

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RENAN MEIRA TELES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS DE  
DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS**

**APUCARANA**

**2021**

**RENAN MEIRA TELES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS DE  
DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS**

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN METHODOLOGIES OF  
DIMENSIONING OF PIPELINES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Sartori Jabur

**APUCARANA**

**2021**



[4.0 Internacional](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**RENAN MEIRA TELES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE METODOLOGIAS DE  
DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação apresentado como requisito para obtenção  
do título de Bacharel em engenharia civil da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 8 de dezembro de 2021

---

Andrea Sartori Jabur  
Professora Dra em Engenharia Florestal  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana

---

Adriana Macedo Patriota Faganello  
Professora Dra em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana

---

Priscila Pini Pereira  
Professora Mestre em Engenharia Urbana  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana

**APUCARANA**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Geraldo e Lindercina, por todo apoio dado ao longo de toda minha vida e graduação, pela educação, incentivo e principalmente pelo exemplo que sempre me deram.

À alguns outros familiares e aos meus amigos que ao longo de toda a jornada que tive em Apucarana foram meus familiares.

À meus professores por todas as lições ensinadas ao longo deste período.

À minha orientadora e amiga, Andrea Sartori Jabur, pela paciência, dedicação, compreensão, ajuda e conselhos que me destes não só durante essa pesquisa, mas ao longo de toda a graduação.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por toda a estrutura e suporte a mim fornecidos.

À todos os professores das diversas universidades por destinarem atenção e tempo para responder a pesquisa que lhes foi enviada, em especial ao professor Dr. Podalyro Amaral de Sousa, que foi extremamente solícito respondendo meu questionário e ainda ligando por telefone para fornecer informações de grande valia.

Por fim agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para minha formação profissional e humana durante minha graduação. Deixo aqui meu muito obrigado.

## RESUMO

O método utilizado no dimensionamento de um conduto forçado tem relação direta com os resultados que serão obtidos, visto que cada modelo matemático leva em consideração diferentes fatores, pois são propostos a partir de diferentes análises. Sendo assim, o presente trabalho pretende entender como a aplicação das equações de Darcy – Weisbach e Hazen – Williams influencia na obtenção das perdas de carga em um conduto forçado, bem como avaliar as principais diferenças entre a equação de Bresse e a equação da continuidade com uma velocidade máxima fixada. Para ambas as análises foi estudada uma adutora do município do Estado do Paraná, a qual foi visitada e consultada as pranchas de seu projeto executivo. Os resultados obtidos apresentaram como os diferentes métodos levam a valores distintos, mostraram também como os modelos diferentes levam a diferentes dificuldades na elaboração e solução do problema. Os resultados deste levantamento mostraram como profissionais de diferentes áreas solucionam um mesmo problema de maneira distinta por terem prioridades diferentes.

**Palavra-chave:** diâmetro econômico de adutora, perda de carga, dimensionamento de adutora.

## **ABSTRACT**

The method used in the design of a penstock is directly related to the results that will be obtained, considering that each mathematical model takes into account different factors, as they are proposed from different analyses. Therefore, the present thesis intends to understand how the application of the Darcy – Weisbach and Hazen – Williams equations influences in the obtainment of head loss in a penstock, as well as to evaluate the main differences between the Bresse equation and the continuity equation with a fixed maximum speed. For both analyses, a water main in the municipality of Paraná State City in northern Paraná was studied, which was visited and consulted the planks of your executive project. The results obtained showed how the different methods lead to different values, and also showed how the different models lead to different difficulties in the elaboration and solution of the problem. Another analysis made was an opinion poll that sought to understand which mathematical methods teachers and engineers who work with sizing of water mains prefer to use to calculate the head loss and diameter of a pipeline, as well as the reason for this choice. The results of this survey showed how professionals from different areas solve the same problem differently because they have different priorities.

**Keyword:** economic diameter of pipeline, head loss, pipeline sizing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração representando a condução de águas nos aquedutos romanos	14
Figura 2 - Sistema de Bombeamento de Água Tratada do rio Guandu – subsistema Lameirão.....	15
Figura 3 – Amostra de água da cidade de Flint.....	17
Figura 4 – Ilustração das linhas de carga e piezométrica .....	22
Figura 5 – Adutora de aço carbono .....	34
Figura 6 – Adutora Pajeú (de ferro fundido dúctil).....	34
Figura 7 – Tubo de PVC PBA.....	35
Figura 8 – Tubo de PVC DEFoFo .....	35
Figura 9 – Tubo de PEAD .....	36
Figura 10 – Adutora de concreto .....	37
Figura 11 – Junta elástica tipo luva .....	38
Figura 12 – Junta de montagem.....	38
Figura 13 – Junta de dilatação deslizante .....	39
Figura 14 – Válvula de gaveta.....	40
Figura 15 – Válvula de pé com crivo .....	40
Figura 16 – Colapso em trecho de adutora por pressão inferior à atmosférica .....	41
Figura 17 – Ventosa .....	42
Figura 18 – Placa de Orifício.....	42
Figura 19 – Bomba Afogada.....	45
Figura 20 – Bomba não-afogada.....	45
Figura 21 – Bomba submersa .....	45
Figura 22 – Ponto de operação da bomba .....	48
Figura 23 – Curvas de nível .....	55
Figura 24 – Fluxograma das etapas de cálculo de uma adutora.....	57
Figura 25 – Interfaces iniciais do Software SisCCoH .....	58
Figura 26 – Entrada de dados .....	59
Figura 27 – Escolha do método de cálculo .....	59
Figura 28 – Interface de entrada do software SisCCoH .....	64
Figura 29 – Interface do coeficiente C do software SisCCoH .....	64
Figura 30 – Interface da equação de Hazen-Williams do software SisCCoH.....	65

Figura 31 – Interface de resultados da equação de Hazen-Williams no software SisCCoH .....	66
Figura 32 – Relatório final do cálculo com a equação de Hazen-Williams no trecho de ferro fundido no software SisCCoH.....	67
Figura 33 – Relatório final do cálculo com a equação de Hazen-Williams no trecho de PVC no software SisCCoH.....	68
Figura 34 – Interface de aspereza relativa no software SisCCoH .....	69
Figura 35 – Interface de aspereza relativa no software SisCCoH .....	69
Figura 36 – Temperaturas máximas e mínimas médias em Cidade do Estado do Paraná.....	70
Figura 37 – Interface de resultados da equação universal no software SisCCoH.....	70
Figura 38 – Relatório final do cálculo com a equação universal no trecho de ferro fundido no software SisCCoH .....	71
Figura 39 – Relatório final do cálculo com a equação universal no trecho de PVC no software SisCCoH.....	72



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Situações de traçados de Adutoras, onde o reservatório superior abastece o inferior.....	23
Quadro 2: Coeficiente de perda de carga C da equação de Hazen - Williams .....	28
Quadro 3 - Valores aproximados do coeficiente de perda de carga localizada K .....	29
Quadro 4 – Valores usuais do coeficiente de Bresse .....	51
Quadro 5 - Pré-dimensionamento – Sistema de Abastecimento de água.....	52
Quadro 6 – Diâmetro obtido com a equação de Bresse para tubulação de ferro fundido .....	61
Quadro 7 – Diâmetro obtido com a equação de Bresse para tubulação de PVC .....	62
Quadro 8 – Diâmetro obtido com a equação da continuidade para tubulação de ferro fundido .....	62
Quadro 9 – Diâmetro obtido com a equação da continuidade para tubulação de PVC .....	63
Quadro 10 – Perda de carga localizada pelo coeficiente K no trecho de ferro fundido .....	73
Quadro 11 – Perda de carga localizada pelo coeficiente K no trecho de PVC.....	74
Quadro 12 – Parâmetros utilizados no cálculo das perdas de carga localizadas por comprimento equivalente no trecho de ferro fundido .....	74
Quadro 13 – Parâmetros utilizados no cálculo das perdas de carga localizadas por comprimento equivalente no trecho de PVC .....	75
Quadro 14 – Perda de carga localizada pelos comprimentos equivalentes no trecho de ferro fundido .....	75
Quadro 15 – Perda de carga localizada pelos comprimentos equivalentes no trecho de PVC.....	75
Quadro 16 – Resultados do transitório hidráulico.....	77

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Classificação das manobras de abertura ou fechamento quanto ao golpe de aríete .....	32
---	----

## SUMÁRIO

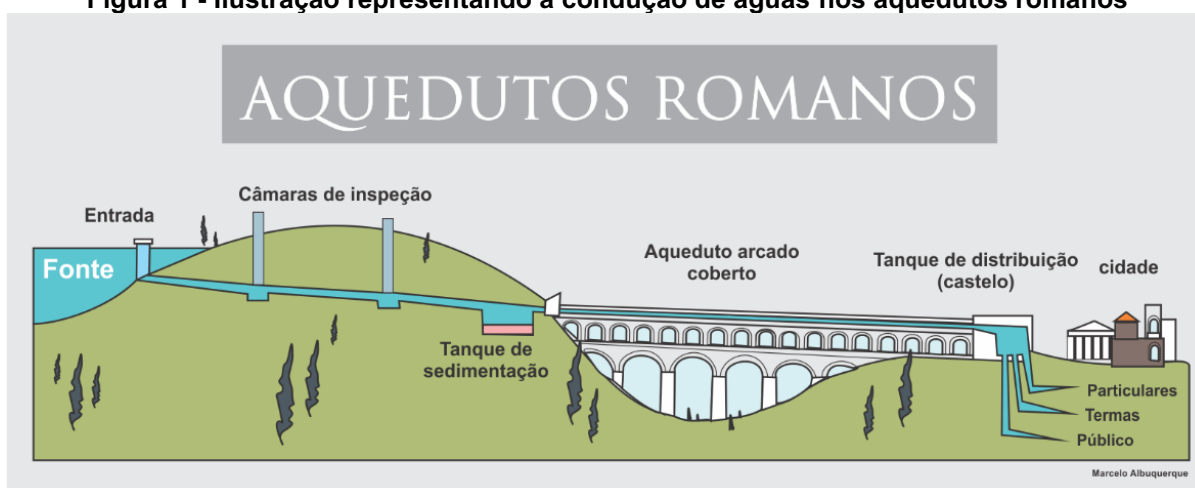
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Objetivo geral .....	18
1.2 Objetivo específico .....	18
1.3 Justificativa .....	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 Perda de carga .....	20
2.1.1 Linhas de Carga e Piezométrica .....	22
2.2 Equações para determinação das perdas de carga .....	26
2.2.1 Perda de carga ao longo do conduto .....	26
2.2.2 Perda de Carga por Peças .....	28
2.3 Transiente hidráulico .....	31
2.4 Materiais .....	33
2.4.1 Metálicos .....	33
2.4.2 Plásticos .....	35
2.4.3 Componentes Inorgânicos .....	37
2.5 Peças mais utilizadas .....	37
2.6 Máquinas hidráulicas .....	43
2.6.1 Posições da Bomba .....	44
2.6.2 Altura Manométrica .....	46
2.6.3 Potência .....	46
2.6.4 NPSH: Energia Disponível no Líquido na Entrada da Bomba .....	47
2.6.5 Curvas Características .....	48
2.7 Cálculo do diâmetro .....	49
2.7.1 Diâmetro econômico .....	49
2.7.2 Velocidade Máxima Admitida .....	51
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>53</b>
3.1 Dados para dimensionamento de uma Adutora .....	53
3.2 Softwares .....	58
3.2.1 Perdas de carga .....	58
3.2.2 Curvas de nível .....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>61</b>
4.1 Dimensionamento da adutora .....	61
4.1.1 Cálculo do diâmetro dos condutos .....	61
4.1.2 Perda de carga ao longo da canalização .....	63
4.1.3 Perda de carga por peças .....	73
4.1.4 Dimensionamento do conjunto motobomba .....	76
4.1.5 Cálculo do transiente hidráulico .....	76
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é sem dúvida um dos bens mais preciosos da humanidade, pois sem ela a vida não existiria. Uma prova disso é que algumas das primeiras leis escritas da humanidade surgiram justamente para regulamentar o uso e distribuição da água, em meados do ano 4000 a.C., como descreve Liebmann (1979). Por isso, este mesmo autor descreve que as primeiras civilizações se instalaram nas margens de rios, lagos ou em regiões costeiras para obtenção de água no local. No entanto, com o passar dos anos a população mundial cresceu, e com isso surgiu a necessidade de construir cidades nos interiores dos países.

Dessa forma, um dos principais desafios da engenharia passou a ser o fornecimento de água para abastecer essas localidades, principalmente as mais afastadas dos cursos d'água. O maior exemplo disso são os aquedutos construídos pelo império romano para abastecer a Cidade Estado Roma e as principais cidades do império, como descreve Liebmann (1979) e Baptista e Coelho (2002). Porém esse sistema tinha como limitação a dependência de água existente em locais mais altos, pois o mesmo só funcionava por gravidade, como mostrado na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Ilustração representando a condução de águas nos aquedutos romanos



Fonte: Albuquerque (2017).

O conceito de hidráulica, deriva do grego, onde representa a junção das palavras "*Hydros*" e "*Aulos*", que significam respectivamente água e condução, definem o conjunto de técnicas relacionadas ao transporte de água ( BAPTISTA; COELHO, 2002).

O maior sistema de abastecimento do mundo é a estação de tratamento de água do rio Guandu, localizada no Rio de Janeiro, que foi registrada no Guinness Book (o livro dos recordes) como a maior ETA do mundo em produção contínua, pois de acordo com a CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro) abastece oito municípios com uma população somada de 9 milhões de habitantes, com uma vazão de 43 mil litros por segundo desde agosto de 1955. A ETA tem desde o começo de seu trajeto até o reservatório dos macacos, uma adutora com 35 km de extensão e uma seção transversal de 3,50m. No entanto essa gigantesca estrutura hidráulica foi construída com pouco auxílio tecnológico, pois a inauguração de sua primeira etapa data de agosto de 1955. Ao longo desses 65 anos de existência a estação passou por diversas reformas, tanto para melhorias técnicas quanto para ampliação de sua capacidade hidráulica.

**Figura 2 - Sistema de Bombeamento de Água Tratada do rio Guandu – subsistema Lameirão.**



Fonte: CEDAE (2020).

Entretanto, a dinâmica populacional mudou ao longo do tempo, e dessa forma a engenharia teve que desenvolver alternativas mais eficientes, mais rápidas e menos onerosas para transportar mais água em menos tempo, para um mesmo local e sem depender da gravidade. E assim desenvolveu-se os sistemas de adutoras, que “bombeiam” água por um conduto forçado entre as unidades de um sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição, de acordo com o Ministério da Saúde, (1999).

É chamado de adutora toda tubulação que tem como função conduzir água entre duas unidades dentro de um sistema de abastecimento sempre antecedendo a

rede de distribuição, ou seja, trata-se de um conduto sem ramificações que transporta água de uma unidade para outra como explicam Baptista e Coelho (2002).

Para projetar e construir uma adutora é necessário conhecer a população da região que será abastecida, em seguida é necessário saber o consumo desta população e procurar o manancial mais próximo que seja capaz de atender essa demanda, bem como escolher o melhor ponto do curso d'água para a captação. No entanto o consumo de água em uma cidade não é constante durante o dia e oscila durante a semana ou conforme a estação do ano, e a adutora deve atender aos picos de demanda de água, como citado por Azevedo Netto (2015).

Para isso devem ser levados em conta os valores máximos de consumo. A população abastecida é um valor que se altera com o tempo sendo assim é necessário fazer uma estimativa de crescimento do município de acordo com sua população inicial para o dimensionamento do sistema de captação da água. Outro fator importante a ser considerado é o regime de vazões do rio escolhido para o abastecimento, tanto em períodos de cheia, como de estiagem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005).

Pois além da qualidade da água, proveniente dos rios, é necessário que esse manancial, apresente características de vazões superiores a necessária ao abastecimento, para a liberação de outorga do uso. Deste modo, a vazão ecológica e o abastecimento da cidade são mantidos durante o ano, como mostra Brito Silva (2016).

Para exemplificar como é importante escolher corretamente o curso d'água e o ponto de captação tem-se o caso de Flint, um município com cerca de 117 mil habitantes, localizado em Michigan nos Estados Unidos. De acordo com Kimball (2014), a administração pública de Flint resolveu trocar o local de captação de água do município, deixando de captar água do rio Detroit e passando a captar dos grandes lagos (maior depósito de água doce do mundo), com o intuito de economizar aproximadamente 20 milhões de dólares no período de oito anos. Porém a impaciência no processo de troca da fonte de abastecimento da cidade fez com que as autoridades locais optassem por não esperar o período de quase três anos que levaria para a obra ficar pronta e resolveram captar água do rio Flint nesse período. No entanto este rio não tinha água própria para consumo, pois esta continha altas

concentrações de chumbo, substância imprópria para o consumo humano, pois pode provocar sérios problemas de saúde.

De acordo com a revista *Veja* (2019), o problema só foi resolvido no dia 21 de janeiro de 2016 quando o então presidente dos EUA Barack Obama aprovou uma ajuda federal de 80 milhões de dólares para reformar o sistema de captação de água de Flint. Estima-se que toda a população da época de 100 mil pessoas consumiu a água contaminada por chumbo e que 12 delas morreram por terem ingerido o metal.

**Figura 3 – Amostra de água da cidade de Flint.**



**Fonte: Kimball (2016).**

Sendo assim o presente estudo mostra as etapas do dimensionamento de uma adutora e comparar dois métodos de cálculo para as perdas de carga e para o diâmetro de um conduto forçado.

