diâmetro interno usado foi o do adaptador conectado ao registro ensaiado. O diâmetro interno do adaptador foi medido experimentalmente, sendo iguais a 11,5 e 16,5 mm para os diâmetros comerciais de 20 mm e 25 mm, respectivamente.

Considerando as características de uma tubulação retilínea de PVC, foi determinado o comprimento equivalente da singularidade instalada na tubulação pelo Método do Comprimento Equivalente.

O cálculo da perda de carga total passa a ser realizado como se a tubulação fosse um único trecho reto com comprimento total igual ao comprimento da tubulação retilínea adicionado ao comprimento equivalente da singularidade. Na Equação 16 tem-se representada a perda de carga total do escoamento, sendo a segunda parcela da equação referente a perda de carga ocorrida no trecho da singularidade.

$$h_f = f \frac{L}{D_{tubo}} \frac{v^2}{2g} + f \frac{L_{eq}}{D_{tubo}} \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

Como a perda de carga localizada na singularidade foi transformada em um problema de perda de carga distribuída em tubulação retilínea de mesmo valor, foram igualadas as equações para perda de carga localizada e distribuída na singularidade. Assim foi possível obter uma expressão para o cálculo do comprimento equivalente ajustado ao coeficiente de perda de carga ajustado a velocidade de escoamento na entrada do registro, conforme as Equações 17 e 18.

$$k_{v_{\text{ent,reg}}} \frac{v_{\text{ent,reg}}^2}{2g} = f \frac{L_{\text{eq}}}{D_{\text{tubo}}} \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

$$L_{\text{eq}} = \frac{k_{v_{\text{ent,reg}}}}{f} \frac{v_{\text{ent,reg}}^2}{v^2} D_{\text{tubo}} \quad (18)$$

A segunda metodologia para o cálculo do coeficiente de perda de carga localizada consistiu na utilização da velocidade de escoamento em trânsito na tubulação retilínea, calculado o valor de  $k$  por meio da Equação 19.

$$k_{v_{\text{tubo}}} = h_{fL} \frac{2g}{v^2} \quad (19)$$

Onde:

$k_{v_{\text{tubo}}}$  = coeficiente de perda de carga localizada ajustado a partir da velocidade média do escoamento do fluido na tubulação.

Utilizando o Método do Comprimento Equivalente foi possível relacionar a perda de carga total do escoamento na tubulação retilínea com a perda de carga total do escoamento. Ou seja, foi acrescentada na tubulação um comprimento equivalente no qual a perda de carga distribuída era equivalente a soma das perdas de carga distribuída e localizada na tubulação.

Igualando-as, considerando o comprimento virtual da tubulação, foi obtida uma expressão para o cálculo do comprimento equivalente da singularidade, conforme as Equações 20 e 21, porém, a partir de sua análise matemática, é possível perceber que o  $L_{\text{eq}}$  calculado pelos diferentes métodos, seria o mesmo.

$$f \frac{L}{D_{\text{tubo}}} \frac{v^2}{2g} + k_{v_{\text{tubo}}} \frac{v^2}{2g} = f \frac{(L + L_{\text{eq}})}{D_{\text{tubo}}} \frac{v^2}{2g} \quad (20)$$

$$L_{\text{eq}} = \frac{k_{v_{\text{tubo}}}}{f} D_{\text{tubo}} \quad (21)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados durante a realização dos ensaios laboratoriais proporcionaram a possibilidade de caracterização do escoamento ao longo da tubulação. Os valores obtidos experimentalmente estão indicados no Anexo A - Tabelas A1 e A2.

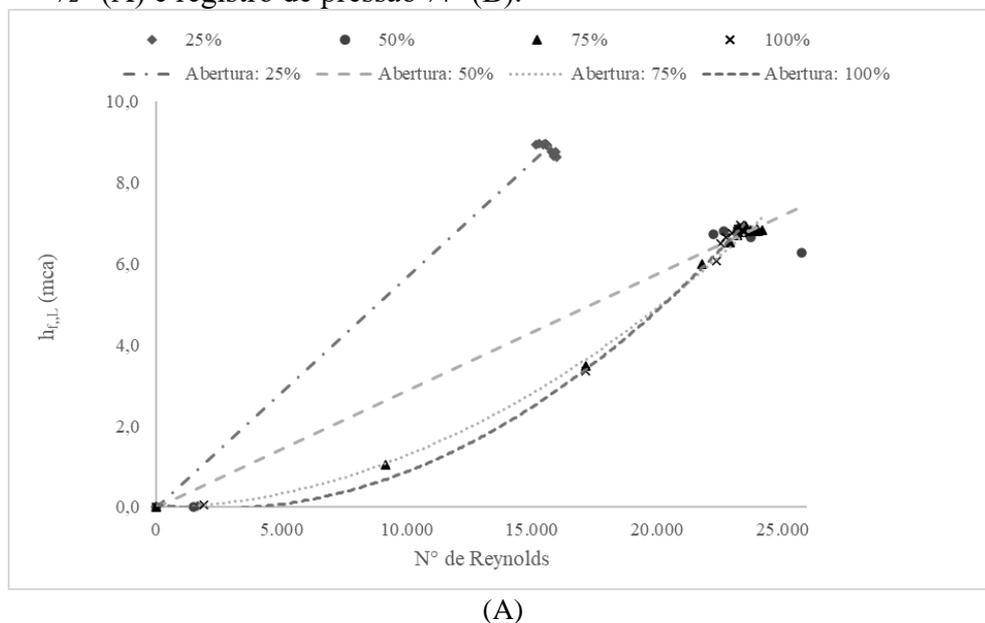
Foram quantificadas e verificadas algumas das propriedades do fluido durante a ocorrência do escoamento, conforme indicado nas Tabelas B1 e B2 do Anexo B.

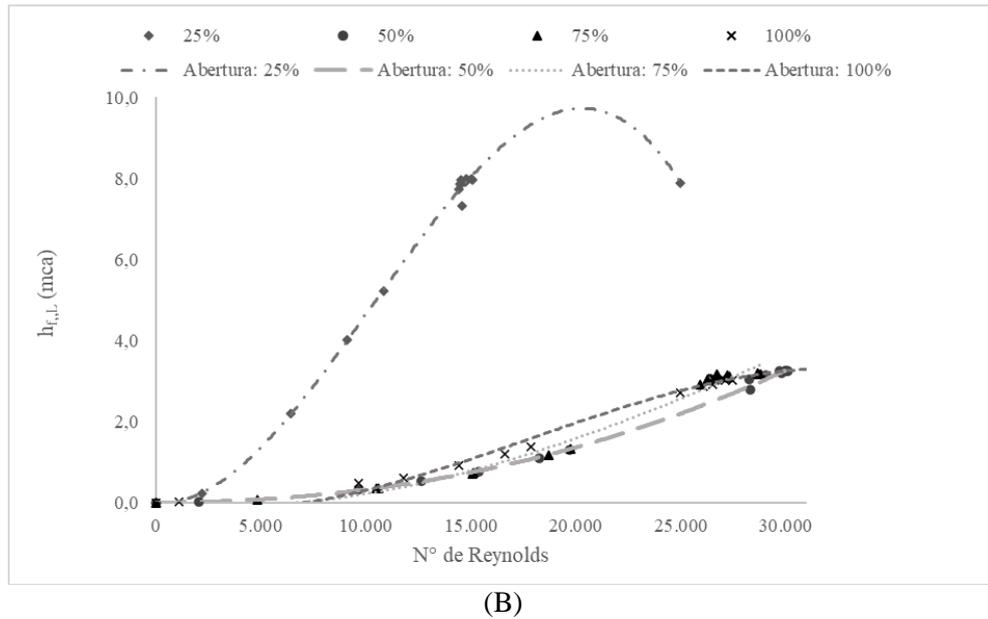
Os valores resultantes para a perda de carga total, distribuída e localizada para cada registro ensaiado e respectivas aberturas relativas encontram-se indicados no Anexo C – Tabelas C1 e C2.

Para cada número de Reynolds calculado foram relacionados graficamente os valores da perda de carga localizada, do coeficiente “k” e do comprimento equivalente correspondente ao registro de pressão instalado na tubulação.

No Gráfico 1 estão relacionados o número de Reynolds e o valor da perda de carga localizada obtida para ambos os registros ensaiados em suas diferentes aberturas.

Gráfico 1 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento da perda de carga localizada “ $h_{fL}$ ” em função do número de Reynolds para o registro de pressão  $\frac{1}{2}$ ” (A) e registro de pressão  $\frac{3}{4}$ ” (B).





Fonte: Da autora (2021).

Na Tabela 1 estão indicadas as equações da reta e  $R^2$  referentes ao Gráfico 1, para os registros ensaiados.

Tabela 1 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e perda de carga localizada em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ " (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ " (B) em diferentes aberturas relativas.

A			B		
Abertura	Modelo	$R^2$	Abertura	Modelo	$R^2$
25%	$0,0006x$	0,9984	25%	$-2E-12x^3 + 8E-08x^2 - 4E-05x$	0,9977
50%	$0,0003x$	0,9967	50%	$2E-14x^3 + 3E-09x^2 + 2E-07x$	0,9981
75%	$1E-08x^2 + 1E-05x - 0,0223$	0,9951	75%	$-7E-14x^3 + 8E-09x^2 - 5E-05x$	0,9858
100%	$2E-08x^2 - 8E-05x + 0,0625$	0,9982	100%	$-3E-13x^3 + 2E-08x^2 - 1E-04x$	0,9914

Fonte: Da autora (2021).

Ao realizar análise do Gráfico 1 é perceptível a mudança comportamental do escoamento para a abertura parcial de 25% independente do diâmetro do registro analisado.

Pode-se notar que para as aberturas maiores que 50% a perda de carga localizada apresentou valores muito próximos entre si, devido ao fato de que conforme era aumentada a vazão veiculada pelo módulo experimental ocorria também o aumento gradativo do número de Reynolds e da perda de carga.