Este trabalho está dividido em capítulos, conforme descrito: o capítulo 2, Fundamentação Teórica, apresentou conceitos fundamentais para compreensão desta pesquisa referentes aos cálculos de perdas de carga unitária e localizada, bem como os principais materiais e peças utilizados na construção de uma adutora, e o dimensionamento do conjunto motobomba para a mesma.

No capítulo 3, Metodologia, foram obtidos os dados iniciais de uma adutora para a sequência de dimensionamento, também apresenta os softwares que serão usados para os cálculos. Em seguida será descrito como o processo de dimensionamento procedeu após a utilização destes programas.

O capítulo 4, Resultados e discussões, apresentará os resultados obtidos nos cálculos do capítulo anterior, bem como a comparação entre os resultados obtidos pelos dois modelos matemáticos.

A seguir o capítulo 5, Conclusões, mostrará as conclusões tiradas pelo autor a partir dos resultados obtidos no capítulo anterior.

Em seguida as Referências Bibliográficas, exibe os materiais consultados para a realização deste trabalho.

### **1.1 Objetivo geral**

Comparar metodologias de dimensionamento de adutoras, no cálculo do diâmetro e das perdas de carga, e avaliar os resultados obtidos por estes métodos.

### **1.2 Objetivo específico**

- Comparar as metodologias de dimensionamento de adutoras com o uso das equações Darcy - Weisbach e Hazen - Williams;
- Avaliar as principais dificuldades de cálculos com o uso dos dois Métodos Darcy - Weisbach e Hazen - Williams;
- Analisar os principais fatores que influenciam a perda de carga em uma adutora.
- Comparar as metodologias de cálculo do diâmetro de um conduto forçado com a utilização da equação da continuidade e a equação de Bresse;
- Avaliar as principais dificuldades de cálculos no uso destas duas equações para a escolha do diâmetro;
- Analisar os principais fatores que influenciam na escolha do diâmetro de uma adutora;

### **1.3 Justificativa**

As adutoras são consideradas, segundo Mariano (2014) como sendo as principais componentes de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), devido ao seu elevado custo e importância. A sua função consiste em transportar água desde as captações (águas superficiais e subterrâneas) até aos reservatórios de distribuição.



Conforme Mariano (2014) devido a crescente dimensão e complexidade dos sistemas de adução, e considerando o crescimento populacional, nos últimos anos, a comunidade científica tem estudado estes sistemas, particularmente os sistemas por bombeamento, tendo em vista a sua otimização, quer seja no seu dimensionamento, operação e manutenção.

Sendo assim além de se tratar de uma área pouco divulgada pela comunidade acadêmica, a maior parte dos estudos que se tem sobre este tema não foram publicados, por se tratar de documentos de domínio privado. Desta forma nota-se a necessidade de se estudar e avaliar as metodologias de dimensionamento, para conhecer o funcionamento de uma adutora e otimizar os sistemas de abastecimento de água.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA**

Para se projetar um sistema de abastecimento de água é necessário levar em conta vários fatores: densidade e crescimento populacional, viabilidade econômica, vazão e qualidade do rio, material da tubulação entre outros. Ao longo dos anos foram desenvolvidos alguns modelos matemáticos para o dimensionamento das adutoras, como também a escolha do diâmetro econômico das tubulações.

Sendo assim, esse referencial teórico apresenta as etapas de dimensionamento de uma adutora, como as equações mais utilizadas para o estudo da perda de carga, a determinação da altura manométrica e a potência do conjunto motobomba.

Para entender como funciona uma adutora é necessário saber como a água é conduzida pelas tubulações, para isso é preciso definir o que é um conduto, e quais tipos de condutos existem. Conduto é qualquer estrutura sólida, destinada ao transporte de fluidos (BRUNETTI, 2008, p. 163).

Azevedo Netto (2015) denomina de conduto forçado aquele onde líquido escoar com pressão diferente da pressão atmosférica, onde a tubulação estará sempre com toda a seção transversal preenchida pelo fluido. O conduto livre é definido por este mesmo autor como aquele que tem em todos os pontos de sua superfície uma pressão igual a pressão atmosférica, tendo seu escoamento realizado por gravidade.

### **2.1 Perda de carga**

Independentemente de qual seja o tipo de conduto, em ambos os escoamentos existe a perda de carga, que representa a energia perdida por unidade de peso do fluido durante o escoamento, como descreve Brunetti (2008). A perda de carga ainda se divide em dois tipos, sendo eles a perda de carga distribuída e a perda de carga local. A perda de carga distribuída ocorre em tubos retos e com seção constante por causa do atrito entre as partículas do fluido. A perda de carga local ocorre em regiões do percurso do fluido onde este sofre agitações elevadas, como por exemplo em válvulas, cotovelos, entre outros.

De acordo com Baptista e Coelho (2002) a maneira teórica em que é estudado o escoamento de fluidos não considera vários problemas relacionados com a viscosidade deles. A perda de carga é o principal problema hidráulico que merece atenção, e muitas dificuldades analíticas levaram alguns pesquisadores a buscarem soluções nas investigações experimentais.

Desta forma antes de entender a perda de carga é necessário analisar o teorema de Bernoulli, o qual basicamente traduz para fluidos o princípio de conservação de energia, pois de acordo com Brunetti (2008) e Gomes e Carvalho (2012), o teorema de Bernoulli descreve para um fluido perfeito (em que não há atrito entre o líquido e a parede do tubo) que a soma das energias de fluido em escoamento permanente será sempre constante, de modo que se houver um acréscimo em uma das formas de energia, haverá um decréscimo em outra, como descreve a equação 1.

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{constante} \quad (1)$$

Onde: o termo  $\frac{v^2}{2 \cdot g}$  representa a energia cinética, ou carga de velocidade;

O termo  $\frac{p}{\gamma}$  representa a energia piezométrica, ou carga de pressão;

E o termo  $Z$  representa a energia potencial ou carga de posição.

No entanto, Gomes e Carvalho (2012) afirmam que em 1875 o pesquisador Froude descobriu que este teorema de Bernoulli também poderia ser utilizado para fluidos não perfeitos, desde que fosse feita uma correção acrescentando mais um termo na equação, considerando a energia dissipada no escoamento, ou seja, incluindo a perda de carga na equação 1.

Desta forma, a energia que o líquido possui em um determinado ponto do escoamento subtraída da energia que este possui em um ponto seguinte do mesmo escoamento é igual variação de energia do escoamento neste trecho. No entanto o fluido não possui um único tipo de energia, e sim três, sendo elas as energias cinética, piezométrica e geométrica, estas energias também são denominadas como carga, e pelo fato de a variação de energia ser sempre negativa devido à perda de energia que se dissipa durante o escoamento dá-se o nome a essa variação de perda de carga. A equação 2 representa este teorema:

$$\left( \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 \right) - \left( \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 \right) = \Delta h \quad (2)$$

Na carga de velocidade “ $v$ ” é a velocidade do fluido no ponto de análise do escoamento, e “ $g$ ” é aceleração da gravidade. Na carga de pressão “ $p$ ” é a pressão do fluido neste ponto e “ $\gamma$ ” é o peso específico do fluido.

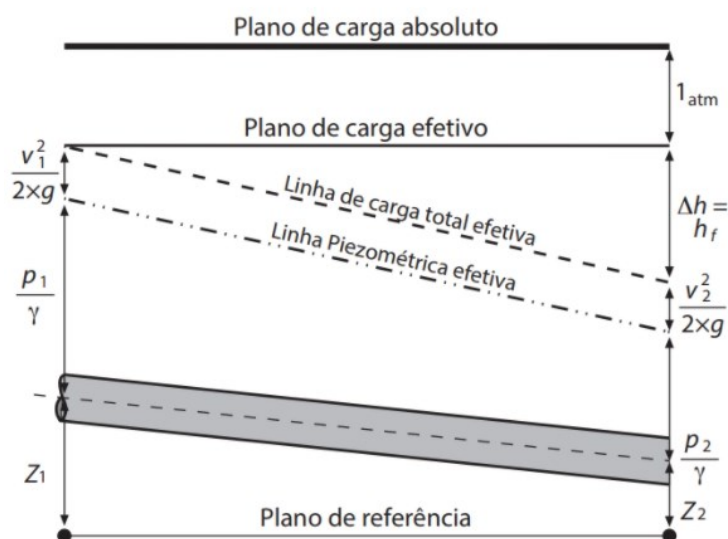
E na carga de posição “ $z$ ” é altura do líquido em um ponto com relação a um plano de referência (este plano deve ser o mesmo para  $Z_1$  e  $Z_2$ ). Desta forma Azevedo Netto (2015, p. 67) descreve o enunciado generalizado do teorema de Bernoulli como:

Para um escoamento contínuo e permanente, a carga total de energia em qualquer ponto de uma linha de corrente é igual à carga total em qualquer ponto a jusante da mesma linha de corrente, mais a perda de carga entre os dois pontos.

### 2.1.1 Linhas de Carga e Piezométrica

Azevedo Netto (2015), descreve a linha de carga como o lugar geométrico dos pontos representativos das três cargas: posição, velocidade e pressão. E segue dizendo que a linha piezométrica ou também chamada de linha das pressões representa às alturas que o fluido sobe em um piezômetro instalado ao longo do conduto. Desta forma a distância entre estas linhas corresponde à carga de velocidade do conduto, e de acordo com Baptista e Coelho (2002), a inclinação da linha piezométrica efetiva representa perda de carga no trecho do conduto, como representado abaixo.

**Figura 4 – Ilustração das linhas de carga e piezométrica**



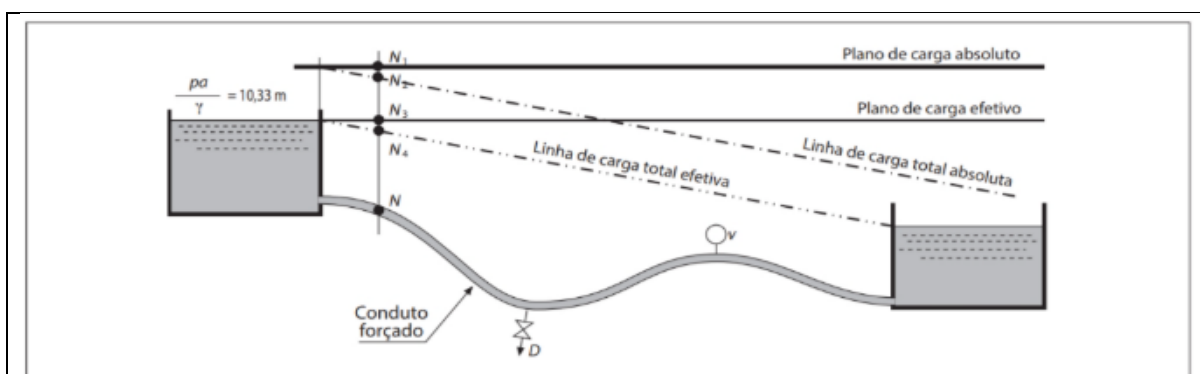
Fonte: Azevedo Netto (2015).

Segundo Azevedo Netto (2015), no escoamento de fluido em tubos, são considerados os planos de carga absoluto e efetivo que representam a pressão atmosférica e o nível de montante respectivamente. Desta forma são consideradas duas linhas, sendo elas a linha de carga total absoluta e a linha de carga efetiva. O autor ainda segue demonstrando sete posições relativas entre as tubulações e as linhas, onde o escoamento se dará sempre do reservatório mais alto para mais baixo, como mostra no Quadro 1.

De acordo com Baptista e Coelho (2002), é necessário analisar a posição onde será instalada a adutora em relação as linhas de carga total absoluta e efetiva, bem como quanto aos planos de carga absoluto e efetivo, para que seja possível visualizar a necessidade de bombeamento da água em seu percurso, desta forma o posicionamento relativo entre as linhas de carga, os planos de carga e traçado das tubulações tem a função de determinar se será possível o uso de conduto livre ou não.

**Quadro 1 - Situações de traçados de Adutoras, onde o reservatório superior abastece o inferior.**

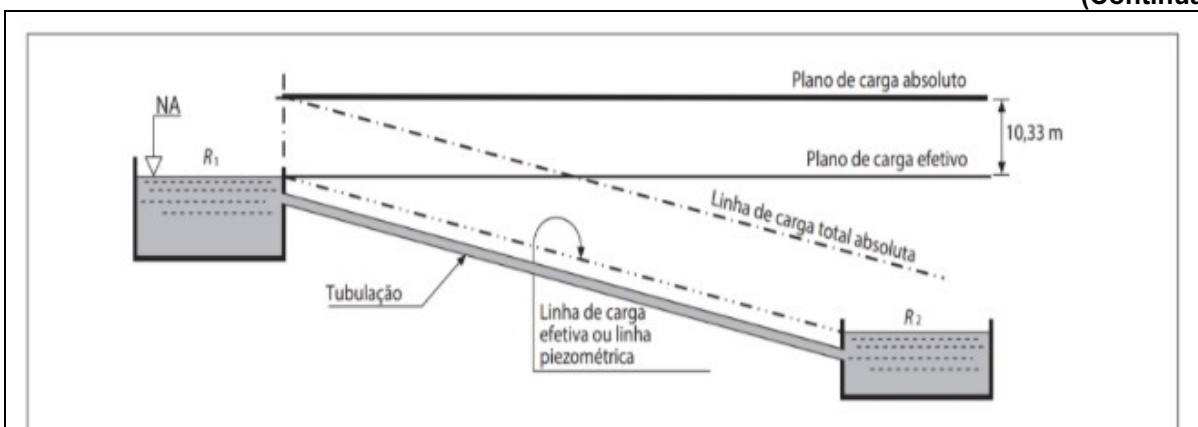
(Continua)



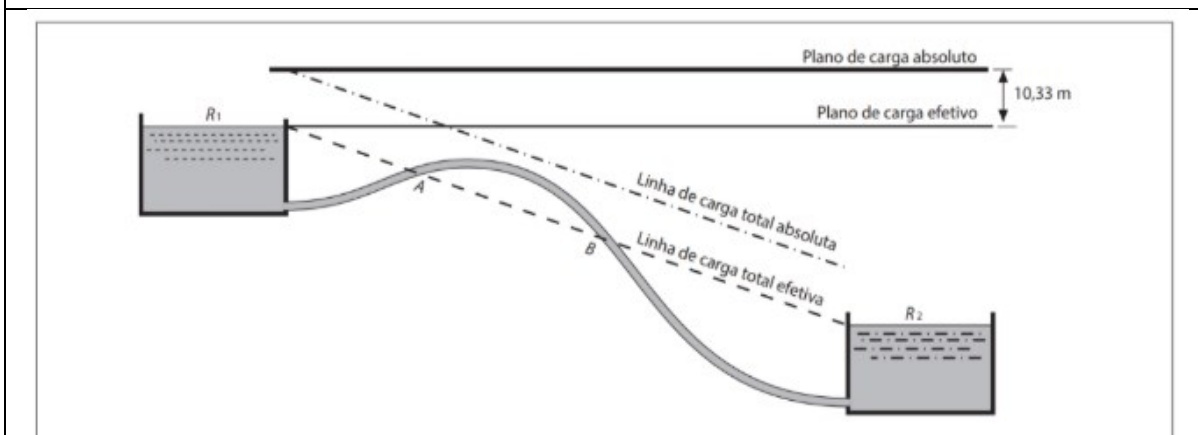
Melhor posição de traçado da adutora, pois o sistema irá funcionar como gravidade. A Tubulação não “corta” a linhas de carga e nem a Linhas de plano absoluto. Exemplo: Adutora de Paranaguá (NASCIMENTO, 2020).

**Quadro 1 - Situações de traçados de Adutoras, onde o reservatório superior abastece o inferior.**

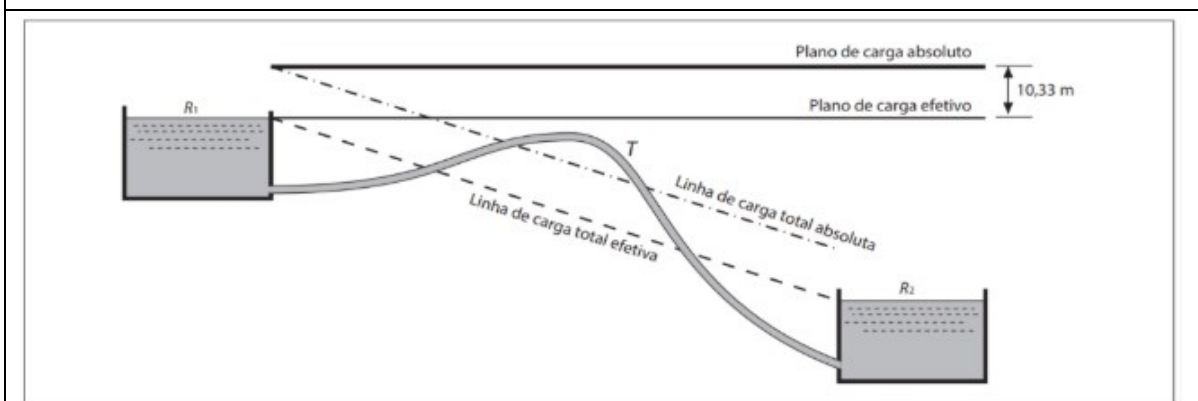
(Continua)



Segunda posição, onde ainda a tubulação não ultrapassa as linhas, porém a geratriz superior da tubulação coincide com a linha piezométrica, como ilustra a figura ao lado. Irá funcionar o sistema como canal livre. Este sistema foi utilizado nos aquedutos romanos (LIEBMANN, 1979).

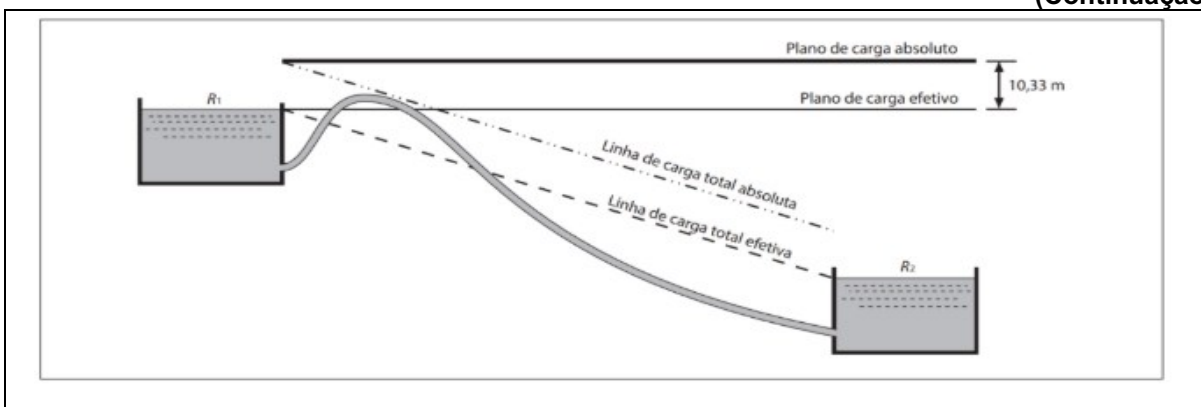


Nesta terceira situação, o modelo ultrapassou a linha piezométrica em dois pontos, A e B. Irá funcionar como um sifão invertido, porém no ponto mais alto da tubulação, poderá ocorrer a formação de bolsão de ar.

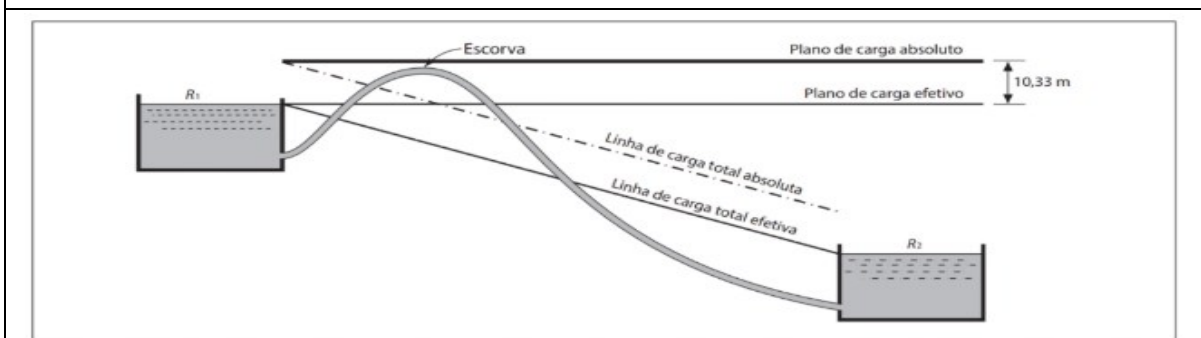


Nesta quarta situação, o modelo ultrapassou a linha piezométrica e a linha de carga. Nestes casos, o sistema de sifão invertido ocorre problemas de formação de bolsão de ar.

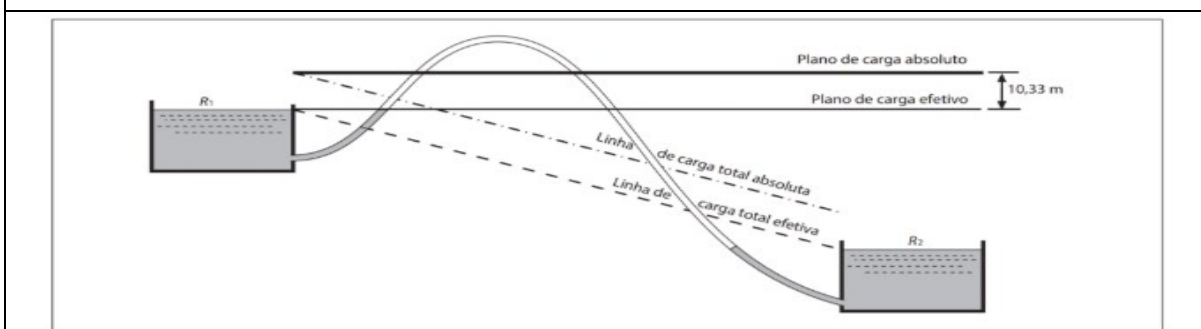
**Quadro 1 - Situações de traçados de Adutoras, onde o reservatório superior abastece o inferior. (Continuação)**



Nesta quinta situação, O conduto transpõe a linha de carga total efetiva e o plano de carga total efetivo, no entanto permanece sob a linha de carga total absoluta. A adutora funciona como um sifão verdadeiro, que funciona sem estabilidade, que acaba fazendo necessário o uso de escorva todas as vezes que entrar ar no tubo.



A tubulação transpassa ambas as linhas de carga e o plano de carga efetivo, permanecendo abaixo apenas do plano de carga absoluto. Azevedo Netto (2015) afirma que este é mais um caso de um “sifão verdadeiro”, mas que neste caso as condições de funcionamento são ainda mais instáveis que a posição anterior.



Por fim a última posição é aquela em que a tubulação trespassa o plano de carga absoluto, tornando o escoamento por gravidade inexequível, pois é necessário fazer a instalação de um sistema conjunto motobomba no trecho de “subida” (recalque) do fluido. Exemplo: Adutora da Cidade de Apucarana.

**Fonte: Modificado de Azevedo Netto (2015).**

## 2.2 Equações para determinação das perdas de carga

### 2.2.1 Perda de carga ao longo do conduto

A partir do teorema de Bernoulli alguns modelos matemáticos foram propostos, e dentre eles os mais conhecidos são a equação de Darcy - Weisbach e equação de Hazen - Williams. Desta forma as equações (3) e (6) mostram como estes pesquisadores descreveram a perda de carga, assim como descrito por Baptista e Coelho (2002).

Em 1855 Henry Darcy e Julius Weisbach foram pioneiros ao considerar o atrito existente entre a parede dos tubos e fluido que nele escoam e descreveu matematicamente este fenômeno com duzentas observações experimentais através da equação 3.

$$\Delta_h = f * \frac{L * U^2}{D * 2 * g} \quad (3)$$

Onde:  $\Delta_h$  é a perda de carga (m);

$f$  é o coeficiente de atrito (adimensional);

$L$  é o comprimento da tubulação (m);

$U$  é a velocidade média (m/s);

$D$  é o diâmetro da tubulação (m);

$g$  é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Alguns destes valores como a velocidade média, diâmetro e comprimento da tubulação, são obtidos nos cálculos de dimensionamento da adutora, pois estão diretamente relacionados com demanda de água a ser atendida, no entanto para determinar o coeficiente de atrito é necessário fazer algumas considerações. A primeira delas é verificar em qual regime de escoamento, sendo que este pode ser classificados em três tipologias, de acordo com Baptista e Coelho (2002), sendo estas classificações em regime laminar, transição ou turbulento. A determinação do regime de escoamento é obtida através do cálculo do número de Reynolds que para condutos forçados é representada pela equação 4.

$$Re = \frac{U * D}{\nu} \quad (4)$$

Onde:  $Re$  é o número de Reynolds;

$U$  é a velocidade média de escoamento;



$D$  é o diâmetro do tubo;

$\nu$  é a viscosidade cinemática do fluido.

O escoamento é chamado de laminar quando  $Re$  for menor que 2000, de transição quando  $Re$  estiver entre 2000 e 4000 e de turbulento para valores de  $Re$  superiores à 4000.

Sabendo-se em qual regime de escoamento está o conduto a próxima etapa é determinar o coeficiente de atrito, que de acordo com Baptista e Coelho (2002), pode ser obtido da mesma maneira para todos os regimes, que é utilizando o diagrama de Moody representa no Anexo A, que representa graficamente a relação entre o número de Reynolds e a rugosidade relativa do tubo, sendo esta última variável uma resultante do quociente da rugosidade absoluta e do diâmetro do conduto ( $e/D$ ).

Todavia, no regime laminar o coeficiente de atrito também pode ser obtido através da equação 5, como descreve Azevedo Netto (2015).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Aproximadamente cinco décadas depois de Darcy-Weisbach, Allen Hazen e Gardner Stewart Williams também observaram e representaram numericamente o escoamento de um fluido por meio da equação 6.

$$J = 10,643 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} * D^{-4,87} \quad (6)$$

Onde  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ );

$D$  é o diâmetro do tubo (m);

$J$  é a perda de carga unitária (m/m);

$C$  é a rugosidade das paredes internas do tubo (adimensional).

Assim como na equação universal, na equação de Hazen-Williams alguns parâmetros como a vazão e o diâmetro do tubo podem ser obtidos, porém o coeficiente  $C$  não é obtido através de uma equação ou diagrama e sim experimentalmente, pois este depende do material do tubo e do tempo de vida útil da tubulação, como descreve Azevedo Netto (2015). O Quadro 2 mostra alguns valores normalmente utilizados para tubos com diâmetro maior que 50mm, para cada tipo de material, segundo Baptista e Coelho (2002). Por se tratar de um valor experimental este coeficiente geralmente é fornecido pelos fabricantes de tubos.

**Quadro 2: Coeficiente de perda de carga C da equação de Hazen - Williams**

<b>Material</b>	<b>Coeficiente C</b>
Aço corrugado (chapa ondulada)	60
Aço galvanizado	125
Aço rebitado novo	110
Aço rebitado em uso	85
Aço soldado novo	130
Aço soldado em uso	90
Aço soldado com revestimento especial	130
Chumbo	130
Cimento amianto	140
Cobre	130
Concreto com acabamento comum	120
Ferro fundido novo	130
Ferro fundido de 15 a 20 anos de uso	100
Ferro fundido usado	90
Ferro fundido revestido de cimento	130
Latão	130
Manilha cerâmica vidrada	110
Plástico	140
Tijolos bem executados	100
Vidro	140

**Fonte: Azevedo Netto (1988, apud BAPTISTA e COELHO 2002).**

### 2.2.2 Perda de Carga por Peças

A perda de carga local ou perda de carga por peças é calculada de maneira diferente da perda de carga distribuída, que já foi descrita anteriormente. Esta perda de carga chamada de local, localizada, acidental ou singularidade, acontece devido uma grande turbulência sofrida pelo fluido em uma peça específica da tubulação, seja essa uma válvula, curva, tê, entre outras. Esta perda de carga pode ser calculada de duas maneiras distintas, sendo a primeira delas pelo método do coeficiente K, que de acordo com Azevedo Netto (2015), é obtido experimentalmente para cada peça e de uma maneira generalizada podem ser descritas pela equação 7.

$$h_f = K * \frac{v^2}{2 * g} \quad (7)$$

Ou seja, o coeficiente K representa na prática uma alteração na energia cinética do fluido.

Ainda de acordo com o autor há muito tempo engenheiros, fabricantes de peças, e laboratórios de hidráulica vem estudando este coeficiente, e viram que este é quase uma constante para cada peça quando os valores do número de Reynolds são maiores que 50.000. Sendo assim constataram que o valor deste coeficiente pode ser considerado como constante para uma peça hidráulica se o escoamento for turbulento, não dependendo do diâmetro do tubo nem da velocidade do escoamento. Os autores Baptista e Coelho (2002), descrevem o mesmo e ainda mostram um quadro com valores aproximados mais usuais do coeficiente K, como mostrado no Quadro 3.

**Quadro 3 - Valores aproximados do coeficiente de perda de carga localizada K**  
(Continua)

<b>Peças</b>	<b>Coeficiente K</b>
Ampliação gradual	0,30*
Comporta aberta	1,00
Controlador de vazão	2,50
Cotovelo de 45°	0,40
Cotovelo de 90°	0,90
Crivo	0,75
Curva de 22,5	0,10
Curva de 45°	0,20
Curva de 90°	0,40
Entrada de Borda	1,00
Entrada normal	0,50
Junção	0,40

**Quadro 3: Valores aproximados do coeficiente de perda de carga localizada K (Conclusão)**

<b>Peças</b>	<b>Coeficiente K</b>
Medidor Venturi	2,50*
Pequena derivação	0,03
Redução gradual	0,15**
Saída de canalização	1,00
Tê de passagem direta	0,60
Tê de saída bilateral	1,80
Tê de saída de lado	1,30
Válvula borboleta aberta	0,30
Válvula de ângulo aberta	5,00
Válvula de gaveta aberta	0,20
Válvula de pé	1,75
Válvula de retenção	2,50
Válvula globo aberta	10,00

\*Relativa à velocidade na canalização

\*\*Com base na maior velocidade

**Fonte: Azevedo Netto (1988, apud BAPTISTA e COELHO 2002).**

Outra maneira de calcular esta perda de carga é pelo método dos comprimentos virtuais, que conforme Baptista e Coelho (2002), consiste em trocar (somente nos cálculos), as peças hidráulicas por tubos de mesmo diâmetro e rugosidade com um comprimento que tenha a mesma perda de carga das peças. Este comprimento chamado de comprimento equivalente ao ser somado ao comprimento real do conduto é chamado de comprimento virtual, como demonstra a equação 8.

$$h_f = \frac{f * L * v^2}{D * 2 * g} \quad (8)$$

Onde:  $f$  é o fator de atrito conduto;

$L$  é o comprimento equivalente das peças (m);

$v$  é a velocidade do escoamento (m/s).

$D$  é o diâmetro das peças (m);

$g$  é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

### 2.3 Transiente hidráulico

Outro grande problema na condução de fluidos é o transiente hidráulico que é descrito por Baptista e Coelho (2002) como uma variação na velocidade de um escoamento em função do tempo, que quando ocorre rapidamente cria uma onda de pressão que percorre a tubulação em uma velocidade próxima à do som. O choque intenso destas ondas com as paredes do conduto e o som deste se assemelham ao vaivém de um aríete, fazendo com que o transiente hidráulico ficasse conhecido como golpe de aríete, como descrevem Baptista e Coelho (2002).

Azevedo Netto (2015) descreve o golpe de aríete como uma subpressão e/ou sobrepressão que um conduto forçado recebe na ocorrência de uma paralização ou acionamento instantâneo do conjunto motobomba, abertura ou fechamento de válvulas, ou ainda pela ruptura súbita de um trecho da canalização.

Chadwick, Morfett e Borthwick (2017) afirmam que apesar de muitas vezes se tratar de um evento breve a condição transiente é tão intensa que pode levar o conduto a circunstâncias drásticas como por exemplo o rompimento da tubulação.

Para calcular a velocidade de propagação desta onda em uma canalização de água Azevedo Netto (2015) propõe a equação 9.

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}} \quad (9)$$

Onde:  $c$  é a velocidade da onda (m/s);

$D$  é o diâmetro da tubulação (m);

$e$  é a espessura dos tubos (m);

$k$  é o coeficiente que leva em conta o módulo de elasticidade do material.

O coeficiente supracitado tem valores conhecidos para os materiais mais usuais, sendo  $k=0,5$  para aço,  $k=1$  para ferro fundido,  $k=5$  para concreto e  $k=18$  para PVC.

É denominado como fase ou período o tempo que a onda leva para ir de uma extremidade à outra do conduto, e esta variável é dada pela equação 10 como descreve Azevedo Netto (2015).

$$\tau = \frac{2*L}{c} \quad (10)$$

Onde: c é a velocidade da onda (m/s);

L é o comprimento da tubulação (m);

Azevedo Netto (2015) segue afirmando que ao chegar em uma extremidade do tubo a onda faz o mesmo percurso de volta, porém no sentido contrário mas com o mesmo tempo  $\tau$ , desta forma a onda que antes era de sobrepressão passa a ser de subpressão, ou o contrário.

O tempo utilizado para ligar ou desligar uma bomba e para abrir ou fechar uma válvula determina a classificação do golpe de aríete, sendo esta classificação dada a partir da comparação deste tempo “t” com a fase da onda, como mostra Azevedo Netto (2015) na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação das manobras de abertura ou fechamento quanto ao golpe de aríete**

	$t < \tau$	$t > \tau$
Manobra	Rápida	Lenta

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto (2015).

Por fim Azevedo Netto (2015) mostra que o aumento de pressão nos condutos é calculado de maneira distinta para manobras rápidas e lentas, desta forma a equação 11 mostra como chegar ao valor da sobrepressão máxima em casos de manobra rápida e a equação 12 para casos de manobra lenta.

$$h_a = \frac{c*v}{g} \quad (11)$$

$$h_a = \frac{2*L*v}{g*t} \quad (12)$$

Onde:  $h_a$  é o aumento de pressão em m.c.a.;

c é a velocidade da onda (m/s);

v é a velocidade média da água (m/s);

g é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

L é o comprimento da tubulação (m);

t é o tempo de manobra (s).

## 2.4 Materiais

Visto que a perda de carga depende muito da viscosidade do fluido e do atrito deste com as paredes dos tubos, diversos materiais começaram a ser utilizados na confecção de tubos na tentativa de diminuir a perda de carga, sendo materiais metálicos, plásticos, de compostos orgânicos, entre outros.