Este fato pode ser justificado, visto que, nos registros de pressão o comprimento do corpo é relativamente pequeno e que a passagem do fluxo ocorre em seções estranguladas, em que o fluido sofre um redirecionamento do fluxo no interior do registro, o que proporciona um

aumento da turbulência e conseqüentemente alterações das características do escoamento de forma específica.

Apesar de ser denominada perda de carga localizada, a influência de acessórios na tubulação é sentida pelo escoamento em trechos a montante e jusante. (PORTO, 2006).

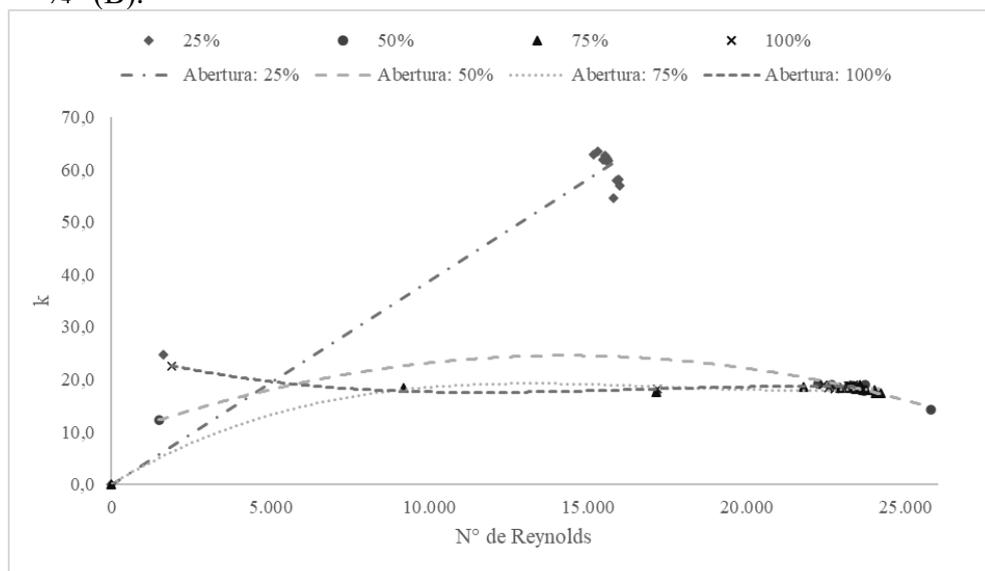
Quando a instalação hidráulica apresenta elevado número de peças especiais e a velocidade excede a 1 m/s, a perda de carga localizada pode representar até 90% da perda de carga total (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

O coeficiente de perda de carga localizada “k”, utilizado no método direto, foi ajustado de duas formas: a primeira utilizando a velocidade média de escoamento na entrada do adaptador conectado ao registro ensaiado e a segunda utilizando a velocidade de escoamento média ao longo da tubulação.

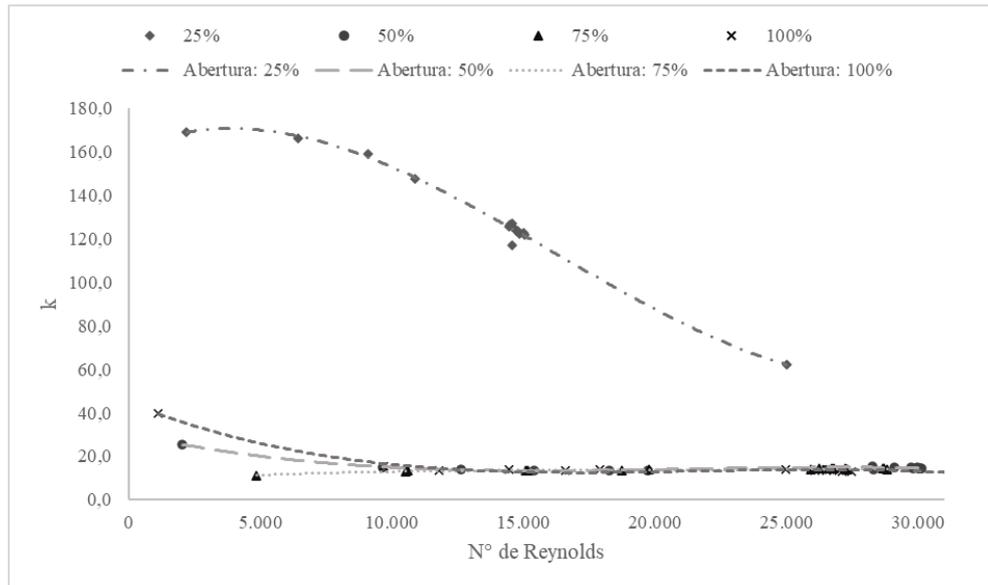
No Anexo D – Tabelas D1 e D2 encontram-se indicados os valores obtidos para o coeficiente de perda de carga localizada “k” quando ajustado a partir da velocidade média de escoamento na entrada do adaptador conectado ao registro ensaiado.

No Gráfico 2 pode-se observar a relação entre número de Reynolds e o coeficiente de perda de carga localizada para ambos os registros ensaiados, a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro.

Gráfico 2 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do coeficiente de perda de carga localizada “k” em função do Número de Reynolds, calculado a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro, para o registro de pressão 1/2” (A) e registro de pressão 3/4” (B).



(A)



(B)

Fonte: Da autora (2021).

Na Tabela 2 estão indicadas as equações da reta e  $R^2$  referentes ao Gráfico 2, para os registros ensaiados.

Tabela 2 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o coeficiente de perda de carga localizada “k”, calculado a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ ” (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ ” (B) em diferentes aberturas relativas.

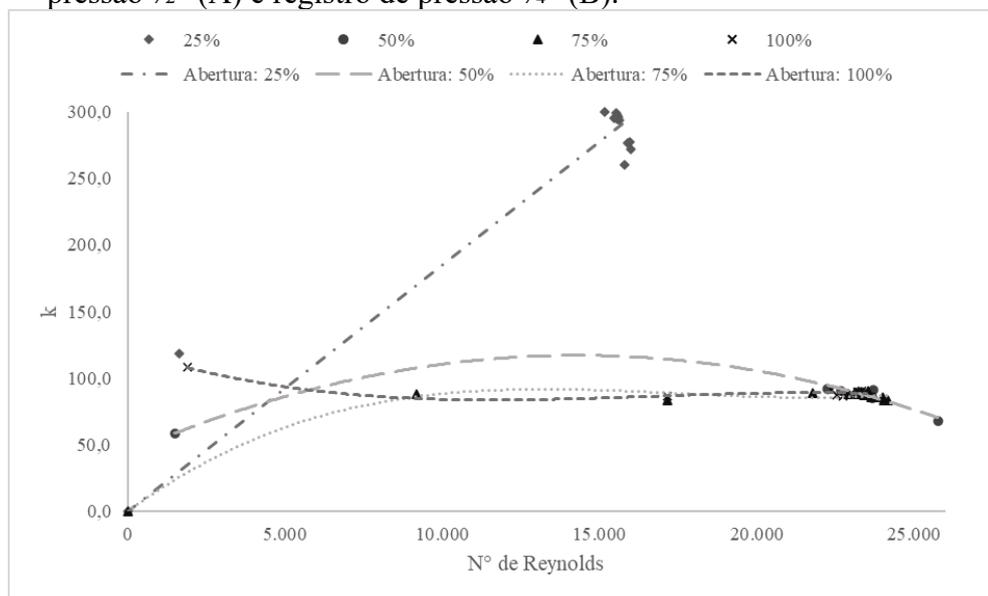
A		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	$0,0039x$	0,9891
50%	$-7E-08x^2 + 0,0021x + 9,2441$	0,9550
75%	$4E-12x^3 - 2E-07x^2 + 0,0036x + 0,0665$	0,9841
100%	$-2E-12x^3 + 1E-07x^2 - 0,0016x + 25,336$	0,9489
B		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	$2E-11x^3 - 7E-07x^2 + 0,0051x + 161,03$	0,9916
50%	$-2E-12x^3 + 1E-07x^2 - 0,0027x + 30,37$	0,9876
75%	$6E-13x^3 - 4E-08x^2 + 0,0007x + 8,5369$	0,9092
100%	$-4E-12x^3 + 2E-07x^2 - 0,0048x + 44,4520$	0,9829

Fonte: Da autora (2021).

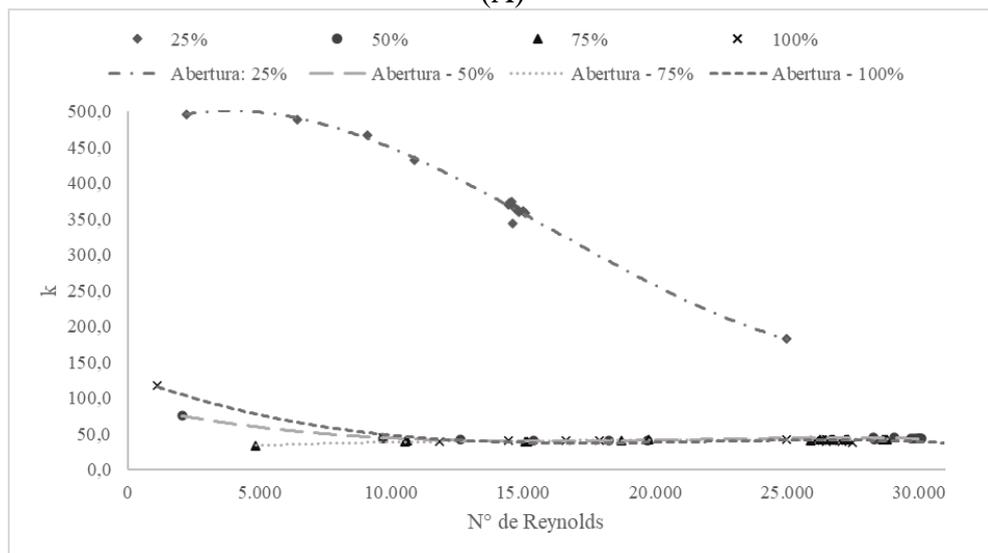
Os valores obtidos para o coeficiente de perda de carga localizada “k” quando ajustado a partir da velocidade média de escoamento ao longo da tubulação encontram-se indicados no Anexo D – Tabelas D3 e D4.