Azevedo Netto (2015), descreve que dentre os metálicos estão o aço-carbono soldado; aço inoxidável; cobre; chumbo; ferro galvanizado e ferro fundido dúctil. Os plásticos são subdivididos em duas categorias: o cloreto de polivinil rígido; polietileno de alta densidade; polipropileno; polietileno de densidade e polietileno de densidade aramado são chamados de termoplásticos, e as resinas bicomponente armadas com ou sem fôrma interna de PVC são os chamados termoestáveis. Quanto aos componentes inorgânicos se encaixam o concreto armado e o cimento – amianto.

Os diâmetros mais utilizados comercialmente variam de acordo com o material empregado no tubo e com a vazão atendida. Todavia nem todos estes materiais são utilizados na confecção de adutoras, por motivos de limitações diamétricas, custo, dificuldades de instalação e operação, dentre outros fatores. Desta forma Rodrigues (2014) descreve os materiais mais usuais para adução de água, como segue abaixo.

### 2.4.1 Metálicos

Dentre os materiais metálicos os que são mais empregados na construção de adutoras são o aço carbono e o ferro fundido dúctil (FoFo), como afirma Alambert Júnior (1997 apud RODRIGUES, 2014), ela ainda cita o ferro fundido cinzento, porém este não é mais produzido.

O aço carbono, de acordo com Rodrigues (2014), tem alta resistência às pressões, sejam elas internas ou externas, possibilitando que estes tubos tenham paredes mais finas quando comparado a outros materiais, além de ter uma boa soldabilidade, o que garante a estanqueidade do sistema, e é capaz de cobrir vãos

grandes por ser leve. No entanto, Alambert Júnior (1997 apud RODRIGUES, 2014) afirma que este material é vulnerável a dilatações térmicas, fazendo necessário o uso de juntas de expansão, além de ser suscetível à corrosão, necessitando ser revestido, e ter baixa resistência a pressões negativas internas.

**Figura 5 – Adutora de aço carbono**



Fonte: Chroma (2020).

Em relação ao ferro fundido dúctil (FoFo dúctil), este apresenta uma alta durabilidade, resistência ao processo de corrosão, resistência a compressão e tração, sendo o material mais utilizado para as novas adutoras (Kuroda; PÁDUA, 2006 apud RODRIGUES, 2014).

**Figura 6 – Adutora Pajeú (de ferro fundido dúctil)**



Fonte: Chroma (2020).

Rodrigues ao comparar estes materiais atesta que o aço carbono é mais leve que o ferro fundido dúctil, o que facilita no transporte e montagem, e que o aço carbono



também tem comprimentos de tubos maiores disponíveis no mercado, mas tem um custo mais elevado que a maioria dos demais materiais comercializados, sendo mais barato que o ferro fundido dúctil apenas quando se trata de diâmetros grandes e altas pressões.

#### 2.4.2 Plásticos

Rodrigues (2014) cita como mais usuais na confecção de adutoras apenas três materiais plásticos que são o cloreto de polivinila (PVC), o polietileno (PE) e os plásticos reforçados com fibra de vidro (PRFV).

A mesma autora segue afirmando que existem dois tipos de PVC rígido sendo eles o PVC PBA e o PVC DEFoFo, sendo o segundo tipo o mais usual na execução de adutoras.

**Figura 7 – Tubo de PVC PBA**



**Fonte: Tigre (2020).**

**Figura 8 – Tubo de PVC DEFoFo**



**Fonte: Tigre (2020).**

De acordo com Kuroda, Pádua (2006 apud RODRIGUES, 2014) os tubos de PVC se destacam por serem leves, muito resistentes contra agentes químicos e corrosão, e rugosidade baixa, características que fazem do material fácil de se transportar e montar, durável e com bom desempenho hidráulico. Todavia este material possui baixa resistência a altas pressões internas, fortes impactos, além de degradar sob a luz solar e ter diâmetro nominal máximo de 500mm, ou seja, este material está limitado a sistemas enterrados e com vazões altas.

Quanto ao polietileno, Brastubo Química Indústria e Comércio LTDA (2014 apud RODRIGUES 2014) ressalta que este é subclassificado em outras três categorias: o polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno de média densidade (PEMD), e o polietileno de alta densidade (PEAD), sendo que o último citado é o mais utilizado em sistemas de abastecimento de água por suportar maiores pressões internas. Os tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) são leves, flexíveis, resistente a agentes químicos, corrosão, abrasão e duráveis, além de seus sistemas possuírem poucas juntas e formarem poucas incrustações no conduto, fazendo este material muito durável. Em contrapartida o PEAD possui uma resistência baixa quando se trata de altas pressões internas.

**Figura 9 – Tubo de PEAD**



**Fonte: FGS Brasil (2020).**

Quanto ao tamanho das peças, estes tubos possuem diâmetros até 1800mm, fazendo deste um material muito competitivo comercialmente, principalmente quando comparado os demais tubos poliméricos.

### 2.4.3 Componentes Inorgânicos

Dentre os componentes inorgânicos Alambert Júnior (1997 apud RODRIGUES 2014) descreve os tubos de concreto, sejam eles armados ou não, por se tratar de um tubo com custo mais baixo que os demais materiais, além de apresentarem grandes diâmetros e elevada resistência a cargas externas. Porém este material vem perdendo muito espaço no mercado, por apresentar dificuldades em sua manutenção e vazamentos frequentes, mas ainda é encontrado em adutoras antigas.

**Figura 10 – Adutora de concreto**



Fonte: Portal Saneamento Básico (2020).

### 2.5 Peças mais utilizadas

A peças hidráulicas ou também chamadas de acessórios hidráulicos por Azevedo Netto (2015), são equipamentos com funções específicas na condução de água de um ponto a outro, seja para mudar o sentido do percurso, unir outras peças, retirar ar do conduto entre outras funções. O mesmo autor descreve cada uma das peças mais utilizadas em uma estrutura hidráulica, assim como será descrito a seguir.

#### **Juntas de Construção**

Para Azevedo Netto (2015) estas peças fazem-se necessárias pois os tubos têm seus tamanhos limitados à capacidade do veículo que os transporta da fábrica até o local onde serão instalados. O mesmo autor segue afirmando que existem vários tipos de juntas sendo estas: elástica, elástica tipo luva, elástica travada, mecânica,

com flanges, roscadas e soldadas, e a escolha de qual tipo deve ser usado depende principalmente do material da tubulação e dos esforços aos quais este conduto está sendo solicitado.

**Figura 11 – Junta elástica tipo luva**



Fonte: Swiss (2020).

### **Juntas de Montagem**

Estas são utilizadas de acordo com o planejamento da obra ou para colocação de um acessório intermediário, desta forma, Azevedo Netto (2015), classifica estas peças como juntas que permitem a montagem e a desmontagem da estrutura, e a colocação ou retirada de algum trecho ou acessório.

**Figura 12 – Junta de montagem**

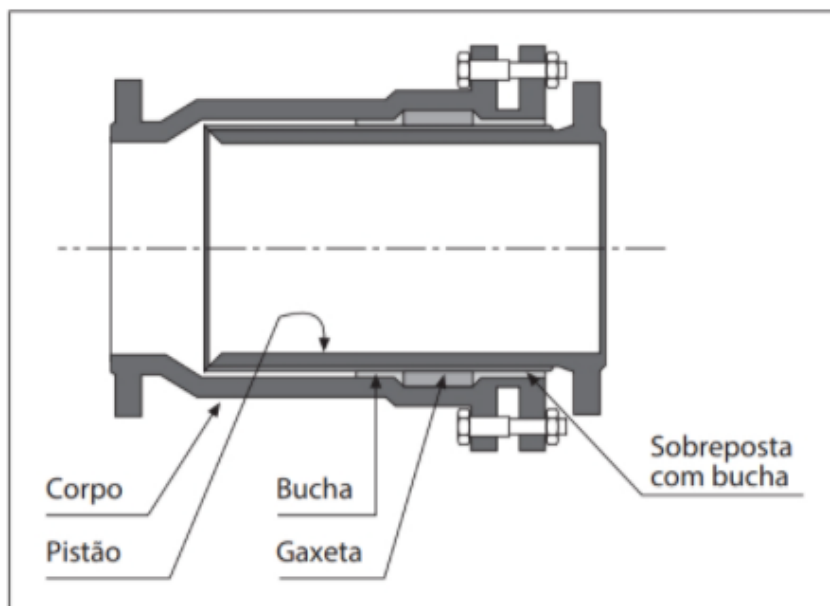


Fonte: Caetano (2020).

### **Juntas de Dilatação**

De acordo com Azevedo Netto (2015), trechos retilíneos e grandes podem sofrer a ação de elevados esforços internos, oriundos de grandes variações térmicas, fazendo com que seus tubos sofram uma dilatação ou contração. Para que os tubos possam dilatar ou contrair sem mudar de posição são utilizadas as juntas de dilatação, que podem ser do tipo sanfonada ou deslizante.

Figura 13 – Junta de dilatação deslizante



Fonte: Azevedo Netto (2015).

### Ancoragens

Azevedo Netto (2015) afirma que além dos esforços internos o conduto pode sofrer esforços externos que devem ser transmitidos para outras estruturas para que a tubulação não colapse, e à estas estruturas que recebem estes esforços dá-se o nome de ancoragem, podendo elas ter várias formas e tamanhos.

### Válvulas

Para Gomes e Carvalho (2012), trata-se de um dispositivo com função de abrir, fechar ou regular a passagem de água no conduto, com o objetivo de proteger ou isolar as bombas, tendo no mercado diversos tipos de válvulas, os quais variam de acordo com sua funcionalidade, frequência de uso, modo de acionamento, localização no conduto, pressão, vazão, diâmetro e custo. Em seguida o autor explica o funcionamento de alguns tipos de válvulas, sendo elas: Válvula de gaveta, borboleta, rotativa, de agulha, de disco, multijato, diafragma, automática, limitadora de pressão, de esfera, cônica e de retenção.

**Figura 14 – Válvula de gaveta**

Fonte: CHROMA (2022)

A maioria das válvulas se diferenciam das outras apenas pelo modo de abertura e fechamento, porém algumas válvulas têm algumas particularidades quando comparadas as demais, como a válvula de retenção que de acordo com Azevedo Netto (2015), só permitem o escoamento em um sentido.

De acordo com a Tigre (fabricante de peças hidráulicas), a válvula de pé com crivo é instalada na entrada de tubulações e antecedendo bombas, sendo que a válvula de retenção com a função de obstruir a passagem de água no sentido contrário ao escoamento quando o bombeamento for desligando, de modo a manter o conjunto motobomba sempre com água, e o crivo com o papel de obstruir a entrada de resíduos sólidos no sistema.

**Figura 15 – Válvula de pé com crivo**

Fonte: Tigre (2020).

## Ventosas

Gomes e Carvalho (2012), chama estas peças de válvulas de expulsão e/ou admissão de ar, e as define como um mecanismo de funcionamento automático para inserir ou expulsar ar dos condutos pressurizados. Este dispositivo se faz necessário no esvaziamento ou enchimento de tubulações onde o escoamento tem sentido vertical para cima, locando-se em pontos altos próximos de válvulas. Durante o escoamento as ventosas também têm funcionalidade, servindo para expulsar o ar acumulado em pontos elevados, evitando uma redução da vazão por bolhas de ar, ou admitindo breves entradas de ar em casos em que a pressão interna é inferior a pressão atmosférica, evitando que o “colapso” do conduto pela pressão atmosférica, como mostra a Figura 16.

**Figura 16 – Colapso em trecho de adutora por pressão inferior à atmosférica**



Fonte: Lima (2012).

**Figura 17 – Ventosa**

Fonte: Prefeitura de Sorocaba (2018).

### **Orifícios calibrados**

Segundo Azevedo Netto (2015), os orifícios são placas perfuradas postas transversalmente aos condutos, com função de produzir uma perda de carga localizada e elevada, podendo estas peças serem fixas ou ajustáveis, sendo que os orifícios ajustáveis são um caso particular de válvulas de ajuste de vazão. Apesar de simples estes equipamentos são muito eficazes e utilizados.

**Figura 18 – Placa de Orifício**

Fonte: FlowMaster (2020).



### **Descargas**

Conforme Azevedo Netto (2015), estas peças ficam locadas nos pontos mais baixos de uma tubulação com função de esvaziar o sistema quando preciso for, seja para manutenções ou limpeza.

### **Inspeções**

Azevedo Netto (2015) afirma que os condutos com diâmetros superiores a 800mm devem ter acessos ao seu interior a cada 500 m, para que alguém possa acessar o interior da tubulação afim de inspecioná-la ou limpá-la. Já nas tubulações de diâmetros menores deve-se haver um acesso semelhante, mas para a entrada de equipamentos. Em ambos os casos o acesso deve ser locado em regiões estratégicas, ou seja, de fácil acesso.

### **Medidores**

Por fim Gomes e Carvalho (2012), afirma que todos os condutos devem ter medidores de vazão e de pressão, para que possa ser verificado se este sistema está funcionando como foi projetado.

## **2.6 Máquinas hidráulicas**

De acordo com Baptista e Coelho (2002), Gomes e Carvalho (2012), as máquinas hidráulicas são equipamentos que transformam energia mecânica em energia hidráulica ou o contrário. Os autores afirmam que o sentido de transformação da energia determina o tipo da máquina hidráulica, sendo as máquinas que transformam energia mecânica em energia hidráulica denominadas de bombas, e as que fazem a transformação contrária de turbinas. Para o presente estudo é necessário entender o funcionamento das bombas, visto que esta torna possível o transporte vertical e horizontal de fluidos.

A bombas trabalham rotacionando a água de um ponto e impulsionado para outro. As peças e tubulações que antecedem a bomba, ou seja, a parte do sistema que succiona o líquido é denominado de sucção, e as peças e condutos posteriores a bomba são chamados de recalque. Essa diferenciação é necessária pois existe uma diferença de pressão entre essas regiões do conduto.

Desta forma Baptista e Coelho (2002), Gomes e Carvalho (2012), afirmam que as bombas podem ser classificadas quanto ao processo de transformação de energia, sendo que as classificações mais representativas são as bombas volumétricas e as turbobombas.

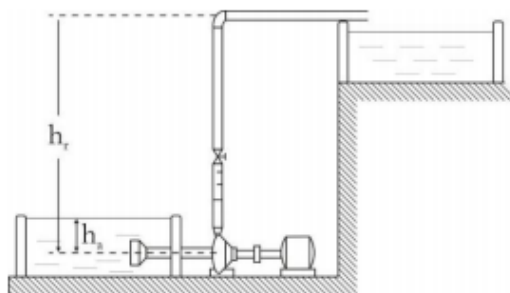
Os autores seguem explicando que as bombas volumétricas são assim denominadas, por realizar uma variação de volume do fluido dentro de uma câmara fechada para gerar uma alteração de pressão. Esta variação de volume acontece por movimentos rotativos ou alternados.

As turbobombas são definidas pelos autores como aquelas que possuem uma (ou mais) parte móvel chamada de rotor, que se movimenta no interior de uma estrutura, através de um motor, fazendo com que o fluido se movimente. A energia cinética produzida pelo motor é parcialmente transformada em pressão dentro da bomba, fazendo com que seja possível a água chegar a grandes distâncias e/ou alturas na tubulação de recalque. De acordo com Brasil (2010), as turbobombas ainda podem ser subclassificadas em outras três categorias, sendo elas as bombas centrífugas, axiais e as diagonais, esta classificação é feita de acordo com a trajetória do fluido no rotor, sendo que nas centrífugas a água entra axialmente no rotor onde seu trajeto subitamente desviado na direção radial, já nas axiais o líquido segue majoritariamente na direção axial em relação ao rotor, e por fim o autor afirma que as bombas diagonais são um caso intermediário entre os outros dois.

### 2.6.1 Posições da Bomba

Quanto a sua posição uma bomba pode ser instalada de três formas distintas, sendo elas afogadas, não-afogadas e submersas, como descreve Baptista e Coelho (2002), sendo as bombas afogadas aquelas que tem seu eixo abaixo do nível d'água do reservatório de captação, tendo uma altura de sucção negativa e permanecendo com seu interior preenchido de água permanentemente, como mostra Gomes e Carvalho (2012), na Figura 19.

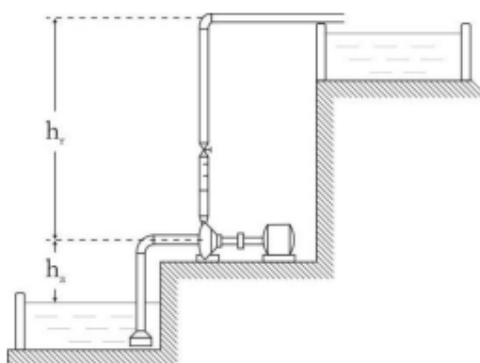
**Figura 19 – Bomba Afogada**



Fonte: Gomes e Carvalho (2012).

Quanto as bombas não-afogadas, os autores afirmam que estas têm seu eixo acima do nível d'água do reservatório, com sua altura de sucção positiva, fazendo-se necessário o uso de escorvamento (equipamento de retirada de ar), como mostra a Figura 20.

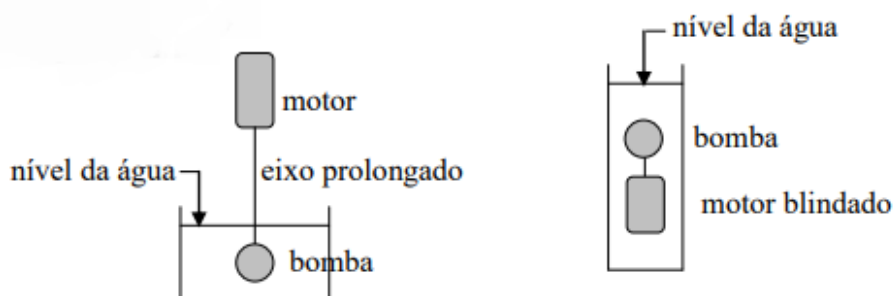
**Figura 20 – Bomba não-afogada**



Fonte: Gomes e Carvalho (2012).

As bombas submersas estas podem ter apenas a bomba dentro do reservatório ou todo o conjunto motobomba, sendo estas uma particularidade das bombas afogadas, como mostra a Figura 21.

**Figura 21 – Bomba submersa**



Fonte: Baptista e Coelho (2002).

### 2.6.2 Altura Manométrica

Conforme Baptista e Coelho (2002), a altura manométrica  $H_m$  é o valor corresponde a energia absorvida por unidade de peso de um fluido quando passa na bomba, isto é, a energia de saída da bomba subtraindo a energia de entrada. Os autores seguem afirmando que ao aplicar a equação de Bernoulli entre dois pontos (2), sendo um ponto antecessor a bomba e outro sucessor obtém-se:

$$\left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1\right) + H_m = \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2\right) + \Delta h \quad (13)$$

Onde ao se isolar a altura manométrica tem-se:

$$H_m = \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2\right) - \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1\right) + \Delta h \quad (14)$$

Se os pontos 1 e 2 estiverem expostos apenas a pressão atmosférica estes terão velocidades praticamente nulas, simplificando a equação 14 em uma diferença de alturas somada a perda de carga no percurso, como mostram Baptista e Coelho (2002) com a equação 15:

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + \Delta h \quad (15)$$

### 2.6.3 Potência

A potência hidráulica é descrita por Baptista e Coelho (2002), como o trabalho realizado sobre o líquido ao passar pela bomba em um segundo, como representa a equação 16.

$$P_h = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75} \quad (16)$$

Onde:  $P_h$  é a potência hidráulica em cavalo vapor (cv);

$\gamma$  é o peso específico da água expresso em  $\text{kgf/m}^3$ ;

$Q$  é a vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H_m$  é a altura manométrica em metros.

No entanto os autores alertam para uma diferença entre a potência hidráulica e a potência absorvida pela bomba, visto que, existe uma perda de energia no interior da bomba. Desta forma é denominada como eficiência da bomba  $\eta_B$  a razão entre a potência hidráulica  $P_h$  e a potência absorvida pela bomba  $P_B$ . Essa eficiência também

denominada de rendimento pode variar de acordo com a vazão, a altura manométrica e o tipo da bomba. Desta forma a potência da bomba é expressa por:

$$P_B = \frac{\gamma * Q * H_m}{75 * \eta_B} \quad (17)$$

Porém, Baptista e Coelho (2002), mostram que além do rendimento da bomba o rendimento do motor  $\eta_M$  também deve ser levado em consideração, sendo esse o valor que representa a relação entre a potência que o motor transfere e a potência que ele recebe de sua fonte de energia, como ilustra a equação 18

$$\eta_M = \frac{P_B}{P} \quad (18)$$

Sendo assim os autores definem a potência recebida pelo motor como a potência do conjunto motobomba, que é dada pela equação 19.

$$P = \frac{P_B}{\eta_M} = \frac{\gamma * Q * H_m}{75 * \eta_B * \eta_M} = \frac{\gamma * Q * H_m}{75 * \eta} \quad (19)$$

Sendo:  $\eta$  a eficiência do conjunto motobomba;

$P$  a potência do conjunto motobomba em cavalo vapor (cv).

#### 2.6.4 NPSH: Energia Disponível no Líquido na Entrada da Bomba

Azevedo Netto (2015) afirma que a abreviação NPSH, do inglês "*Net Positive Suction Head*", é utilizada de maneira universal para definir a "energia disponível na sucção", isto é, a "carga positiva e efetiva na sucção". Sendo que existem dois valores de NPSH a serem considerados, sendo eles:

- O NPSH requerido, que é uma característica hidráulica da bomba, sendo informado pelo fabricante da bomba;
- O NPSH disponível, que é uma característica das instalações de sucção, obtido pela equação 20.

$$NPSH_{disponível} = H + \left( \frac{p_a + p_v}{\gamma} \right) * 10 - h_f \quad (20)$$

Onde:  $H$  é a altura de sucção;

$p_a$  é a pressão atmosférica no local;

$p_v$  é a pressão de vapor;

$\gamma$  é o peso específico da água;

$h_f$  é o somatório das perdas de carga na sucção.

O autor ainda afirma que para a bomba funcionar de maneira correta é necessário que:

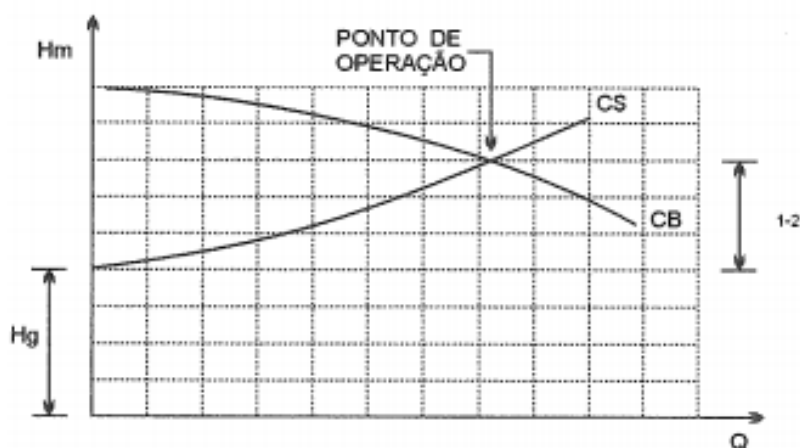
$$NPSH_{disponível} \geq NPSH_{requerido}$$

### 2.6.5 Curvas Características

Baptista e Coelho (2002), informam que as bombas são fabricadas para trabalhar em vazões e alturas manométricas pré-definidas. No entanto, verificou-se experimentalmente que estas também pode funcionar com outros valores de vazão e altura manométrica. Desta forma o conjunto de pontos onde uma bomba pode trabalhar é denominado como faixa de operação da bomba. Esta faixa de operação é geralmente fornecida pelo fabricante da bomba.

Todavia mesmo tendo uma ampla faixa de valores em que possa trabalhar Baptista e Coelho (2002), afirmam que uma bomba tem sua operação definida em um sistema, pelas condições existentes, sendo estas condições a altura geométrica e a perda de carga total. Desta maneira o ponto de operação de uma bomba no sistema é representado pela intersecção entre a curva característica da bomba (CB) e a curva característica do sistema (CS), assim como representado a seguir.

**Figura 22 – Ponto de operação da bomba**



Fonte: Baptista e Coelho (2002).

Os autores ainda seguem declarando que ao contrário da curva da bomba que fornecida pelo fabricante, a curva do sistema deve ser calculada entre dois pontos sujeitos a mesma pressão, pela equação 21 quando se utiliza o método dos comprimentos equivalentes:

$$H_m = H_g + r * Q^n \quad (21)$$

Onde:  $H_g$  é a altura geométrica;

" $r$ " e " $n$ " são coeficientes que dependem de como é calculada a perda de carga.

Sendo que para a equação de Hazen - Williams temos:

$$n = 1,85$$

$$r = \frac{10,64}{C^{1,85} * D^{4,87}} * L_v \quad (22)$$

E para a equação universal:

$$n = 2$$

$$r = \frac{8 * f}{\pi^2 * g * D^5} * L_v \quad (23)$$

Porém quando se utiliza o método do coeficiente  $k$  para determinação das perdas de carga localizadas, a função da altura manométrica passa a ser:

$$H_m = H_g + \beta * \frac{Q^n}{D^m} * L + \frac{8 * K * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} \quad (24)$$

Onde:  $H_g$  é a altura de sucção;

$\beta$  é uma constante;

$Q$  é a vazão;

$D$  é o diâmetro;

$L$  é o comprimento da tubulação de recalque.

$g$  é a aceleração da gravidade;

$K$  é o coeficiente de perda.

## 2.7 Cálculo do diâmetro

### 2.7.1 Diâmetro econômico

Azevedo Netto (2015) afirma que na teoria uma tubulação de recalque pode ter qualquer diâmetro, sendo que o uso de diâmetros elevados reduz as perdas de carga e a potência do conjunto motobomba, mas eleva muito o custo de instalação da tubulação. Por outro lado, o uso de diâmetros relativamente pequenos reduz o custo

de implantação do conduto, porém aumenta as perdas de carga e exigem maior potência do sistema de bombeamento.

Em seguida Azevedo Netto (2015), mostra que em uma primeira aproximação pode ser admitido um valor “p1” de preço médio por unidade de potência e um valor “p2” de preço médio por unidade de comprimento de um conduto de diâmetro unitário, executado. Desta forma o preço de uma tubulação de recalque é dado por:

$$P_2 = p_2 * D * L$$

Onde: D é o diâmetro do conduto e L o comprimento do mesmo.

E o custo dos conjuntos de bombeamento respeita a seguinte equação:

$$P_1 = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * \eta} * p_1$$

Onde:  $\gamma$  é o peso específico da água expresso em kgf/m<sup>3</sup>;

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

$H_{man}$  é a altura manométrica em metros;

$\eta$  a eficiência do conjunto motobomba;

Azevedo Netto (2015), também salienta que é importante considerar que a altura manométrica carrega as perdas de carga, sendo dada pela seguinte equação:

$$H_{man} = H + \frac{f}{D^5} * Q^2 * L$$

Sendo que f é o coeficiente de atrito retirado da equação de Darcy-Weisbach.

Com isso tem-se que o custo de instalação e operação é de:

$$C = \frac{\gamma * Q * p_1}{75 * \eta} * \left( H + \frac{f}{D^5} * Q^2 * L \right) + p_2 * D * L$$

A seguir Azevedo Netto (2015) mostra que para se obter um custo mínimo é necessário que:

$$\frac{dC}{dD} = 0$$

$$\frac{dC}{dD} = \frac{\gamma * Q * p_1}{75 * \eta} * f * Q^2 * L * \left( \frac{-5 * D^4}{D^{10}} \right) + p_2 * L$$

$$\frac{dC}{dD} = \frac{\gamma * Q * p_1}{15 * \eta} * f * \frac{Q^2 * L}{D^6} + p_2 * L = 0$$

Onde isolando o diâmetro tem-se:

$$\frac{\gamma * f * p_1}{15 * \eta * p_2} * Q^3 = D^6$$



$$D = \sqrt[6]{\frac{\gamma * f * p_1}{15 * \eta * p_2}} * \sqrt[2]{Q}$$

Onde a raiz sexta representa o coeficiente K de Bresse:

$$K = \sqrt[6]{\frac{\gamma * f * p_1}{15 * \eta * p_2}}$$

Obtém-se a equação de Bresse:

$$D = K * \sqrt[2]{Q} \quad (25)$$

Sendo assim é possível visualizar que o dimensionamento de uma tubulação está em função de variáveis econômicas, fazendo com que este valor se altere conforme a região e época de instalação.

No entanto a grande maioria dos projetistas fixa um valor de K entre 0,7 e 1,5 para determinadas velocidades, como mostra Azevedo Netto (2015) no Quadro 4.

**Quadro 4 – Valores usuais do coeficiente de Bresse**

Valores de K	Valores v (m/s)
0,9	1,6
1,1	1,06
1,3	0,75
1,5	0,57

Fonte: Azevedo Netto (2015).

### 2.7.2 Velocidade Máxima Admitida

Uma outra maneira de obter o diâmetro de uma tubulação de conduto forçado é assumindo uma velocidade máxima na equação da continuidade, como descreve Baptista e Coelho (2002), sendo esta a equação 26.

$$Q = V * A \quad (26)$$

Onde: Q é a vazão;

V a velocidade do escoamento;

A sendo a área do conduto.

Desta forma, substituindo o valor do diâmetro na equação 26 temos:

$$Q = V * \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right)$$

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (27)$$

O pré-dimensionamento partindo da velocidade máxima admitida possibilita a escolha do menor diâmetro possível. Em seguida Baptista e Coelho (2002), traz o Quadro 5 com valores usuais de velocidades e vazões máximas para diâmetros comerciais.

**Quadro 5 - Pré-dimensionamento – Sistema de Abastecimento de água.**

<b>Diâmetro interno (mm)</b>	<b>Velocidade máxima (m/s)</b>	<b>Vazão máxima (l/s)</b>
100	0,75	5,9
150	0,83	14,6
200	0,90	28,3
250	0,98	47,9
300	1,05	74,2
350	1,13	108,2
400	1,20	150,8
500	1,35	265,1
600	1,50	424,1
700	1,65	635,0
800	1,80	904,8
900	1,95	1240,5
1000	2,10	1649,3
1100	2,25	2138,2
1200	2,40	2714,3

**Fonte: Adaptado de Baptista e Coelho (2002)**

### **3 METODOLOGIA**

A abordagem do presente capítulo avaliou de maneira qualitativa a aplicação de dois métodos de cálculo para perda de carga de uma adutora: que foram desenvolvidos pelos engenheiros civis Allen Hazen e Gardner Stewart Williams (Equação Hazen – Williams) e por Henry Philibert Gaspard Darcy e Julius Weisbach (Equação Universal). Nesta pesquisa foi dimensionada uma adutora já existente no norte do estado do Paraná, pelos dois métodos supracitados, a fim de descobrir qual destes apresenta resultados mais condizentes com o real funcionamento desta adutora. Portanto, trata-se de uma pesquisa que descobriu quais as diferenças entre os métodos de cálculo para uma adutora, utilizando como referência uma adutora que abastece uma região do Estado do Paraná.

Com efeito, esta pesquisa mostra a importância do desenvolvimento de estudos acadêmicos na engenharia hidráulica, principalmente quanto ao abastecimento urbano de água, visto que com o crescimento populacional e consequente aumento de demanda de água, torna-se necessária a construção de novos sistemas de abastecimento urbano, desta forma a otimização do dimensionamento de adutoras, através de análises de sistemas de adução já existentes passa a ser de fundamental importância para que os novos sistemas sejam mais eficientes.

#### **3.1 Dados para dimensionamento de uma Adutora**

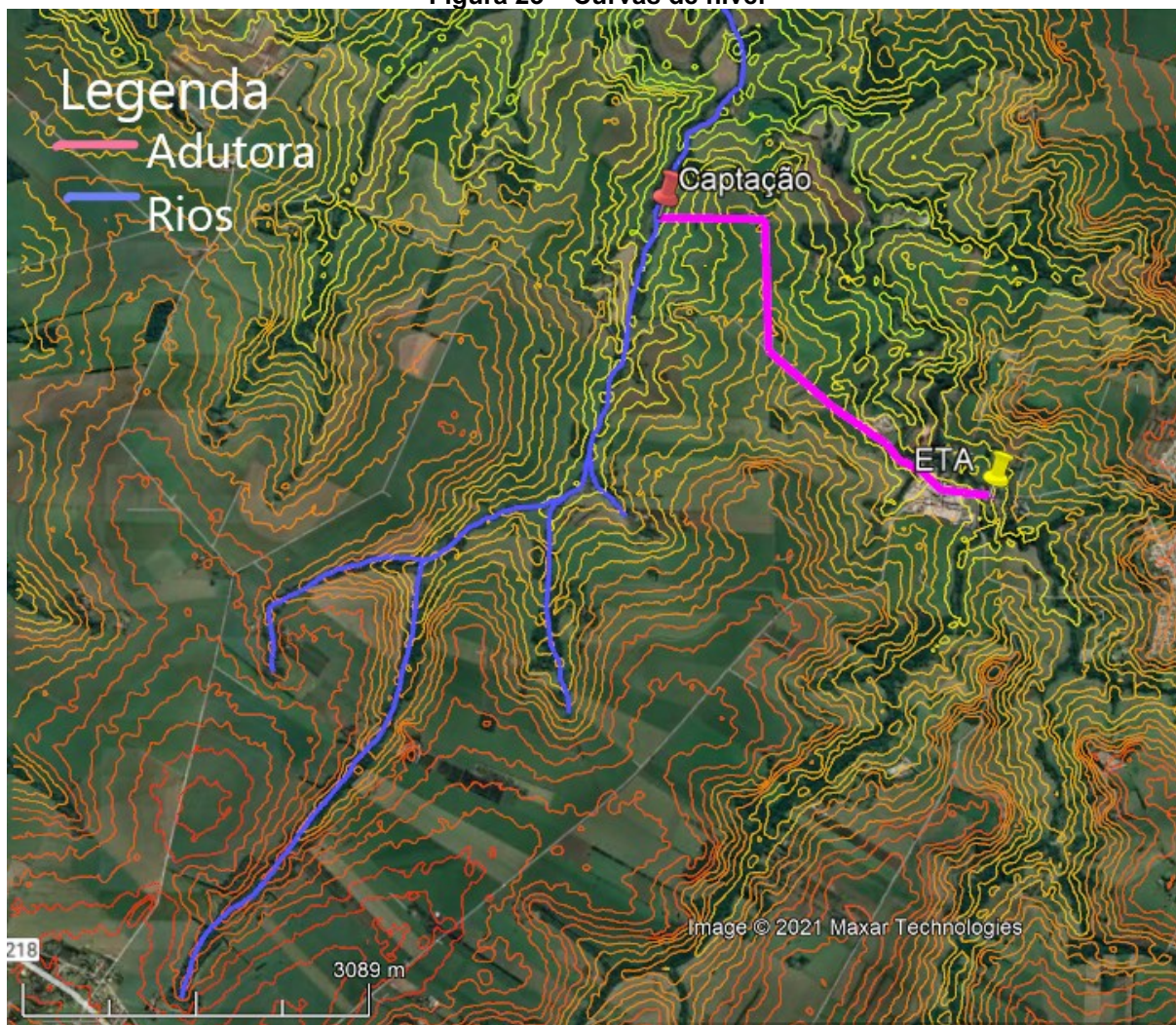
A adutora escolhida para análise compõe o sistema de abastecimento do município do Estado do Paraná. De acordo com a COMPANHIA DE SANEAMENTO este município é abastecido por três adutoras, porém as demais adutoras são mais antigas e, portanto, já passaram por muitas reformas, fazendo que os projetos executivos destas não sejam em sua totalidade fidedignos ao conduto que está em operação atualmente, e por esta razão é que o sistema de captação de água bruta para a pesquisa foi modificado e com adoção de dados totalmente teóricos.