No Gráfico 3 podemos observar o valor de k quando ajustado utilizando a velocidade média de escoamento na tubulação retilínea para diferentes valores do número de Reynolds.

Gráfico 3 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do coeficiente de perda de carga localizada “k” em função do Número de Reynolds, calculado a partir da velocidade média de escoamento na tubulação retilínea, para o registro de pressão 1/2” (A) e registro de pressão 3/4” (B).



(A)



(B)

Fonte: Da autora (2021).

Na Tabela 3 estão indicadas as equações da reta e  $R^2$  referentes ao Gráfico 2, para os registros ensaiados.

Tabela 3 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o coeficiente de perda de carga “k”, ajustado pela velocidade média de escoamento estimada na tubulação retilínea, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ ” (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ ” (B) em diferentes aberturas relativas.

A		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	0,0185x	0,9891
50%	$-4E-07x^2 + 0,0102x + 44,144$	0,9550
75%	$2E-11x^3 - 1E-06x^2 + 0,0174x$	0,9841
100%	$-1E-11x^3 + 5E-07x^2 - 0,0078x + 120,99$	0,9489
B		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	$4E-11x^3 - 2E-06x^2 + 0,0149x + 472,91$	0,9916
50%	$-6E-12x^3 + 4E-07x^2 - 0,0079x + 89,192$	0,9876
75%	$2E-12x^3 - 1E-07x^2 + 0,0022x + 25,071$	0,9092
100%	$-1E-11x^3 + 7E-07x^2 - 0,014x + 130,55$	0,9829

Fonte: Da autora (2021).

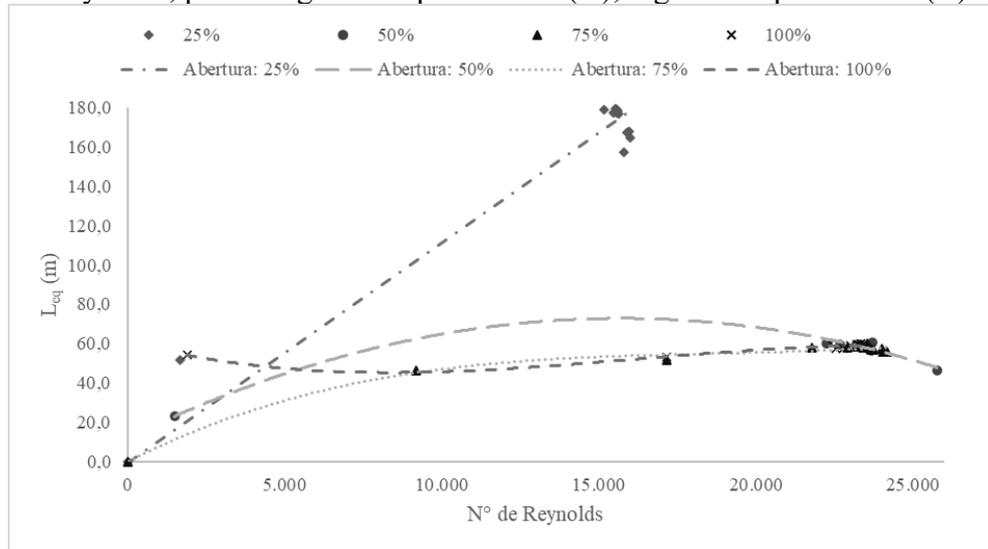
Conforme os resultados obtidos e observando os Gráficos 2 e 3, fica evidente a influência que o percentual de abertura do registro ensaiado exerce sobre o fluxo e os valores das propriedades do escoamento. Quanto menor era porcentagem de abertura do registro, maiores foram os valores obtidos para o coeficiente de perda de carga localizada em ambas as metodologias.

Pode-se observar que, quando ajustado a partir da velocidade média de escoamento estimada na entrada da conexão da tubulação retilínea com o registro (1ª metodologia), os valores obtidos para o coeficiente de perda de carga localizada “k” foram inferiores aos valores obtidos quando ajustados a partir da velocidade média de escoamento ao longo da tubulação retilínea (2ª metodologia), visto que esse coeficiente sofre influência do valor desta variável hidráulica do escoamento.

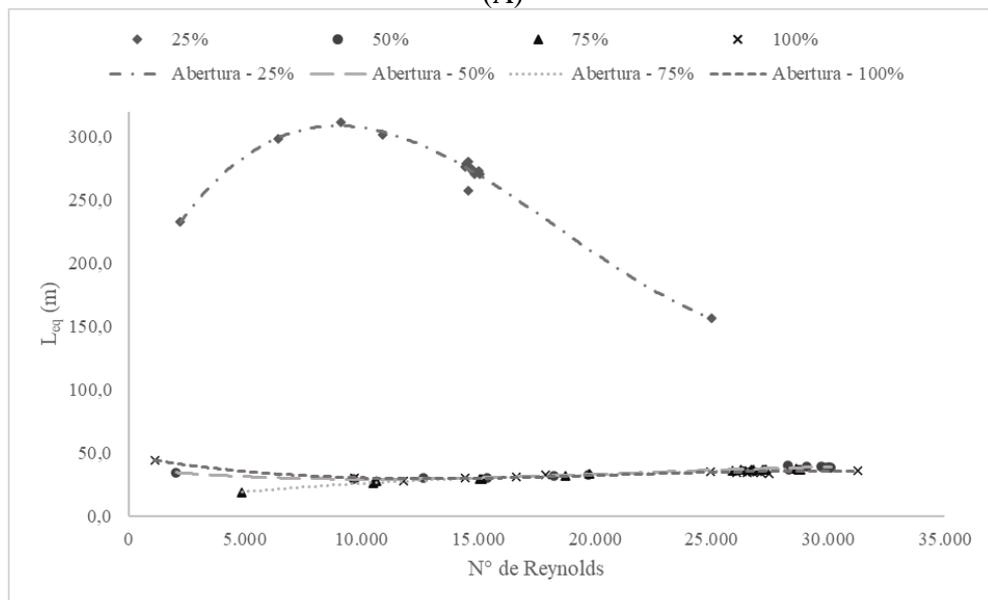
Há de se salientar que, de forma prática, utiliza-se a velocidade média do escoamento na tubulação retilínea para estimativa da perda de carga localizada e não, a velocidade média na entrada ou mesmo no interior dos registros.

No Gráfico 4 foram relacionados o comprimento equivalente da singularidade instalada na tubulação e o número de Reynolds.

Gráfico 4 - Modelos matemáticos ajustados que representam o comportamento do comprimento equivalente “ $L_{eq}$ ” da singularidade instalada na tubulação em função do número de Reynolds, para o registro de pressão  $\frac{1}{2}$ ” (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ ” (B).



(A)



(B)

Fonte: Da autora (2021).

Na Tabela 4 estão indicadas as equações da reta e  $R^2$  referentes ao Gráfico 4, para os registros ensaiados.

Tabela 4 - Modelos matemáticos ajustados aos dados observados e  $R^2$  obtidos para cada modelo, relacionando o número de Reynolds e o comprimento equivalente “ $L_{eq}$ ” da singularidade instalada na tubulação, em registro de pressão  $\frac{1}{2}$ ” (A); registro de pressão  $\frac{3}{4}$ ” (B) em diferentes aberturas relativas.

A		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	0,0111x	0,9940
50%	$-2E-07x^2 + 0,0077x + 12,264$	0,9803
75%	$7E-12x^3 - 4E-07x^2 + 0,0081x + 0,1781$	0,9878
100%	$-7E-12x^3 + 3E-07x^2 - 0,0042x + 60,859$	0,9478
B		
Abertura	Modelo	$R^2$
25%	$5E-11x^3 - 3E-06x^2 + 0,0356x + 166,07$	0,9800
50%	$-2E-12x^3 + 1E-07x^2 - 0,0018x + 37,688$	0,9622
75%	$1E-12x^3 - 8E-08x^2 + 0,0024x + 9,5443$	0,9900
100%	$-3E-12x^3 + 2E-07x^2 - 0,0033x + 47,538$	0,9124

Fonte: Da autora (2021).

Assim como ocorreu para as demais propriedades representadas graficamente, o valor calculado para o comprimento equivalente referente a abertura de 25% apresenta valores superiores aos valores obtidos para as demais aberturas percentuais.

Quando analisadas as curvas correspondentes a abertura parcial de 25% para cada registro ensaiado, observa-se um comportamento muito distinto entre elas. Para o registro de pressão de  $\frac{1}{2}$ ” pode-se observar que quando o número de Reynolds passou a apresentar valores próximos ou maiores que 20000 houve uma estabilização para os valores do coeficiente de perda de carga localizada e comprimento equivalente.

Já o registro de pressão de  $\frac{3}{4}$ ” apresentou graficamente uma curvatura peculiar para a abertura relativa de 25%, assemelhando-se ao formato polinomial, tendo um pico para valores de Reynolds entre 10000 e 15000 e em seguida uma queda para os valores do número de Reynolds. Uma justificativa plausível para tal fato consiste na ocorrência de valores obtidos experimentalmente próximos aos valores de Reynolds que pertencem a zona de transição do escoamento de laminar para turbulento.

Verificou-se que para os números de Reynolds próximos e superiores a 20000 há pouca variação para os valores dos coeficientes de perda de carga a ele associados. Segundo Casanova (2001), em situações de números de Reynolds menores ( $Re < 30.000$ ), foi constatado que a turbulência diminui à medida que o escoamento progride, tomando o perfil de velocidade

semelhante ao do escoamento laminar, mostrando condição de equilíbrio local para números de Reynolds elevados.

Vale ressaltar que o comprimento equivalente foi calculado em função do coeficiente de atrito “ $f$ ” e do coeficiente de perda de carga localizada “ $k$ ”, ambos dependentes do número de Reynolds.

Pode-se observar também que o coeficiente de ajuste  $R^2$  para todos os gráficos obteve valores superiores a 0,9, o que significa que mais de 90% da variância dos coeficientes analisados são proporcionais a variância do número de Reynolds.

De forma resumida, na Tabela 5, encontram-se indicados os valores médios e o desvio padrão para a perda de carga obtida e coeficientes de perda de carga, para as diferentes aberturas relativas e em função do diâmetro de registro.

Tabela 5 - Valores médios e desvio padrão do número dos números de Reynolds obtidos, perda de carga localizada e coeficientes de perda de carga para registros ensaiados.

Registro de pressão ½”						
Abertura		Re	$h_{fL}$ (m)	k 1ª metodologia	k 2ª metodologia	$L_{eq}$ (m)
25%	$\bar{X}$	14546,674	8,186	57,720	275,632	164,244
	$\sigma$	3731,454	2,357	9,855	47,062	33,222
50%	$\bar{X}$	21757,772	6,232	17,790	84,952	55,295
	$\sigma$	6141,167	1,874	2,082	9,942	10,291
75%	$\bar{X}$	22089,833	6,144	18,153	86,689	56,599
	$\sigma$	3966,672	1,655	0,458	2,188	3,463
100%	$\bar{X}$	21325,658	6,081	18,838	89,958	58,228
	$\sigma$	5603,314	1,897	1,081	5,160	1,974

Registro de pressão 3/4”						
Abertura		Re	$h_{fL}$ (m)	k 1ª metodologia	k 2ª metodologia	$L_{eq}$ (m)
25%	$\bar{X}$	13466,010	6,631	128,860	378,441	269,024
	$\sigma$	4845,072	2,426	24,615	72,292	34,869
50%	$\bar{X}$	23307,215	2,227	15,130	44,434	35,935
	$\sigma$	9110,180	1,280	2,806	8,241	3,898
75%	$\bar{X}$	21660,375	2,107	13,810	40,558	33,242
	$\sigma$	7750,445	1,271	0,785	2,305	5,255
100%	$\bar{X}$	21936,331	2,253	15,211	44,672	34,337
	$\sigma$	8091,303	1,122	6,158	18,085	3,476

Fonte: Da autora (2021).

Conforme a NBR 10071 (2011), os valores máximos do coeficiente da perda de carga para registro de pressão com DN de 20 e 25 mm são iguais a 40 e 32, respectivamente para a condição na qual o registro encontra-se totalmente aberto e utilizando o Método Direto.

Ao analisar a Tabela 5, os valores médios para os coeficientes calculados experimentalmente estão dentro do intervalo dos valores permitidos pela norma para as aberturas de 50, 75 e 100%. Os valores máximos são extrapolados quando o registro tem abertura parcial de 25%.

Quando comparados aos valores do coeficiente de perda de carga para outros tipos de registros, verifica-se que os valores também são superiores até mesmo ao do registro de globo, o qual tem características que se assemelham ao registro de pressão. Na literatura são encontrados alguns valores do coeficiente de perda de carga para diferentes registros (PORTO, 2006), quando totalmente abertos e de comprimento equivalente para registros na tubulação, como indicados na Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Valores do coeficiente k para diversos registros.

Acessório	k
Registro de gaveta	0,2
Registro de globo	10,0
Registro de ângulo aberto	5,0

Fonte: Adaptada de Porto (2006).

Tabela 7 - Comprimento equivalente em metros de tubulação de PVC.

Diâmetro nominal (mm)	Registro de gaveta	Registro de globo	Registro de ângulo aberto
20	0,2	11,4	6,1
25	0,3	15,0	8,4

Fonte: Adaptada de Porto (2006).

Se comparados os valores médios para o comprimento equivalente calculados experimentalmente com os valores médios indicados na literatura, observa-se que independentemente da variação da abertura são valores muito maiores do que para os demais tipos de registros.

Essa variação dos valores dos coeficientes pode ser justificada ao ser observada a área livre de passagem do escoamento no interior do registro. Ao comparar os diferentes tipos de válvulas e a área livre de passagem para os vários estágios de fechamento, percebe-se que nem todas as válvulas possuem área livre de passagem total mesmo quando abertas 100% (SOTOMAYOR, 2016), conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Comparativo entre área livre de passagem para diferentes válvulas.

Válvula	0%	12.5%	25%	37.5%	50%	62.5%	75%	87.5%	100%
Gaveta									
Esfera									
Borboleta									
Globo									

Fonte: Adaptada de Sotomayor (2016).

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram quantificados e determinados coeficientes de perda de carga localizada em registros de pressão para os diâmetros nominais mais utilizados nos sistemas prediais de água fria. Na literatura são encontradas poucas informações sobre as características hidráulicas comportamentais desse tipo de registro, por isso, a necessidade de estudos para caracterização da influência do mesmo em instalações prediais e dos seus coeficientes.

Segundo Porto (2006), não existe um tratamento analítico para o cálculo da perda de carga desenvolvida para a maioria dos acessórios ou conexões utilizados nas instalações hidráulicas, pelo fato de ser um campo experimental de difícil quantificação e depender de diversos fatores.

Por meio da realização de ensaios, utilizando o módulo experimental construído para tal, foram obtidos valores da perda de carga localizada para diferentes números de Reynolds, em função do diâmetro e do índice de fechamento relativo do registro. Aplicando correlações matemáticas foi possível obter os valores dos coeficientes de perda de carga localizada por duas metodologias, o comprimento equivalente do registro instalado na tubulação e foram ajustadas equações lineares para cada um dos cenários avaliados.

Analisando os resultados obtidos ficou evidente que o fechamento relativo do registro em muito influencia o escoamento do fluido. Ao comparar o comportamento do escoamento para as aberturas parciais estudadas, pôde-se verificar que, a partir de uma abertura superior a 50%, o escoamento da água foi semelhante, apresentando certa tendência de proporcionalidade dos coeficientes obtidos. Isso se deve ao fato de a área livre para passagem do escoamento ser semelhante para estas aberturas relativas.

Salienta-se que os resultados obtidos experimentalmente podem variar para cada marca e modelo de registro de pressão disponíveis no mercado, devido à sua construção e geometria, no entanto são um bom indicativo para dimensionamento.

Em projetos de instalações hidráulicas prediais a verificação do funcionamento correto do sistema ocorre sob a condição de abertura total dos registros, caso o projetista seja conservador, seria interessante levar em consideração a análise da condição 25% aberto, já que os valores são altamente significativos e podem comprometer o funcionamento do sistema, caso seja submetido à abertura parcial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10071**. Registro de pressão fabricado com corpo e castelo em ligas de cobre para instalações hidráulicas prediais. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15704-1**. Registro – Requisitos e métodos de ensaio. Parte 1 – Registros de pressão. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**. Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. 2020.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9. ed., São Paulo: Blücher, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208891/pageid/4>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. Evaluating Pressure Losses in Drip-Irrigation Lines. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 123 (1), 1-7. 1997. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281997%29123%3A1%281%29>. Acesso em: 06 dez. 2020.

BETTEN, J.; SHIN, C. H. Inelastic analysis of plastic compressible materials using the viscoplastic model. **International Journal of Plasticity**, vol.8, Ed. 8, 977-985. 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0749-6419\(92\)90046-F](https://doi.org/10.1016/0749-6419(92)90046-F). Acesso em: 10 abr. 2021.

BOMBARDELLI, W. W. Á. **Perda localizada de carga em conexões utilizadas em sistemas de microirrigação**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-17072018-145841/publico/Wagner\\_Wilson\\_Avila\\_Bombardelli\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-17072018-145841/publico/Wagner_Wilson_Avila_Bombardelli_versao_revisada.pdf). Acesso em: 20 nov. 2020.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos I**, 2ª ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/432/pdf/6>. Acesso em: 30 nov. 2020.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208389/pageid/0>. Acesso em: 19 nov. 2020.

CASANOVA, D. A. S. **Análise numérica do escoamento turbulento em válvulas automáticas de compressores**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82108>. Acesso em: 20 mai. 2021.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 3ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580554915/cfi/0>. Acesso em: 30 nov. 2020.

COELHO, F. D.; XAVIER, J. A. **Revitalização da câmara de carga e do conduto forçado da usina hidrelétrica de rio branco do sul**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6766/1/CT\\_COELE\\_2015\\_1\\_14.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6766/1/CT_COELE_2015_1_14.pdf). Acesso em: 09 nov. 2020.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1937-6/>. Acesso em: 02 dez. 2020.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2018. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/164079/pdf/0?code=YedMATAtwIGLATQcLTS6dEfCWIGetLe-DHBv5DRQmwv1ugfM8kYD5vbuNzggJZWekii2+OgYeFIRgqKtWM77oxQ==>. Acesso em: 24 nov. 2020.

ESPARTEL, L. **Hidráulica Aplicada**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595020276>. Acesso em: 05 dez. 2020.

FIALHO, A. B. **Automação Hidráulica - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6. ed., rev. São Paulo: Érica, 2013. 9788536530338. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530338/>. Acesso em: 26 nov. 2020.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T; MITCHELL, J. W. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 9. ed. – Rio de Janeiro: LTC. 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635000/epub-cfi/6/10%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright%5D!/4/2%400:0>. Acesso em: 01 dez. 2020.

GERNER, V. R. **Perda de carga e comprimento equivalente**. 2013. SENAI - SP. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/16495154/perda-de-carga-e-comprimento-equivalente-senai>. Acesso em: 28 nov. 2020.

GOMES, A. W. A.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H. **Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno**. Eng. Agríc. [online]. 2010, vol.30, n.3, pp.435-446. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n3/08.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2020.

HIBBELER, R.C. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Pearson, 2016. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/41617/pdf/0?code=nECUIr6BW5X1UC-swIPqCtLqNoP2QsAnGztyDEWmppi18RpDmfRHgn0avofyv5KxZRrcXNhGuO/sVi-vzCPMsqEA==>. Acesso em: 06 dez. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 455. Certificação de Bombas Centrífugas**. 2010.