Desta forma, foi obtido o comprimento da adutora, através do Software Google Earth Pro, sendo um com 2050,50 m e diâmetro de 250mm de tubos de ferro fundido

dúctil e o outro com 2579,00m de extensão e construído com PVC, com o diâmetro nominal de 200mm, totalizando assim 4629,50 m de extensão da adutora.

O ponto de captação escolhido para o projeto está a uma altitude de aproximadamente 570m, enquanto o ponto mais alto do percurso fica à uma altura de 660m, e a estação de tratamento de água à 604m, como é possível visualizar no Apêndice A, e na Figura 23.

Figura 23 – Curvas de nível



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021), modificado do Google Earth Pro.

Desta forma este item irá abordar os materiais e métodos utilizados nesse trabalho, seguindo a metodologia de cálculo para dimensionamento de uma adutora proposta por Freire (2000).

Para Freire (2000), o dimensionamento de uma adutora se inicia com a obtenção da quantidade de água que será necessária para atender o município a ser abastecido, sendo assim faz-se o uso da equação 28.

$$Q = \frac{P * q * k_1}{86400} \quad (28)$$

Onde: Q é a vazão média anual da adutora (l/s);

P é a população a ser abastecida (habitantes);

q é a taxa de consumo médio anual per capita (l/habitante/dia);

$k_1$  é o coeficiente do dia de maior consumo;

É importante salientar que a equação 22 é válida para uma adutora com funcionamento contínuo durante 24 horas por dia. Com a vazão em mãos o próximo passo será procurar o manancial mais próximo que seja capaz de atender essa demanda, bem como um estudo topográfico do terreno localizado entre o curso d'água escolhido e reservatório de destino do fluido, assim como demonstra Justino e Nogueira (2012).

Em seguida foi dimensionada a tubulação, para isso utilizou-se a equação de dimensionamento econômico de tubulações proposta por Bresse e o método da velocidade máxima admitida, descritos no capítulo anterior.

Após a obtenção do diâmetro do conduto, foi escolhido o diâmetro comercial mais próximo, podendo este ser superior ou inferior ao calculado, levando em conta os valores de custo considerados no cálculo de Bresse.

A partir destes valores é possível calcular a perda de carga unitária com as equações de Hazen - Williams (6) e Darcy - Weisbach (3), e a velocidade do escoamento obtida com a relação da vazão de projeto e a área da tubulação (29):

$$V = \frac{Q}{A} \quad (29)$$

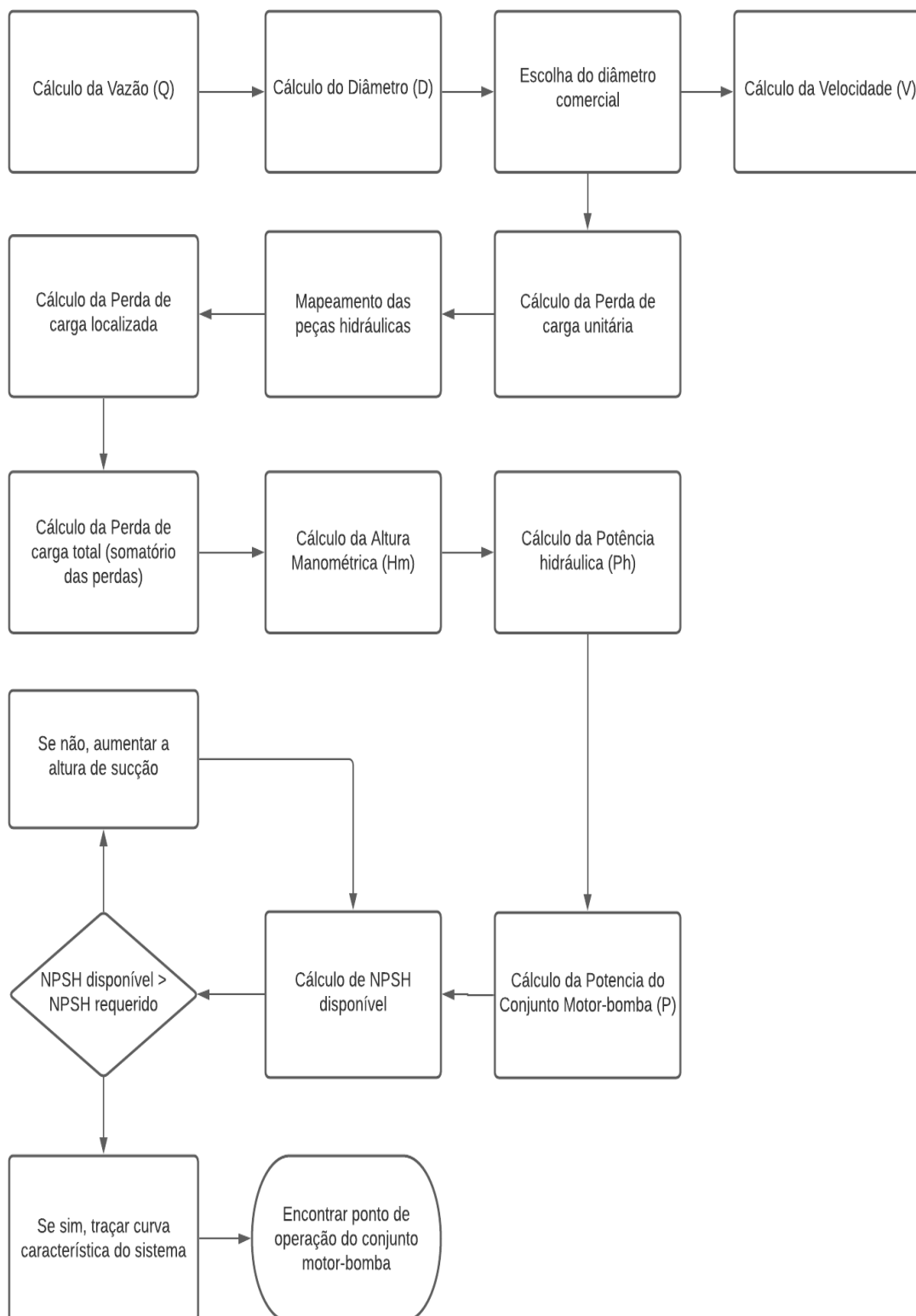
Onde: V é a velocidade de escoamento (m/s);

Q é a vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s);

A é a área da tubulação (m<sup>2</sup>).

Tendo em mãos quais e quantas peças hidráulicas o sistema possui foram calculadas as perdas de cargas localizadas destas pelo método do coeficiente k, apresentado na equação 7, e feito o somatório destas perdas de carga. As etapas dos dimensionamentos estão apresentadas no fluxograma da figura 24.

**Figura 24 – Fluxograma das etapas de cálculo de uma adutora**



**Fonte: Autor (2021).**

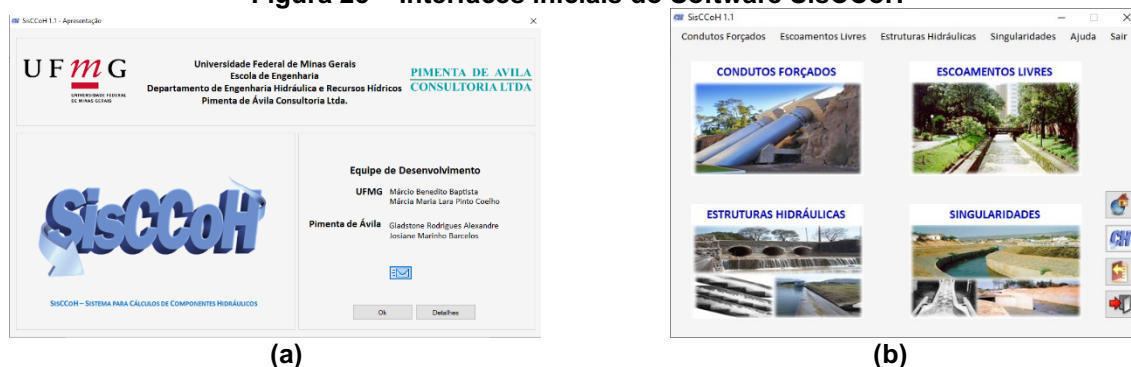
## 3.2 Softwares

Visando evitar falhas humanas estes cálculos foram realizados de maneira computacional com o auxílio de um programa de planilhas eletrônicas onde foram calculados os diâmetros, as perdas de cargas localizadas e o transiente hidráulico de forma manual. Também foi utilizado um software de dimensionamento hidráulico para calcular as perdas de carga ao longo do conduto, sendo este o SisCCoH, versão 1.0 (Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos), além dos softwares de dimensionamento também foram utilizados os programas *Google Earth Pro* e QGIS 3.22 para obtenção das curvas de nível. Todos os programas utilizados nesta pesquisa são gratuitos.

### 3.2.1 Perdas de carga

A empresa Pimenta de Avila Consultoria LTDA juntamente com o Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), desenvolveram o SisCCoH objetivando facilitar o dimensionamento de obras hidráulicas. Trata-se de um software didático e gratuito que possui uma interface de fácil entendimento e manuseio, como mostram as imagens que seguem das telas iniciais do programa.

**Figura 25 – Interfaces iniciais do Software SisCCoH**



Fonte: SisCCoH (2020).

A Imagem (a) é apenas uma apresentação do software, ou seja, esta não é utilizada no dimensionamento, quanto a Imagem (b), mostra que antes de se iniciarem os cálculos o programa necessita que lhe seja informado a estrutura a ser



dimensionada, que no caso será a de “condutos forçados”. Ao se escolher esta opção o programa solicitará os tipos de conduto e escoamento, como mostrado na Figura 25.

Figura 26 – Entrada de dados

Fonte: SisCCoH (2020).

Feito isso, a próxima janela aberta solicita qual o modelo de cálculo a ser utilizado, e quais as variáveis se deseja encontrar, e de acordo com as escolhas feitas o software irá pedir as variáveis necessárias para o dimensionamento, como mostrado abaixo.

Figura 27 – Escolha do método de cálculo

(a)

(b)

Fonte: SisCCoH (2020).

Logo após a inserção dos dados solicitados pelo programa basta clicar nos ícones “calcular” e “ok”, que o software apresentará os resultados solicitados pelo usuário. Depois de obter os resultados informados pelo SisCCoH e a realização dos cálculos nas planilhas eletrônicas, será feita uma comparação entre os resultados obtidos pelas duas formas de cálculo, para que seja possível continuar o dimensionamento. O software SisCCoH calcula apenas a perda de carga distribuída pela tubulação, sendo assim as perdas de cargas localizadas geradas por peças ficarão a cargo da planilha eletrônica.

### 3.2.2 Curvas de nível

Para traçar as curvas de nível foram utilizados dois softwares e um site, sendo os programas o *Google Earth Pro* e o QGIS 3.16, e o site da USGS “*Science for a Changing World*”.

As curvas de nível foram geradas a partir de um polígono feito no *Google Earth Pro* e exportado para o site da USGS onde será gerado um arquivo geotif que posteriormente será exportado para o QGIS para enfim gerar as curvas de nível.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Dimensionamento da adutora

#### 4.1.1 Cálculo do diâmetro dos condutos

No dimensionamento da adutora não foi possível calcular com precisão a vazão para qual a adutora foi dimensionada, visto que o autor não conseguiu saber qual é a parte da população abastecida por esta adutora no município de Cidade do Estado do Paraná, sendo assim foi adotada a maior vazão já registrada pelos medidores, que de acordo com o técnico é de 160m<sup>3</sup>/h, ou seja, aproximadamente 0,044m<sup>3</sup>/s.

Os valores do coeficiente de Bresse foram adotados em 1,2 para a tubulação de ferro fundido e de 0,95 para a tubulação de PVC, pois os valores mudam de acordo com cada material (informação verbal)<sup>1</sup>.

Sendo assim com a vazão e os valores do coeficiente em mãos utilizou-se uma planilha eletrônica para calcular o diâmetro pela equação de Bresse com equação 25, obtendo os resultados mostrados nos Quadros 6 e 7.

**Quadro 6 – Diâmetro obtido com a equação de Bresse para tubulação de ferro fundido**

Ferro fundido		
Variável	Valor	Unidade
K	1,200	
Q	0,044	m <sup>3</sup> /s
D	0,253	m

Fonte: Autor (2021).

---

<sup>1</sup> Informação fornecida por Prof. Dr. Podalyro Amaral de Sousa em ligação por telefone, em Maringá, em julho de 2021.

**Quadro 7 – Diâmetro obtido com a equação de Bresse para tubulação de PVC**

PVC		
Variável	Valor	Unidade
K	0,950	
Q	0,044	m <sup>3</sup> /s
D	0,200	m

**Fonte: Autor (2021).**

Desta forma, os diâmetros comerciais mais próximos a serem adotados seriam de 250mm para a tubulação de ferro fundido e de 200mm para a canalização de PVC.

Em seguida os diâmetros foram calculados utilizando o método da velocidade máxima admitida, sendo que esta velocidade foi escolhida de acordo com a vazão máxima, para isso utilizou-se como valor de cálculo a velocidade de 0,98 m/s, que no Quadro 5 corresponde a vazão de 47,9 L/s, sendo essa a vazão mais próxima e imediatamente superior a vazão existente no local de 160 m<sup>3</sup>/h que equivale a 44,44 L/s. Com estes valores em mãos utilizou-se uma planilha eletrônica para calcular o diâmetro pela equação da continuidade com uma velocidade máxima admitida pela equação 27 e chegar aos resultados apresentados nos quadros 8 e 9.

**Quadro 8 – Diâmetro obtido com a equação da continuidade para tubulação de ferro fundido**

Ferro fundido		
Variável	Valor	Unidade
V	0,980	m/s
Q	0,044	m <sup>3</sup> /s
D	0,240	m
	240	mm

**Fonte: Autor (2021).**

**Quadro 9 – Diâmetro obtido com a equação da continuidade para tubulação de PVC**

PVC		
Variável	Valor	Unidade
V	0,980	m/s
Q	0,044	m <sup>3</sup> /s
D	0,240	m
	240	mm

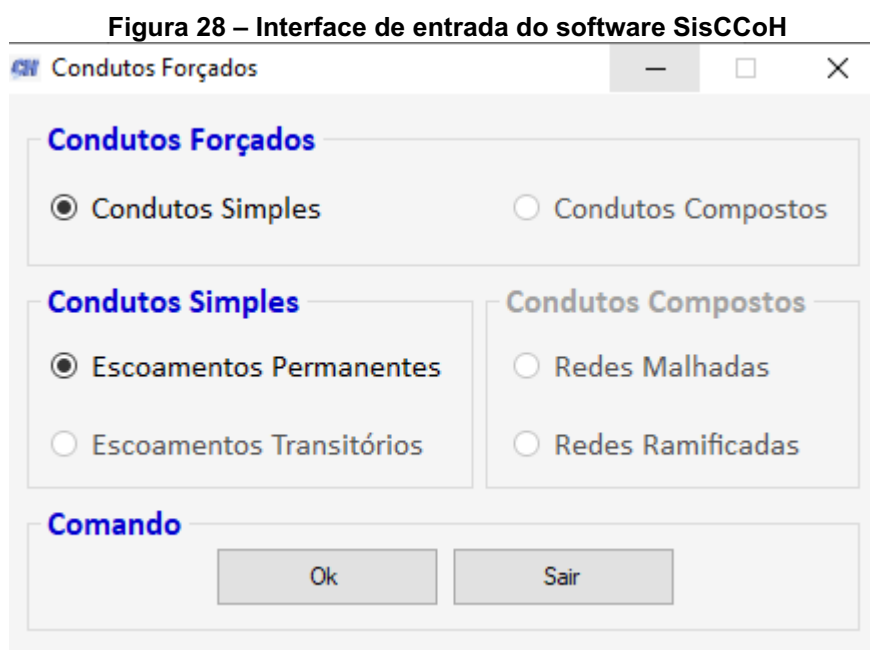
**Fonte: Autor (2021).**

Sendo assim foi obtido o mesmo valor de diâmetro para as duas partes da adutora, onde tanto o segmento de ferro fundido quanto o de PVC precisariam de no mínimo 240 mm, de acordo com este método, o que em termos práticos resultaria na adoção de um diâmetro de 250mm para os dois trechos, por ser este o diâmetro comercial mais próximo e imediatamente superior.

Logo é visível que este método até resulta em valores coincidentes com o projetado e executado pelo projeto da companhia de saneamento, para a parte de ferro fundido da canalização, mas chega em valores diferentes para o segundo trecho. Estes resultados indicam que a adutora provavelmente teve seu diâmetro escolhido a partir da equação de Bresse.