KELL, G. S. Density, Thermal Expansivity, and Compressibility of Liquid Water from 0° to 150°C: Correlations and Tables for Atmospheric Pressure and Saturation Reviewed and Expressed on 1968 Temperature Scale. **Journal of Chemical and Engineering Data**, 20(1), 97-105. 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jc60064a005>. Acesso em: 12 abr. 2021.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1964-2/>. Acesso em: 15 dez. 2020.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC - USP, 2006. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-estadual-de-goias/hidraulica/outro/livro-hidraulica-basica-rodrigo-porto-4a-edicao/4326706/view>. Acesso em: 07 nov. 2020.

PREDIAL. **Catálogo técnico Tigre**. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/obras-e-reformas/agua/tubos-e-conexoes-para-agua-fria>. Acesso em: 15 nov. 2020.

RESENDE, M. F. **A variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestação pelo *Limnoperna fortunei***. 2007, p. 86. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/REPA-7BLMUJ/1/273m.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SOTOMAYOR, H. B. **Estudo comparativo entre válvulas hidráulicas**. Projeto de Graduação (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro: Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018330.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2021.

TAVARES, L. C.; ALMEIDA, I. R.; AGUIAR, L. F. S.; CAVALCANTE, I. C. S. **Estudo experimental de perda de carga em condutos forçados através do princípio de Bernoulli**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 4 - 8 out. 2015. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/XI-003.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses**. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11017>. Acesso em: 07 nov. 2020.

ZITTERELL, D. B.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; ULLMANN, M. N. **Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão**. Eng. Agríc. [online], Jaboticabal, 2009, vol.29, n.4, p.591-604. ISSN 0100-6916. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n4/v29n4a9.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.

## ANEXO A – Dados experimentais

Tabela A1 - Registro de pressão ½”: Dados experimentais – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	Δt (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	0,502	30,38	33,0	528,00	530,80
2	5,382	30,36	28,0	199,00	904,60
3	5,409	30,37	28,0	195,00	908,80
4	5,422	30,39	28,0	193,60	896,80
5	5,344	30,62	28,0	191,40	917,00
6	5,322	30,59	28,0	190,40	916,60
7	5,329	30,67	28,0	189,40	916,60
8	5,292	30,51	28,0	188,20	916,80
9	5,271	30,58	27,6	188,00	916,20
10	5,312	30,69	27,0	188,40	915,60
11	5,358	30,69	27,8	188,20	915,80
12	5,356	30,72	27,5	188,20	915,80
13	5,615	30,55	26,1	200,00	914,40

(A)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	Δt (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	0,482	30,55	30,6	520,80	522,20
2	8,246	30,46	27,0	256,60	825,80
3	8,281	30,51	24,0	272,00	848,60
4	8,461	30,72	24,2	265,20	849,40
5	8,480	30,56	24,9	265,00	849,40
6	8,455	30,45	25,0	264,20	849,40
7	8,502	30,47	25,0	261,80	849,00
8	8,449	30,38	25,0	259,60	850,40
9	8,484	30,41	25,0	259,60	848,40
10	8,470	30,34	25,0	259,00	848,00
11	8,502	30,58	25,0	267,00	849,00
12	8,607	30,46	25,0	267,80	847,20
13	9,305	30,54	25,4	274,40	825,60

(B)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	Δt (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	3,338	30,50	25,0	489,60	581,60
2	6,249	30,53	25,0	393,80	696,80
3	7,893	30,38	25,0	287,80	802,80
4	8,313	30,39	25,0	266,40	828,60
5	8,405	30,35	25,0	260,40	836,60
6	8,480	30,36	25,0	257,20	839,80
7	8,562	30,36	25,0	255,20	841,80
8	8,503	30,30	25,0	253,60	843,40
9	8,594	30,43	25,0	255,40	841,60
10	8,810	30,70	25,0	254,40	842,60
11	8,525	30,66	25,0	254,00	842,80
12	8,643	30,49	25,0	253,80	842,20
13	8,709	30,31	25,2	253,40	842,40
14	8,637	30,50	25,5	252,60	843,40
15	8,466	30,47	25,5	254,20	848,40

(C)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	Δt (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	0,668	30,71	26,5	526,20	530,60
2	6,005	30,52	26,8	383,00	672,60
3	7,896	30,50	26,4	277,20	798,60
4	8,274	30,26	24,3	274,00	834,00
5	8,414	30,28	24,0	268,40	841,60
6	8,404	30,41	24,7	264,00	844,20
7	8,467	30,59	25,0	261,40	846,80
8	8,489	30,63	25,0	260,00	848,00
9	8,454	30,47	25,0	258,80	848,20
10	8,504	30,62	25,0	257,80	847,60
11	8,529	30,47	25,0	257,80	848,20
12	8,556	30,50	24,9	257,80	847,40
13	8,468	30,35	25,0	257,80	846,60
14	8,504	30,34	25,0	257,40	846,60
15	8,447	30,34	25,0	250,20	847,80

(D)

Fonte: Da autora (2021).

Tabela A2 - Registro de pressão  $\frac{3}{4}$ '': Dados experimentais – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	$\Delta t$ (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	1,066	30,41	23,1	544,20	563,00
2	3,300	30,44	20,5	471,20	647,20
3	4,563	30,34	21,3	398,20	721,80
4	5,404	30,36	21,7	345,20	765,40
5	7,198	30,39	22,0	267,00	859,00
6	7,153	30,49	22,0	253,00	877,00
7	7,208	30,62	22,0	249,00	882,00
8	7,188	30,36	22,0	248,00	884,00
9	7,263	30,36	22,0	245,00	884,00
10	7,265	30,71	22,0	244,00	886,00
11	7,273	30,32	22,0	245,00	886,00
12	7,338	30,42	22,0	244,00	886,00
13	7,393	22,00	30,5	244,00	887,00
14	7,363	30,55	22,5	243,00	887,00
15	7,353	30,41	22,5	243,00	886,00
16	7,293	30,31	22,0	243,00	887,00

(A)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	$\Delta t$ (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	0,844	30,39	30,1	532,60	534,60
2	4,260	30,42	27,0	515,00	545,00
3	5,587	30,40	26,8	505,60	554,80
4	6,783	30,42	27,0	498,00	568,00
5	8,156	30,43	26,4	481,60	582,40
6	8,854	30,45	26,2	473,40	591,40
7	12,738	30,37	26,0	410,00	660,00
8	12,728	30,39	26,0	406,00	676,00
9	13,223	30,69	26,0	405,00	685,00
10	13,468	30,49	26,0	403,00	689,00
11	13,518	30,39	26,0	402,00	692,00
12	13,553	30,42	26,0	400,00	690,00
13	13,613	30,50	26,0	400,00	690,00
14	13,478	30,38	26,0	402,00	692,00
15	13,633	30,97	26,0	400,00	690,00
16	13,588	30,57	26,0	400,00	690,00

(B)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	$\Delta t$ (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	2,093	30,39	28,0	522,80	528,80
3	4,673	30,40	27,0	503,40	537,40
4	4,620	30,35	27,0	506,00	538,00
5	6,674	30,39	27,0	487,00	554,20
6	6,638	30,38	27,0	488,00	554,00
7	8,433	30,38	26,0	472,00	579,60
8	8,794	30,37	26,5	468,20	588,40
11	13,173	30,56	21,0	422,00	685,00
12	13,353	30,58	21,0	420,00	695,00
13	13,418	30,47	21,5	418,00	698,00
14	13,498	30,53	22,0	417,00	700,00
15	13,448	30,31	22,0	416,00	698,00
16	13,443	30,34	22,0	420,00	700,00
17	13,503	30,39	21,0	415,00	700,00
19	13,588	30,41	24,0	415,00	700,00
20	13,598	30,55	24,0	413,00	697,00
21	13,439	30,34	24,1	407,80	693,60

(C)

Repetição	M <sub>H2O</sub> (Kg)	$\Delta t$ (s)	T (°C)	P <sub>1</sub> (mmHg)	P <sub>2</sub> (mmHg)
1	0,488	30,62	28,0	524,80	525,80
3	5,078	30,43	19,5	534,00	578,00
4	6,146	30,46	19,9	527,80	584,40
5	7,419	30,52	20,5	510,60	595,40
6	8,482	30,40	20,6	501,20	610,40
7	9,045	30,40	21,0	492,20	618,60
9	12,653	30,45	21,0	435,00	680,00
10	13,173	30,38	21,0	428,00	688,00
11	13,628	30,90	21,0	426,00	690,00
12	13,548	30,60	21,0	421,00	694,00
13	13,888	30,38	21,0	420,00	695,00
14	13,748	30,49	21,0	418,00	692,00
15	13,448	30,50	21,0	418,00	695,00
16	13,668	30,45	21,0	417,00	695,00
17	13,418	30,39	21,0	417,00	695,00
18	13,493	30,48	21,0	417,00	695,00
19	13,528	30,41	21,0	418,00	694,00
20	13,738	30,36	27,1	403,40	684,60

(D)

Fonte: Da autora (2021).

## ANEXO B – Propriedades do fluido e do escoamento

Tabela B1 - Registro de pressão ½”: Propriedades do fluido e do escoamento – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$v_{tubo}$ (m/s)	$v_{ent,reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,0028	346,243	0,000017	0,073179	0,159915	994,679	7,56E-07	1644,979007	0,0389062716
2	0,7056	87242,365	0,000178	0,783947	1,713124	996,248	8,39E-07	15883,307914	0,0281497406
3	0,7138	88256,236	0,000179	0,787672	1,721265	996,248	8,39E-07	15958,784847	0,0281163979
4	0,7032	86945,622	0,000179	0,788942	1,724039	996,248	8,39E-07	15984,507573	0,0281050796
5	0,7256	89715,221	0,000175	0,771702	1,686365	996,248	8,39E-07	15635,204371	0,0282607540
6	0,7262	89789,407	0,000175	0,769278	1,681069	996,248	8,39E-07	15586,106407	0,0282829839
7	0,7272	89913,049	0,000174	0,768431	1,679219	996,248	8,39E-07	15568,948952	0,0282907728
8	0,7286	90086,149	0,000174	0,767156	1,676432	996,248	8,39E-07	15543,111127	0,0283025227
9	0,7282	90035,877	0,000173	0,762189	1,665577	996,362	8,46E-07	15309,923960	0,0284100973
10	0,7272	89911,037	0,000174	0,765157	1,672062	996,530	8,57E-07	15170,717397	0,0284740579
11	0,7276	89962,098	0,000175	0,772015	1,687050	996,305	8,43E-07	15574,374756	0,0282886225
12	0,7276	89961,490	0,000175	0,771065	1,684974	996,390	8,48E-07	15454,765487	0,0283432668
13	0,7144	88326,729	0,000184	0,812370	1,775235	996,775	8,75E-07	15792,029884	0,0281897122

(A)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$v_{tubo}$ (m/s)	$v_{ent,reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,0014	173,111	0,000016	0,069818	0,152569	995,465	7,94E-07	1494,374766	0,0428272756
2	0,5692	70375,911	0,000272	1,196681	2,615053	996,530	8,57E-07	23726,520215	0,0254619922
3	0,5766	71286,420	0,000272	1,199006	2,620135	997,313	9,17E-07	22236,923762	0,0258778446
4	0,5842	72226,308	0,000276	1,216833	2,659091	997,264	9,12E-07	22670,272989	0,0257550716
5	0,5844	72252,041	0,000278	1,226007	2,679138	997,088	8,98E-07	23204,779390	0,0256101245
6	0,5852	72351,095	0,000279	1,227081	2,681485	997,063	8,96E-07	23277,271466	0,0255906285
7	0,5872	72598,364	0,000280	1,232849	2,694091	997,063	8,96E-07	23386,694557	0,0255606420
8	0,5908	73043,450	0,000279	1,228712	2,685050	997,063	8,96E-07	23308,217675	0,0255821301
9	0,5888	72796,180	0,000280	1,232666	2,693691	997,063	8,96E-07	23383,223494	0,0255615906
10	0,5890	72820,907	0,000280	1,233634	2,695805	997,063	8,96E-07	23401,579210	0,0255565766
11	0,5820	71955,463	0,000279	1,228576	2,684751	997,063	8,96E-07	23305,623537	0,0255828419
12	0,5794	71634,013	0,000283	1,248485	2,728258	997,063	8,96E-07	23683,293209	0,0254802360
13	0,5512	68148,068	0,000306	1,346513	2,942475	996,959	8,88E-07	25772,255355	0,0249453549

(B)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$v_{tubo}$ (m/s)	$v_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,0920	11374,403	0,000110	0,483531	1,056639	997,063	8,96E-07	9172,403471	0,0322993053
2	0,3030	37461,350	0,000205	0,904368	1,976275	997,063	8,96E-07	17155,523440	0,0276193196
3	0,5150	63671,931	0,000261	1,148006	2,508686	997,063	8,96E-07	21777,249953	0,0260203546
4	0,5622	69507,494	0,000274	1,208696	2,641309	997,063	8,96E-07	22928,507350	0,0256873926
5	0,5762	71238,381	0,000278	1,223463	2,673580	997,063	8,96E-07	23208,646928	0,0256095244
6	0,5826	72029,644	0,000280	1,234114	2,696855	997,063	8,96E-07	23410,688100	0,0255540903
7	0,5866	72524,184	0,000283	1,245966	2,722753	997,063	8,96E-07	23635,508123	0,0254931049
8	0,5898	72919,815	0,000281	1,240157	2,710060	997,063	8,96E-07	23525,322707	0,0255229031
9	0,5862	72474,730	0,000283	1,247746	2,726644	997,063	8,96E-07	23669,278278	0,0254840070
10	0,5882	72721,999	0,000288	1,267941	2,770775	997,063	8,96E-07	24052,373745	0,0253819207
11	0,5888	72796,180	0,000279	1,228685	2,684990	997,063	8,96E-07	23307,691995	0,0255822743
12	0,5884	72746,726	0,000284	1,252391	2,736794	997,063	8,96E-07	23757,395061	0,0254603438
13	0,5890	72821,204	0,000288	1,269597	2,774394	997,011	8,92E-07	24191,848056	0,0253443091
14	0,5908	73044,198	0,000284	1,251356	2,734531	996,933	8,86E-07	24004,346592	0,0253918285
15	0,5942	73464,561	0,000279	1,227708	2,682854	996,933	8,86E-07	23550,714458	0,0255132290

(C)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$v_{tubo}$ (m/s)	$v_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,0044	544,010	0,000022	0,096140	0,210090	996,667	8,67E-07	1885,425607	0,0339445904
2	0,2896	35805,999	0,000197	0,869757	1,900641	996,585	8,61E-07	17169,521368	0,0276068656
3	0,5214	64465,077	0,000260	1,144497	2,501018	996,694	8,69E-07	22395,875783	0,0258324723
4	0,5600	69234,529	0,000274	1,207820	2,639395	997,239	9,10E-07	22553,401104	0,0257891939
5	0,5732	70866,070	0,000279	1,227436	2,682261	997,313	9,17E-07	22764,183758	0,0257266807
6	0,5802	71732,487	0,000277	1,221030	2,668262	997,139	9,02E-07	23006,907970	0,0256639268
7	0,5854	72375,822	0,000278	1,223198	2,673000	997,063	8,96E-07	23203,611112	0,0256109138
8	0,5880	72697,272	0,000278	1,224455	2,675746	997,063	8,96E-07	23227,449693	0,0256043401
9	0,5894	72870,361	0,000278	1,225889	2,678880	997,063	8,96E-07	23254,659584	0,0255968470
10	0,5898	72919,815	0,000279	1,227339	2,682050	997,063	8,96E-07	23282,172620	0,0255892816
11	0,5904	72993,996	0,000281	1,236846	2,702824	997,063	8,96E-07	23462,504167	0,0255399698
12	0,5896	72894,940	0,000281	1,239428	2,708466	997,088	8,98E-07	23458,801595	0,0255405118
13	0,5888	72796,180	0,000280	1,233018	2,694458	997,063	8,96E-07	23389,885641	0,0255597702
14	0,5892	72845,634	0,000281	1,238504	2,706448	997,063	8,96E-07	23493,968258	0,0255314144
15	0,5976	73884,167	0,000279	1,230203	2,688308	997,063	8,96E-07	23336,494576	0,0255743771

(D)

Fonte: Da autora (2021).

Tabela B2 - Registro de pressão ¾”: Propriedades do fluido e do escoamento – Abertura: 25% (A), 50% (B)75% (C) e 100% (D).

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$V_{tubo}$ (m/s)	$V_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,018800	2324,249	0,000035	0,095887	0,164324	997,529	9,36E-07	2213,459872	0,0460721909
2	0,176000	21757,927	0,000109	0,296374	0,507902	998,105	9,95E-07	6436,155480	0,0352900898
3	0,323600	40005,455	0,000151	0,411223	0,704721	997,936	9,76E-07	9101,963862	0,0323541993
4	0,420200	51948,111	0,000178	0,486769	0,834186	997,848	9,67E-07	10876,247605	0,0309459577
5	0,592000	73187,635	0,000237	0,647811	1,110166	997,782	9,60E-07	14576,800876	0,0287610627
6	0,624000	77143,724	0,000235	0,641650	1,099607	997,782	9,60E-07	14438,160978	0,0288298587
7	0,633000	78256,374	0,000236	0,643838	1,103358	997,782	9,60E-07	14487,407317	0,0288053275
8	0,636000	78627,257	0,000237	0,647550	1,109719	997,782	9,60E-07	14570,933636	0,0287639576
9	0,639000	78998,140	0,000240	0,654307	1,121298	997,782	9,60E-07	14722,967585	0,0286894119
10	0,642000	79369,024	0,000237	0,647028	1,108824	997,782	9,60E-07	14559,178853	0,0287697617
11	0,641000	79245,396	0,000240	0,656072	1,124323	997,782	9,60E-07	14762,688961	0,0286700940
12	0,642000	79369,024	0,000242	0,659759	1,130642	997,782	9,60E-07	14845,662280	0,0286299500
13	0,643000	79507,027	0,000338	0,921209	1,578694	995,503	7,96E-07	24990,526878	0,0251341753
14	0,644000	79616,994	0,000242	0,659265	1,129795	997,668	9,49E-07	15008,605833	0,0285521450
15	0,643000	79493,365	0,000242	0,661401	1,133455	997,668	9,49E-07	15057,224023	0,0285290691
16	0,644000	79616,279	0,000241	0,658093	1,127787	997,782	9,60E-07	14808,168794	0,0286480552

(A)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$V_{tubo}$ (m/s)	$V_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,002000	247,298	0,000028	0,076093	0,130402	995,621	8,03E-07	2047,965462	0,0469794991
2	0,030000	3709,201	0,000141	0,383498	0,657207	996,530	8,57E-07	9661,024960	0,0318746256
3	0,049200	6083,063	0,000184	0,503261	0,862448	996,585	8,61E-07	12622,879106	0,0298137800
4	0,070000	8654,803	0,000224	0,610625	1,046440	996,530	8,57E-07	15382,801010	0,0283754029
5	0,100800	12462,754	0,000269	0,733913	1,257720	996,694	8,69E-07	18247,474655	0,0271898801
6	0,118000	14589,272	0,000292	0,796103	1,364297	996,748	8,73E-07	19706,805484	0,0266716285
7	0,250000	30909,344	0,000421	1,148287	1,967841	996,802	8,76E-07	28299,600173	0,0243641217
8	0,270000	33382,092	0,000420	1,146630	1,965002	996,802	8,76E-07	28258,773835	0,0243729168
9	0,280000	34618,465	0,000432	1,179579	2,021467	996,802	8,76E-07	29070,798211	0,0242009044
10	0,286000	35360,290	0,000443	1,209315	2,072427	996,802	8,76E-07	29803,655203	0,0240507405
11	0,290000	35854,839	0,000446	1,217799	2,086965	996,802	8,76E-07	30012,736070	0,0240087438
12	0,290000	35854,839	0,000447	1,219748	2,090305	996,802	8,76E-07	30060,768264	0,0239991475
13	0,290000	35854,839	0,000448	1,221934	2,094052	996,802	8,76E-07	30114,652231	0,0239884049
14	0,290000	35854,839	0,000445	1,214595	2,081475	996,802	8,76E-07	29933,777733	0,0240245605
15	0,290000	35854,839	0,000442	1,205158	2,065303	996,802	8,76E-07	29701,205485	0,0240714535
16	0,290000	35854,839	0,000446	1,216897	2,085420	996,802	8,76E-07	29990,516586	0,0240131895