#### 4.1.2 Perda de carga ao longo da canalização

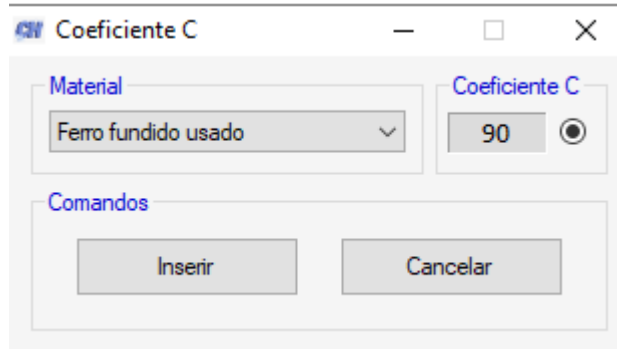
Para calcular as perdas de carga foi utilizado o software SisCCoH 1.1 tanto no dimensionamento com a equação de Hazen-Williams quanto pela equação universal. E em ambos os casos interface de entrada foram marcadas as mesmas opções de “conduto simples” e “escoamento permanente”, como representado na Figura 28.



Fonte: modificado pelo autor (2021).

Na segunda interface começou-se os cálculos de fato, onde foi possível escolher entre a equação de Hazen-Williams e a equação de Darcy-Weisbach. Primeiramente o dimensionamento foi feito a partir da equação de Hazen-Williams separando a adutora em dois trechos devido a diferença de material que há entre eles, como o diâmetro já foi calculado anteriormente e a vazão é conhecida, foi solicitado ao software que calculasse a velocidade de escoamento e a perda de carga unitária, desta forma o programa solicita como dados de entrada a vazão, o diâmetro e o coeficiente C, no entanto o próprio software tem um banco de dados de alguns coeficientes mais usuais, onde abre-se uma nova interface para escolher o tipo de material do conduto, e seguinte indicação de um coeficiente C pelo próprio programa, como ilustrado na Figura 29.

**Figura 29 – Interface do coeficiente C do software SisCCoH**




Fonte: autor (2021).

Com isso retorna-se a interface anterior com os dados da vazão e diâmetro para solicitar ao software a realização dos cálculos, como mostra a Figura 30.

**Figura 30 – Interface da equação de Hazen-Williams do software SisCCoH**

**Fórmula para cálculo da perda de carga:**

Hazen Williams 

Universal

**Variáveis a serem calculadas:**

Velocidade e Perda de Carga Unitária  Vazão e Velocidade


Diâmetro e Perda de Carga Unitária  Diâmetro e Velocidade

Vazão e Perda de Carga Unitária  Vazão e Diâmetro

**Dados necessários:**

Vazão (m<sup>3</sup>/s)

Diâmetro (m)

Coeficiente C  

**Comandos**

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Em seguida, basta clicar na opção “resultados” que o software apresenta os valores calculados e dará a opção de inserir o comprimento total da tubulação para chegar na perda de carga total, como apresenta a Figura 31.

Figura 31 – Interface de resultados da equação de Hazen-Williams no software SisCCoH

Escoamento Permanente - Conduitos Simples

Dados Resultados Relatório

**Resultados:**

Fórmula utilizada	Hazen-Williams
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,25
Coeficiente C	90
Velocidade (m/s)	0,9054148
Perda de Carga Unitária	0,006951644

**Perda de Carga por Trecho**

Comprimento (m)    $\Delta h$

**Comandos**

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Por fim basta apenas selecionar a opção relatório para o programa gerar um relatório final com todos os resultados, sendo ainda possível exportar este relatório para o software de planilhas eletrônicas Excel, como representado na Figura 32.



Figura 32 – Relatório final do cálculo com a equação de Hazen-Williams no trecho de ferro fundido no software SisCCoH

The screenshot shows the 'Relatório' (Report) tab of the 'Escoamento Permanente - Conduitos Simples' software. The report is titled 'SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos' and 'Escoamento Permanente - Conduitos Simples'. It contains two tables: one for input data and one for results.

Relatório:	
SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos	
Escoamento Permanente - Conduitos Simples	
Vazão (m³/s)	0,044444444
Diâmetro (m)	0,25
Coefficiente C	90
<b>Resultados</b>	
Fórmula utilizada	Hazen-Willia
Vazão (m³/s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,25
Coefficiente C	90
Velocidade (m/s)	0,9054148
Perda de Carga Unitária (m/m)	0,006951644
Comprimento (m)	2050,5
Perda de Carga	14,25

Below the report, there are two buttons: 'Exportar para Excel' and 'Terminar'.

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Em seguida o mesmo procedimento foi realizado para o segundo trecho da adutora feito de PVC, com 200mm de diâmetro e com a mesma vazão do trecho anterior e 2579m de extensão, obtendo assim os resultados ilustrados pela Figura 33.

Figura 33 – Relatório final do cálculo com a equação de Hazen-Williams no trecho de PVC no software SisCCoH

The screenshot shows the 'Relatório' (Report) tab of the 'Escoamento Permanente - Condutos Simples' window. The report is titled 'SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos' and 'Escoamento Permanente - Condutos Simples'. It contains two tables: one for input data and one for results.

Dados	
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,044444444
Diâmetro (m)	0,2
Coefficiente C	140

Resultados	
Fórmula utilizada	Hazen-Willia
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,2
Coefficiente C	140
Velocidade (m/s)	1,414711
Perda de Carga Unitária (m/m)	0,009100202
Comprimento (m)	2579
Perda de Carga	23,47

At the bottom of the report, there are two buttons: 'Exportar para Excel' and 'Terminar'.

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Desta forma ao somar-se as perdas dos dois trechos chega-se em uma perda de carga total de 37,72m.

Para o cálculo a partir da equação universal o procedimento realizado foi muito semelhante, visto que na interface de entrada foram selecionadas as mesmas opções de “conduto simples” e “escoamento permanente”, e na segunda interface ao selecionar a equação universal, também foi solicitado o cálculo da velocidade e da perda de carga, o programa por sua vez novamente solicitou a inserção da vazão e do diâmetro, no entanto desta vez o software solicita a entrada da aspereza relativa do material e da viscosidade cinemática do fluido, todavia assim como no caso do coeficiente C, também é possível obter esses valores no banco de dados do próprio programa, em outras duas interfaces, como apresentado pelas Figuras 34 e 35.

Figura 34 – Interface de aspereza relativa no software SisCCoH

Aspereza Relativa

Características da tubulação

Tubos de aço, juntas soldadas, interior contínuo

Tubos de concreto

Tubos de Cimento amianto

Tubos de ferro fundido

Latão, cobre, chumbo

Alumínio

Tubos de plástico - PVC

Características intrínsecas

Ferro fundido com depósito

Rugosidade "e" (mm)

Mínimo : 1

Usual : 2

Máximo : 4

Comandos

Inserir

Cancelar

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Para os dois trechos foi escolhido a rugosidade usual.

Figura 35 – Interface de aspereza relativa no software SisCCoH

Viscosidade Cinemática

Temperatura

10

Viscosidade Cinemática

1,31E-06

Comandos

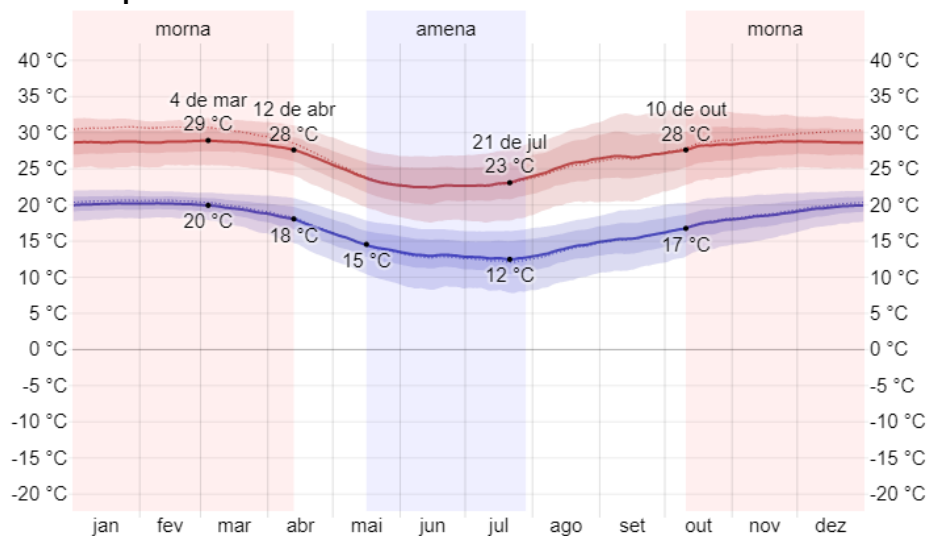
Inserir

Cancelar

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Para a viscosidade cinemática foi escolhido uma temperatura em torno de 10°C, pois de acordo com o site Weather Spark as temperaturas mínimas atingidas durante o ano no município de Cidade do Estado do Paraná ficam em torno de 12°C, como mostra a Figura 36, desta forma, foi considerado o pior caso possível, para se ter um dimensionamento a favor da segurança, e levando em conta que o software só apresenta opções de temperatura a cada 10°C, a opção escolhida foi a de 10°C.

**Figura 36 – Temperaturas máximas e mínimas médias em Cidade do Estado do Paraná**



Fonte: Weather Spark (2021).

Em seguida, assim como no dimensionamento anterior abriu-se a interface de resultados onde foi inserido o comprimento da tubulação para obtenção da perda de carga total do trecho, como representado pela Figura 37.

**Figura 37 – Interface de resultados da equação universal no software SisCCoH**

Escoamento Permanente - Conduitos Simples

Dados Resultados Relatório

**Resultados:**

Fórmula utilizada	Universal
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,25
Aspereza Relativa (mm)	0,002
Viscosidade Cinemática	1,31E-06
Velocidade (m/s)	0,9054148
Perda de Carga Unitária	0,00594515
Coefficiente f	0,03557

**Perda de Carga por Trecho**

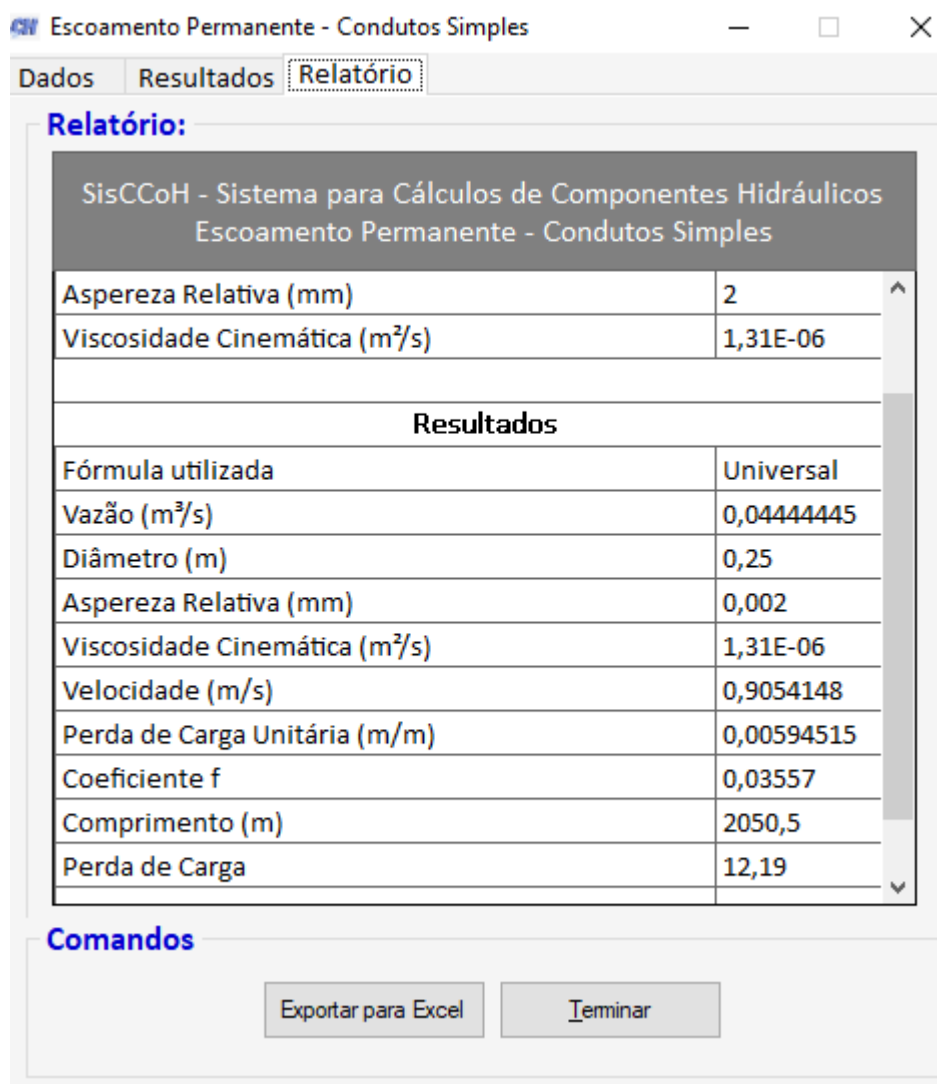
Comprimento (m)    $\Delta h$

**Comandos**

Fonte: modificado pelo autor (2021)

Da mesma maneira que no dimensionamento anterior foi solicitado ao software o relatório final dos resultados obtidos, como mostra Figura 38.

**Figura 38 – Relatório final do cálculo com a equação universal no trecho de ferro fundido no software SisCCoH**



**Relatório:**

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos  
Escoamento Permanente - Condutos Simples

Aspereza Relativa (mm)	2
Viscosidade Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,31E-06
<b>Resultados</b>	
Fórmula utilizada	Universal
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,25
Aspereza Relativa (mm)	0,002
Viscosidade Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,31E-06
Velocidade (m/s)	0,9054148
Perda de Carga Unitária (m/m)	0,00594515
Coefficiente f	0,03557
Comprimento (m)	2050,5
Perda de Carga	12,19

**Comandos**

Exportar para Excel    Terminar

Fonte: modificado pelo autor (2021).

Posteriormente o mesmo processo foi feito para a parte de PVC da adutora, que tem um comprimento de 2579m, 200mm de diâmetro e vazão igual ao trecho de ferro fundido, desta forma chegou-se aos resultados apresentados pela Figura 39.

Figura 39 – Relatório final do cálculo com a equação universal no trecho de PVC no software SisCCoH

The screenshot shows the 'Relatório' (Report) tab of the SisCCoH software. The report is titled 'SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos' and 'Escoamento Permanente - Condutos Simples'. It displays input data and a table of results.

**Relatório:**

SisCCoH - Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos  
Escoamento Permanente - Condutos Simples

Aspereza Relativa (mm)	0,035
Viscosidade Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,31E-06
<b>Resultados</b>	
Fórmula utilizada	Universal
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,04444445
Diâmetro (m)	0,2
Aspereza Relativa (mm)	3,5E-05
Viscosidade Cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,31E-06
Velocidade (m/s)	1,414711
Perda de Carga Unitária (m/m)	0,008542951
Coefficiente f	0,01675
Comprimento (m)	2579
Perda de Carga	22,03

**Comandos**

Exportar para Excel    Terminar

Fonte: modificado pelo Autor (2021).

Logo, realizando a soma das perdas de carga total dos dois trechos chega-se a uma perda total de 34,22m, com isso nota-se uma diferença de 3,5m no valor final da perda de carga total entre os dois modelos matemáticos. O fato da equação de Hazen-Williams resultar em uma perda de carga maior que a equação universal, indica uma segurança maior neste método, o que justifica o fato da maioria dos profissionais de engenharia que trabalham na área da hidráulica optarem por utilizar este modelo.

#### 4.1.3 Perda de carga por peças

Para o cálculo das perdas de carga localizadas foram ignoradas as ventosas e válvulas de descarga, visto que estas peças têm perdas de carga muito próximas de cano retilíneo, pois as válvulas estão todas localizadas na saída lateral de um “T”, e só geram perdas quando estão abertas, porém esta situação só é vista quando o sistema de condução da água não está em funcionamento, logo trata-se de um cenário que não se aplica à análise aqui realizada. Desta maneira as únicas perdas de carga localizadas a serem calculadas são as perdas relativas as curvas.

Desta forma para realização dos cálculos da perda de carga pelo coeficiente K, foram utilizados os valores do Quadro 2, no entanto o mesmo não continha o valor deste coeficiente para uma curva de  $11^{\circ}15'$ , sendo assim observou-se que conforme a angulação das curvas vai diminuindo pela metade o coeficiente K segue o mesmo comportamento, portanto o coeficiente K adotado para esta curva foi metade do valor que o Quadro 2 traz para a curva de  $22^{\circ}30'$ .

Para as duas partes do conduto foi utilizada a mesma vazão de  $160\text{m}^3/\text{h}$ , e o valor da aceleração da gravidade foi aproximado para  $9,81\text{m}/\text{s}^2$ . Como os condutos têm diâmetros distintos, chegou-se aos valores  $0,905\text{m}/\text{s}$  para a canalização de ferro fundido de 250mm e  $1,415\text{m}/\text{s}$  para o trecho de PVC de 200mm. Tendo estes valores em mãos utilizou-se uma planilha eletrônica para realizar a equação 7, como mostra os Quadros 10 e 11.

**Quadro 10 – Perda de carga localizada pelo coeficiente K no trecho de ferro fundido**

Ferro fundido de 250mm			
Peças	Quantidade	K	hf (m)
Curva de $11^{\circ}15'$	1	0,05	0,002
Curva de $22^{\circ}30'$	4	0,1	0,017
Curva de $45^{\circ}$	1	0,2	0,008

Fonte: modificado pelo Autor (2021).