(B)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$V_{tubo}$ (m/s)	$V_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,006000	741,857	0,000069	0,188663	0,323315	996,248	8,39E-07	4856,748836	0,0378549977
2	0,034000	4203,761	0,000154	0,420972	0,721427	996,530	8,57E-07	10605,071457	0,0313113183
3	0,032000	3956,481	0,000153	0,416865	0,714390	996,530	8,57E-07	10501,615056	0,0313881507
4	0,067200	8308,611	0,000220	0,601406	1,030641	996,530	8,57E-07	15150,547138	0,0286399776
5	0,066000	8160,243	0,000219	0,598359	1,025419	996,530	8,57E-07	15073,784192	0,0286763703
6	0,107600	13303,382	0,000278	0,759906	1,302265	996,802	8,76E-07	18727,921832	0,0270130385
7	0,120200	14861,371	0,000291	0,792856	1,358732	996,667	8,67E-07	19756,324838	0,0266552266
8	0,263000	32513,538	0,000432	1,178700	2,019961	998,000	9,83E-07	25904,226725	0,0249089098
9	0,275000	33997,045	0,000438	1,194025	2,046223	998,000	9,83E-07	26241,016757	0,0248285990
10	0,280000	34615,470	0,000441	1,204299	2,063830	997,892	9,71E-07	26782,067560	0,0247035843
11	0,283000	34986,657	0,000443	1,209232	2,072284	997,782	9,60E-07	27209,696553	0,0246059173
12	0,282000	34863,029	0,000445	1,213498	2,079594	997,782	9,60E-07	27305,670361	0,0245842675
13	0,280000	34615,774	0,000444	1,211847	2,076765	997,782	9,60E-07	27268,528409	0,024592635
14	0,285000	35233,301	0,000445	1,214987	2,082146	998,000	9,83E-07	26701,696682	0,0247208082
15	0,285000	35235,223	0,000448	1,222673	2,095318	997,313	9,17E-07	28811,669107	0,0242551895
16	0,284000	35111,591	0,000446	1,217966	2,087251	997,313	9,17E-07	28700,741862	0,0242785920
17	0,285800	35334,198	0,000444	1,212166	2,077311	997,288	9,15E-07	28629,049370	0,0242946446

(C)

Repetição	$h_{H_2O}$ (m)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$V_{tubo}$ (m/s)	$V_{ent.reg}$ (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	N° de Reynolds	f
1	0,001000	123,643	0,000016	0,043657	0,074815	996,248	8,39E-07	1123,851255	0,0569470379
2	0,044000	5439,394	0,000167	0,456172	0,781751	998,308	1,02E-06	9670,144456	0,0318781687
3	0,056600	6997,083	0,000202	0,551542	0,945188	998,228	1,01E-06	11805,774362	0,0303293964
4	0,084800	10483,365	0,000244	0,664641	1,139008	998,105	9,95E-07	14433,542393	0,0288380681
5	0,109200	13499,827	0,000280	0,762887	1,307373	998,085	9,92E-07	16606,773409	0,0278431196
6	0,126400	15626,278	0,000298	0,813646	1,394361	998,000	9,83E-07	17881,454880	0,0273272963
7	0,245000	30288,277	0,000416	1,136261	1,947233	998,000	9,83E-07	24971,550092	0,0251383057
8	0,260000	32142,661	0,000434	1,185684	2,031929	998,000	9,83E-07	26057,707990	0,0248721498
9	0,264000	32637,163	0,000442	1,205995	2,066737	998,000	9,83E-07	26504,092350	0,0247667571
10	0,273000	33749,794	0,000444	1,210670	2,074748	998,000	9,83E-07	26606,824937	0,0247428154
11	0,275000	33997,045	0,000458	1,250040	2,142218	998,000	9,83E-07	27472,060166	0,0245456519
12	0,274000	33873,420	0,000452	1,232975	2,112972	998,000	9,83E-07	27097,011132	0,0246301486
13	0,277000	34244,296	0,000442	1,205674	2,066186	998,000	9,83E-07	26497,027211	0,0247684079
14	0,278000	34367,922	0,000450	1,227410	2,103436	998,000	9,83E-07	26974,721145	0,0246580164
15	0,278000	34367,922	0,000442	1,207339	2,069039	998,000	9,83E-07	26533,612240	0,0247598657
16	0,278000	34367,922	0,000444	1,210502	2,074461	998,000	9,83E-07	26603,136839	0,0247436729
17	0,276000	34120,671	0,000446	1,216436	2,084629	998,000	9,83E-07	26733,539640	0,0247134435
18	0,281200	34767,656	0,000454	1,239014	2,123322	996,502	8,56E-07	31281,136501	0,0237620999

(D)

Fonte: Da autora (2021).

## ANEXO C – Perda de carga

Tabela C1 - Registro de pressão ½”: Perda de carga – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)	Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	0,035484	0,003156	0,032328	1	0,017727	0,003162	0,014565
2	5,996049	0,183722	5,812326	2	1,707915	0,297038	1,410876
3	8,597769	0,255997	8,341772	3	6,556389	0,511968	6,044420
4	8,926700	0,262011	8,664689	4	7,198874	0,552232	6,646643
5	9,030440	0,264194	8,766246	5	7,286289	0,563435	6,722855
6	8,896337	0,264940	8,631398	6	7,382721	0,577560	6,805160
7	9,179725	0,254891	8,924834	7	7,386652	0,583002	6,803650
8	9,187316	0,253492	8,933823	8	7,396968	0,583579	6,813388
9	9,199967	0,253004	8,946963	9	7,422248	0,588389	6,833859
10	9,217678	0,252270	8,965409	10	7,467752	0,584938	6,882814
11	9,211479	0,249960	8,961520	11	7,442472	0,588236	6,854236
12	9,197157	0,252477	8,944679	12	7,445000	0,589044	6,855956
13	9,204456	0,255350	8,949106	13	7,356519	0,584824	6,771696
14	9,203608	0,255214	8,948394	14	7,323655	0,601509	6,722146
15	9,032876	0,281754	8,751121	15	6,967983	0,684989	6,282994
(A)				(B)			
Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)	Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	1,162886	0,114371	1,048516	1	0,055640	0,004752	0,050888
2	3,829941	0,342118	3,487823	2	3,662455	0,316290	3,346165
3	6,509635	0,519367	5,990268	3	6,593159	0,512469	6,080690
4	7,106246	0,568364	6,537882	4	7,077087	0,569790	6,507297
5	7,283207	0,580572	6,702635	5	7,243325	0,587021	6,656303
6	7,364103	0,589445	6,774658	6	7,333162	0,579493	6,753669
7	7,414664	0,599387	6,815277	7	7,399496	0,580351	6,819144
8	7,455112	0,594506	6,860606	8	7,432360	0,581395	6,850965
9	7,409608	0,600887	6,808721	9	7,450056	0,582588	6,867468
10	7,434888	0,618010	6,816878	10	7,455112	0,583794	6,871318
11	7,442472	0,584915	6,857557	11	7,462696	0,591730	6,870966
12	7,437416	0,604807	6,832609	12	7,452378	0,594216	6,858162
13	7,445414	0,618707	6,826707	13	7,442472	0,588529	6,853943
14	7,468796	0,602182	6,866614	14	7,447528	0,593120	6,854408
15	7,511778	0,582409	6,929369	15	7,553704	0,586180	6,967524
(C)				(D)			

Fonte: Da autora (2021).

Tabela C2 - Registro de pressão ¾”: Perda de carga – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) 100% (D).

Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	0,237513	0,005058	0,232455
2	2,222144	0,037013	2,185131
3	4,086464	0,065329	4,021135
4	5,306843	0,087553	5,219290
5	7,477100	0,144119	7,332981
6	7,881268	0,141729	7,739539
7	7,994940	0,142576	7,852364
8	8,032831	0,144018	7,888813
9	8,070722	0,146658	7,924064
10	8,108612	0,143815	7,964798
11	8,095982	0,147351	7,948631
12	8,108612	0,148803	7,959809
13	8,141306	0,254684	7,886622
14	8,134869	0,148177	7,986692
15	8,122237	0,149018	7,973220
16	8,133873	0,148146	7,985727

(A)

Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	0,025320	0,003248	0,022072
2	0,379421	0,055975	0,323446
3	0,622213	0,090162	0,532051
4	0,885315	0,126332	0,758983
5	1,274627	0,174871	1,099756
6	1,492036	0,201841	1,290195
7	3,160909	0,383595	2,777315
8	3,413782	0,382627	3,031156
9	3,540219	0,402074	3,138144
10	3,616080	0,419980	3,196100
11	3,666655	0,425149	3,241506
12	3,666655	0,426341	3,240314
13	3,666655	0,427679	3,238976
14	3,666655	0,423194	3,243461
15	3,666655	0,417457	3,249198
16	3,666655	0,424599	3,242056

(B)

Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	0,075907	0,016089	0,059819
2	0,430010	0,066256	0,363754
3	0,404715	0,065129	0,339586
4	0,849902	0,123688	0,726214
5	0,834725	0,122594	0,712132
6	1,360455	0,186257	1,174198
7	1,519986	0,200074	1,319912
8	3,320968	0,413221	2,907747
9	3,472495	0,422669	3,049826
10	3,536044	0,427809	3,108235
11	3,574357	0,429616	3,144742
12	3,561727	0,432271	3,129456
13	3,536466	0,431242	3,105224
14	3,598767	0,435739	3,163028
15	3,601444	0,432959	3,168485
16	3,588807	0,430046	3,158761
17	3,611649	0,426241	3,185408

(C)

Repetição	$h_f$ (m)	$h_{f,D}$ (m)	$h_{f,L}$ (m)
1	0,012651	0,001296	0,011355
2	0,555414	0,079209	0,476206
3	0,714526	0,110164	0,604362
4	1,070669	0,152111	0,918558
5	1,378770	0,193490	1,185280
6	1,596085	0,216017	1,380067
7	3,093677	0,387537	2,706140
8	3,283086	0,417515	2,865571
9	3,333595	0,430112	2,903483
10	3,447240	0,433034	3,014206
11	3,472495	0,457977	3,014518
12	3,459867	0,447091	3,012776
13	3,497749	0,429911	3,067838
14	3,510376	0,443566	3,066810
15	3,510376	0,430951	3,079426
16	3,510376	0,432929	3,077448
17	3,485122	0,436649	3,048473
18	3,556543	0,435570	3,120973

(D)

Fonte: Da autora (2021).

**ANEXO D – Coeficiente de perda de carga localizada e comprimento equivalente – 1ª metodologia**

Tabela D1 - Registro de pressão ½”: Coeficiente de perda de carga localizada e Comprimento equivalente ajustados pela velocidade de escoamento na entrada do adaptador conectado ao registro ensaiado – Abertura:25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	24,802753	51,752760	1	12,276519	23,270625
2	57,926085	167,052517	2	19,069552	60,799690
3	58,051993	167,614157	3	19,213456	60,274085
4	56,975180	164,571313	4	18,882996	59,519790
5	61,573822	176,874658	5	18,597343	58,951175
6	62,024775	178,030011	6	18,591366	58,977124
7	62,252980	178,635834	7	18,473136	58,670815
8	62,588897	179,525192	8	18,730968	59,439720
9	63,379860	181,105566	9	18,533720	58,861045
10	62,770963	178,962761	10	18,509299	58,795020
11	61,691171	177,037170	11	18,432671	58,491496
12	61,838306	177,117276	12	17,718871	56,452846
13	54,481738	156,896609	13	14,237711	46,334420
(A)			(B)		
Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	18,425569	46,310661	1	22,620867	54,099334
2	17,520994	51,499026	2	18,173827	53,441981
3	18,674651	58,262957	3	19,072973	59,938470
4	18,386448	58,107347	4	18,326974	57,690757
5	18,397476	58,318986	5	18,152235	57,279550
6	18,275586	58,058276	6	18,611519	58,872431
7	18,037066	57,437616	7	18,725396	59,355257
8	18,327516	58,294393	8	18,774179	59,525167
9	17,968334	57,239171	9	18,775391	59,546434
10	17,421356	55,719949	10	18,741541	59,456653
11	18,663075	59,223939	11	18,453610	58,656238
12	17,897865	57,067678	12	18,342559	58,302017
13	17,400993	55,737415	13	18,522371	58,829191
14	18,016723	57,601669	14	18,359866	58,377819
15	18,888545	60,101641	15	18,915575	60,043739
(C)			(D)		

Fonte: Da autora (2021).

Tabela D2 - Registro de pressão  $\frac{3}{4}$ '': Coeficiente de perda de carga e Comprimento equivalente ajustados pela velocidade de escoamento na entrada do adaptador conectado ao registro ensaiado – Abertura:25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	k	Leq (m)	Repetição	k	Leq (m)
1	168,903159	232,558323	1	25,466445	34,386892
2	166,194192	298,741843	2	14,692524	29,240467
3	158,859420	311,469335	3	14,034151	29,860844
4	147,158401	301,657490	4	13,598852	30,401373
5	116,735731	257,473096	5	13,640403	31,823863
6	125,585359	276,330915	6	13,599916	32,345931
7	126,551344	278,693555	7	14,071624	36,637551
8	125,685329	277,184490	8	15,402148	40,087296
9	123,653078	273,411178	9	15,067412	39,494811
10	127,100913	280,249848	10	14,600276	38,509296
11	123,369864	272,968761	11	14,602099	38,581474
12	122,166231	270,684610	12	14,550122	38,459515
13	62,086096	156,697725	13	14,492112	38,323335
14	122,762788	272,747627	14	14,688089	38,783128
15	121,765537	270,750812	15	14,945407	39,385685
16	123,185447	272,770397	16	14,626228	38,638073
(A)			(B)		
Repetição	k	Leq (m)	Repetição	k	Leq (m)
1	11,227522	18,814542	1	39,803132	44,338305
2	13,712642	27,781312	2	15,288213	30,422601
3	13,055047	26,384307	3	13,272721	27,760622
4	13,413710	29,710449	4	13,891598	30,557585
5	13,287911	29,394462	5	13,605697	30,998158
6	13,584443	31,900786	6	13,926721	32,328473
7	14,027378	33,383134	7	14,002756	35,335439
8	13,982009	35,608021	8	13,617363	34,730629
9	14,291179	36,513109	9	13,336679	34,159502
10	14,317426	36,765286	10	13,738559	35,222895
11	14,367634	37,040656	11	12,888124	33,307965
12	14,197466	36,634187	12	13,239707	34,099210
13	14,125935	36,437212	13	14,099133	36,109983
14	14,314612	36,732450	14	13,599635	34,986629
15	14,159593	37,032162	15	14,113388	36,158964
16	14,225466	37,168582	16	14,030698	35,970635
17	14,483081	37,816680	17	13,763335	35,328353
			18	13,581803	36,258147
(C)			(D)		

Fonte: Da autora (2021).

Tabela D3- Registro de pressão ½”: Coeficiente de perda de carga e comprimento equivalente ajustados pela velocidade de escoamento ao longo da tubulação – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	118,441585	51,752760	1	58,624556	23,270625
2	276,616766	167,052517	2	91,063601	60,799690
3	277,218020	167,614157	3	91,750788	60,274085
4	272,075874	164,571313	4	90,172732	59,519790
5	294,035952	176,874658	5	88,808643	58,951175
6	296,189407	178,030011	6	88,780097	58,977124
7	297,279165	178,635834	7	88,215512	58,670815
8	298,883283	179,525192	8	89,446745	59,439720
9	302,660397	181,105566	9	88,504819	58,861045
10	299,752706	178,962761	10	88,388201	58,795020
11	294,596333	177,037170	11	88,022276	58,491496
12	295,298953	177,117276	12	84,613637	56,452846
13	260,168839	156,896609	13	67,989914	46,334420
(A)			(B)		
Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	87,988364	46,310661	1	108,022337	54,099334
2	83,668709	51,499026	2	86,786210	53,441981
3	89,177812	58,262957	3	91,079934	59,938470
4	87,801544	58,107347	4	87,517537	57,690757
5	87,854206	58,318986	5	86,683100	57,279550
6	87,272143	58,058276	6	88,876338	58,872431
7	86,133128	57,437616	7	89,420139	59,355257
8	87,520126	58,294393	8	89,653095	59,525167
9	85,804908	57,239171	9	89,658880	59,546434
10	83,192902	55,719949	10	89,497238	59,456653
11	89,122533	59,223939	11	88,122268	58,656238
12	85,468395	57,067678	12	87,591962	58,302017
13	83,095663	55,737415	13	88,450623	58,829191
14	86,035983	57,601669	14	87,674606	58,377819
15	90,199231	60,101641	15	90,328307	60,043739
(C)			(D)		

Fonte: Da autora (2021).

Tabela D4 - Registro de pressão ¾": Coeficiente de perda de carga e comprimento equivalente ajustados pela velocidade de escoamento ao longo da tubulação – Abertura: 25% (A), 50% (B), 75% (C) e 100% (D).

Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	496,040344	232,558323	1	74,790693	34,386892
2	488,084559	298,741843	2	43,149488	29,240467
3	466,543562	311,469335	3	41,215955	29,860844
4	432,179626	301,657490	4	39,937557	30,401373
5	342,833327	257,473096	5	40,059584	31,823863
6	368,823206	276,330915	6	39,940679	32,345931
7	371,660144	278,693555	7	41,326007	36,637551
8	369,116802	277,184490	8	45,233534	40,087296
9	363,148421	273,411178	9	44,250470	39,494811
10	373,274136	280,249848	10	42,878569	38,509296
11	362,316668	272,968761	11	42,883922	38,581474
12	358,781799	270,684610	12	42,731277	38,459515
13	182,336486	156,697725	13	42,560911	38,323335
14	360,533786	272,747627	14	43,136463	38,783128
15	357,605028	270,750812	15	43,892162	39,385685
16	361,775065	272,770397	16	42,954786	38,638073
(A)			(B)		
Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)	Repetição	k	L <sub>eq</sub> (m)
1	32,973355	18,814542	1	116,895146	44,338305
2	40,271736	27,781312	2	44,898926	30,422601
3	38,340491	26,384307	3	38,979764	27,760622
4	39,393823	29,710449	4	40,797302	30,557585
5	39,024373	29,394462	5	39,957658	30,998158
6	39,895239	31,900786	6	40,900452	32,328473
7	41,196064	33,383134	7	41,123753	35,335439
8	41,062823	35,608021	8	39,991918	34,730629
9	41,970803	36,513109	9	39,167597	34,159502
10	42,047886	36,765286	10	40,347852	35,222895
11	42,195339	37,040656	11	37,850265	33,307965
12	41,695586	36,634187	12	38,882805	34,099210
13	41,485511	36,437212	13	41,406796	36,109983
14	42,039623	36,732450	14	39,939855	34,986629
15	41,584357	37,032162	15	41,448661	36,158964
16	41,777816	37,168582	16	41,205816	35,970635
17	42,534389	37,816680	17	40,420614	35,328353
			18	39,887486	36,258147
(C)			(D)		

Fonte: Da autora (2021).