**Quadro 11 – Perda de carga localizada pelo coeficiente K no trecho de PVC**

PVC de 200mm			
Peças	Quantidade	K	hf (m)
Curva de 11°15'	2	0,05	0,010
Curva de 22°30'	1	0,1	0,010
Curva de 45°	1	0,2	0,020
Curva de 90°	3	0,4	0,122

Fonte: modificado pelo Autor (2021).

Com isso tem-se por este método uma perda de carga total de 0,19m.

Para descobrir as perdas de carga localizadas pelo método dos comprimentos equivalentes, utilizou-se as mesmas velocidades supracitadas, e a mesma viscosidade cinemática e as rugosidades relativas fornecida pelo software SisCCoH no cálculo das perdas de carga unitária com a equação universal.

Tendo a viscosidade os diâmetros e velocidades utilizou-se a equação 4 para descobrir o número de Reynolds para cada trecho da canalização. Em seguida o número de Reynolds e a rugosidade relativa de cada conduto serviram para descobrir o fator de atrito de cada trecho, com o auxílio do site de engenharia de Michael Maley, obtendo assim os resultados apresentados pelos Quadros 12 e 13.

**Quadro 12 – Parâmetros utilizados no cálculo das perdas de carga localizadas por comprimento equivalente no trecho de ferro fundido**

D	250	mm
U	0,905	m/s
v	0,00000131	m <sup>2</sup> /s
Re	172789	
rugosidade	0,002	m
f	0,0244	

Fonte: Autor (2021).



**Quadro 13 – Parâmetros utilizados no cálculo das perdas de carga localizadas por comprimento equivalente no trecho de PVC**

D	200	mm
U	1,414	m/s
v	0,00000131	m <sup>2</sup> /s
Re	215986	
rugosidade	0,000035	m
f	0,0157	

Fonte: Autor (2021).

O passo seguinte foi utilizar a equação 8 para obter as perdas de carga, onde foram considerados os comprimentos equivalentes referentes a Tabela A-7.8.13-a de Azevedo Netto (2015), com os resultados mostrados pelos Quadros 14 e 15.

**Quadro 14 – Perda de carga localizada pelos comprimentos equivalentes no trecho de ferro fundido**

Ferro fundido de 250mm			
Peças	Quantidade	Comprimento equivalente	hf (m)
Curva de 11°15'	1	3,75	0,015
Curva de 22°30'	4	3,75	0,061
Curva de 45°	1	3,75	0,015
			0,092

Fonte: Autor (2021).

**Quadro 15 – Perda de carga localizada pelos comprimentos equivalentes no trecho de PVC**

PVC de 200mm			
Peças	Quantidade	Comprimento equivalente	hf (m)
Curva de 11°15'	2	3	0,048
Curva de 22°30'	1	3	0,024
Curva de 45°	1	3	0,024
Curva de 90°	3	6	0,144
			0,240

Fonte: Autor (2021).

Portanto chegou-se a uma perda de carga total por peças de 0,332m, valor consideravelmente maior que o obtido pelo método anterior de 0,19m. Essa notável diferença se dá principalmente pelo fato do método do coeficiente K não levar em consideração o diâmetro das peças. No entanto, ainda que não considere o diâmetro e resulte em perdas muito pequenas este modelo matemático é o mais utilizado no dimensionamento de adutoras, enquanto o método dos comprimentos equivalentes é mais indicado para instalações hidrossanitárias, visto que, nestas instalações as perdas de carga localizadas representam uma parcela muito significativa da perda total, sendo em muitos casos até superior as perdas distribuídas, e isso se deve ao

fato de que em instalações hidrossanitárias tem-se muitas peças em um curto espaço, enquanto que nas adutoras existem poucas peças em um longo trecho de conduto, fazendo com que em muitos casos estas perdas localizadas sejam desprezadas.

#### 4.1.4 Dimensionamento do conjunto motobomba

O dimensionamento do conjunto motobomba infelizmente não pode ser realizado, visto que, a única informação obtida a respeito das bombas foi a potência de 50CV de cada motor.

#### 4.1.5 Cálculo do transiente hidráulico

Para descobrir quantos metros de coluna d'água são gerados pelo golpe de aríete foram realizados os cálculos propostos no capítulo 2.3, porém, diferentemente dos demais cálculos este foi realizado apenas para o trecho de ferro fundido, pois é esta parte da canalização que sofre o impacto dos ligamentos e desligamentos das bombas, visto que uma caixa de passagem separa este trecho da parte de PVC da adutora, fazendo com que esta segunda parte esteja sujeita ao escoamento por gravidade, sem sofrer os golpes gerados pelo conjunto moto bomba.

Seguindo a metodologia proposta no capítulo 2.3, foi considerado uma manobra rápida, pois este seria o pior cenário, visto que não foi informado o tempo, da manobra, com isso chegou-se aos seguintes resultados apresentados pelo Quadro 16.

**Quadro 16 – Resultados do transitório hidráulico**

K	1	
D	0,25	m
e	0,004	m
C	940,51	m/s
L	2050,5	m
$\tau$	4,36	s
g	9,81	m/s <sup>2</sup>
v	0,905	m/s
ha	86,77	m.c.a.

Fonte: Autor (2021).

Desta forma é possível notar que a maior pressão à qual o sistema está sujeito decorre do golpe de aríete, e não do recalque da bomba, evidenciando a importância de verificar e especificar as tubulações para que resistam as pressões máximas, ou ainda prever a necessidade de uma estrutura de proteção ao sistema como um RHO (reservatório hidropneumático).

No caso da adutora estudada foi necessário escolher um RHO que suporte 90m.c.a., pois este é o tamanho comercial mais próximo e imediatamente superior ao valor calculado. Este valor coincide com o RHO que opera atualmente na adutora como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Medidor do RHO



Fonte: Autor (2021).

## 5 CONCLUSÃO

Ao dimensionar a adutora foi possível notar a complexidade de um projeto assim, devido as diversas variáveis que devem ser levadas em conta em todos os cálculos, no entanto, as maiores dificuldades encontradas foram por questões burocráticas para realização de visita in loco e obtenção de dados da adutora.

No entanto foi observado nitidamente como um mesmo problema de engenharia é visto de diversas maneiras distintas por profissionais diferentes, ainda mais quando estes atuam em setores diferentes como o caso da comparação entre os professores e engenheiros que atuam na área da hidráulica.

Quanto ao comparativo entre as equações de Darcy - Weisbach e Hazen - Williams, a segunda equação parece ser uma maneira mais segura de dimensionamento, mesmo sendo limitada à água. Este fato se deve a maneira como este método foi desenvolvido, partindo de observações empíricas. Entretanto não seria correto dizer que um modelo é melhor ou pior que o outro, mas sim que são maneiras diferentes de solucionar um mesmo problema. O método proposto por Darcy - Weisbach leva o nome de equação universal pela sua vasta aplicabilidade para qualquer fluido.

A principal dificuldade enfrentada no início do dimensionamento foi a quanto a dados de projeto, principalmente a vazão a ser considerada, visto que não foi possível saber qual a parcela da população é abastecida por essa adutora. Desta maneira foi utilizada como forma de segurança para os cálculos uma vazão teórica.

O fato de a canalização ser dividida em dois trechos de materiais diferentes também possibilitou ver como há diferença no escoamento nos tubos de materiais distintos, principalmente pela diferença de rugosidade que há entre o PVC e o ferro fundido. Outra diferença notável foi como apenas a troca de material resulta em diferentes diâmetros para um mesmo escoamento, devido a viscosidade.

No cálculo do diâmetro foi possível notar como fatores econômicos norteiam as escolhas na engenharia, sendo isso confirmado com o fato de 63% dos entrevistados escolherem a equação de Bresse para o dimensionamento do diâmetro de um conduto forçado. Todavia, como se trata de um projeto do século passado, estes valores a serem considerados no cálculo do diâmetro por Bresse não puderam ser considerados, pois os valores atuais provavelmente resultariam em diâmetros muito diferentes. Com isso foi possível entender por que alguns profissionais

afirmaram utilizar valores tabelados do coeficiente K neste dimensionamento, e também porque outros profissionais disseram que utilizam este método matemático apenas como um pré-dimensionamento.

Outro fato notável foi a diferença entre os resultados obtidos pelas duas equações no dimensionamento do diâmetro para a canalização de PVC, onde foi possível entender por que alguns chamam o modelo de Bresse de método do diâmetro econômico, pois este resultou em um diâmetro menor que a equação da continuidade com uma velocidade máxima sugerida, com as mesmas condições de escoamento, portando um diâmetro mais barato.

Apesar de não ter a mesma dificuldade de encontrar valores econômicos de 1998 que foi encontrada no dimensionamento pela equação de Bresse, a grande dificuldade encontrada ao se utilizar o método da velocidade máxima admitida foi não ter conhecimento sobre a vazão de projeto utilizada pelos engenheiros da COMPANHIA DE SANEAMENTO.

Quanto aos fatores que influenciam na escolha de um diâmetro em um conduto forçado, estes dependem diretamente do método de dimensionamento, visto que a equação da continuidade leva em conta apenas parâmetros geométricos da canalização e fatores do escoamento, enquanto a formulação elaborada por Bresse tem como principal fator o preço dos tubos, além de também considerar a vazão.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Marcelo. **Aquedutos e Pontes**. Disponível em: <<https://historiaartearquitetura.com/2017/02/15/aquedutos-e-pontes/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12215-1: **Projeto de adutora de água, Parte 1: Conduto forçado**. Rio de Janeiro, 2017.
- AZEVEDO NETTO, José M. de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos da engenharia hidráulica**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.
- BONEY, Henrique. **Como Criar Curvas de Nível para Google Earth e Outros Programas**. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=8YGqa1G60k8&ab\\_channel=EPAEscolaPaulistaDeAventuras](https://www.youtube.com/watch?v=8YGqa1G60k8&ab_channel=EPAEscolaPaulistaDeAventuras)>. Acesso em: 12 de nov. 2021.
- BRASIL, Alex N. **Hidráulica Básica e Máquinas de Fluxo**. Disponível em: <<http://www.alexbrasil.com.br/diretorio/engenharia-mecanica-maquinas-de-fluxo-capitulos-da-apostila-2018.html>>. Acesso em: 20 out. 2020.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA INGRAÇÃO NACIONAL (MIN). **Diretrizes Ambientais para Projeto e Construção de Sistemas de Captação, Tratamento e Adução de Água**. Disponível em: <[http://bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/services/e-books-MS/sistemas\\_captacao.pdf](http://bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/services/e-books-MS/sistemas_captacao.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2020.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/Manual%20de%20Saneamento.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CAETANO. **Pecas de Intervenção e Montagem**. Disponível em: <<https://caetano.com.br/site/conteudo/produtos/linha-ferro-fundido/industria/efluente/pecas-de-intervencao-e-montagem>>. Acesso em 17 out. 2020.
- CÂMARA MUNICIPAL DE CIDADE DO ESTADO DO PARANÁ. **Município de Cidade do Estado do Paraná**. Disponível em: <<https://www.cmrolandia.pr.gov.br/?pag=T1RjPU9EZz1PVFU9T0dVPU9HST1PVEE9T0dFPU9HRT0=&idmenu=214>>. Acesso em: 28 set. 2021
- Cedae (Companhia Estadual de Água e Esgoto do Rio de Janeiro). **Estações de Tratamento do Guandu e Laranjal**. Disponível em: <[https://www.cedae.com.br/estacoes\\_tratamento](https://www.cedae.com.br/estacoes_tratamento)>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- CHADWICK, Andrew; MORFETT, John; BORTHWICK, Martin. **Hidráulica para engenharia civil e ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

CHROMA. **Adutora do São Francisco** – Malha dos Bois/SE. Disponível em: <<http://chroma.com.br/adutora-do-sao-francisco-malhada-dos-boisse/>>. Acesso em: 02 set. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO. **Diretrizes Ambientais para Elaboração de Estudos de Disponibilidade Hídrica de Mananciais Sistema de Abastecimento de Água**. Disponível em: <[https://site.Companhia de Saneamento.com.br/sites/site.Companhia de Saneamento.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2018/modulo\\_12.2 - diretrizes ambientais - disponibilidade hidrica saa.pdf](https://site.Companhia de Saneamento.com.br/sites/site.Companhia de Saneamento.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2018/modulo_12.2_-_diretrizes_ambientais_-_disponibilidade_hidrica_saa.pdf)> Acesso em: 20 de out. 2021.

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2021.

F. MASTER SISTEMAS DE MEDIÇÃO LTDA. **Placa de Orifício**. Disponível em: <<https://flowmaster.com.br/produto/placa-de-orificio/>>. Acesso em 17 out. 2020.

FGS BRASIL (Georg Fischer). **Tubo PEAD para Água – Adutoras**. Disponível em: <<https://fgsbrasil.com.br/produto/tubo-pead-para-adutoras/>>. Acesso em: 05 set. 2020.

FREIRE, Paula K. C. **Estudo Comparativo Entre Metodologias de Dimensionamento Econômico de Adutoras**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2000.

FlowMaster (Optimized Metering Solutions). Disponível em: <https://www.flowmaster.com.br/produtos>. Acesso em: 05 set. 2020.

GOMES, Heber Pimentel; CARVALHO, Paulo Sérgio O. **Sistemas de bombeamento: eficiência energética**. 1. ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2009.

HIGA, Carlos César. **Império Romano**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/historiageral/imperio-romano.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Conheça Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 21 out. 2020.

IZOLA, Dawson Tadeu. **Práticas de laboratório: mecânica dos fluidos**. 1. ed. Araras, SP: Fundação Hermínio Ometto-FHO/CEMAD, 2020. 59p. il

JACOB, Ana Carolina P. **Um Panorama Histórico da Engenharia Hidráulica**. Disponível em: <<https://www.aquafluxus.com.br/um-panorama-historico-da-engenharia-hidraulica/?lang=en>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

Kimball, Spencer. **O Escândalo que Levou uma Cidade dos EUA a Beber Água com Chumbo**. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/o-esc%C3%A2ndalo-que-levou-cidade-dos-eua-a-beber-%C3%A1gua-com-chumbo/a-18998930>>. Acesso em: 23 ago. 2020.

LIEBMANN, Hans. **Terra um planeta inabitável?: da antiguidade até os nossos dias, toda a trajetória poluidora da humanidade**. Tradução de Flávio Meurer. 1. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1979.



LIMA, Francisca D. G. **Investigação Experimental e Numérica Sobre Interações Entre Ar e Água Durante o Enchimento de Adutoras**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

MARIANO, João C. **Adutoras Puras e Mistas** – Análise Técnico-económica. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Especialização em Construção Urbana, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2014.

MICHAEL MALEY'S ENGINEERING SITE. **Moody Chart Calculator**. Disponível em: <[http://www.advdelphisys.com/michael\\_maley/moody\\_chart/](http://www.advdelphisys.com/michael_maley/moody_chart/)>. Acesso em: 20 de out. 2021.

NASCIMENTO, Evandro C. **A Canalização da Água em Paranaguá, 1914**. Disponível em: <<https://folhadolitoral.com.br/colunistas/instituto-historico-e-geografico-de-paranagua/a-canalizacao-da-agua-em-paranagua-1914/>>. Acesso em: 20 set. 2020.

PAM, Saint Gobain. **Casos de Sucesso**. Disponível em: <<https://www.sgpam.com.br/referencias/casos-de-sucesso>>. Acesso em: 02 set. 2020.

PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **Atualização das Normas Técnicas Brasileiras de Tubos e Poços de Visita em Concreto**. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/normas-tubos-pocos-visita-concreto/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

PREFEITURA DE SOROCABA. **Saae-Sorocaba Reforça Proteção às Adutoras com Trocas de Dispositivos**. Disponível em: <<http://agencia.sorocaba.sp.gov.br/saae-sorocaba-reforca-protacao-as-adutoras-com-trocas-de-dispositivos/>>. Acesso em 17 out. 2020.

QGIS Development Team, 2020.

RODRIGUES, Cibele M. **Adutoras da cidade de Porto Alegre: Uma análise de registros de dados de serviços de conservação**. 143 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SILVA, Francinaldo de B. **O sistema de abastecimento d'água da cidade de Santa Rita – PB**. 58 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016

SILVA, Andrea F. **Quantificação da Perda de Carga em Conexões de PVC Soldável: Determinação dos Coeficientes K e Comprimentos Equivalentes**. 84 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2016.

SISCCOH (System for Calculations of Hydraulic Components). Versão 1.1. Pimenta de Ávila Consultoria LTDA/ Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em <https://www.pimentadeavila.com.br/sisccoh/>. Acesso em 10/04/2019.

TIGRE. **Tubo DEFoFo MPVC**. Disponível em: <<https://export.tigre.com/pt-br/produto/tubo-defofo-mpvc>>. Acesso em: 03 set. 2020.

TIGRE. **Tubo PBA 20 JEI**. Disponível em: <<https://export.tigre.com/pt-br/produto/tubo-pba-20-jei#search>>. Acesso em: 04 set. 2020.

TIGRE. **Válvula de Pé com Crivo – Válvula de Sucção**. Disponível em: <<https://export.tigre.com/pt-br/produtos/obras-e-reformas/valvulas/valvula-pe-de-crivo-valvula-de-succao>>. Acesso em: 15 out. 2020.

TIGRE. **Válvula de Pé com Crivo Roscável**. Disponível em: <<https://export.tigre.com/pt-br/produto/valvula-de-pe-com-crivo-roscavel>>. Acesso em: 07 out. 2020.

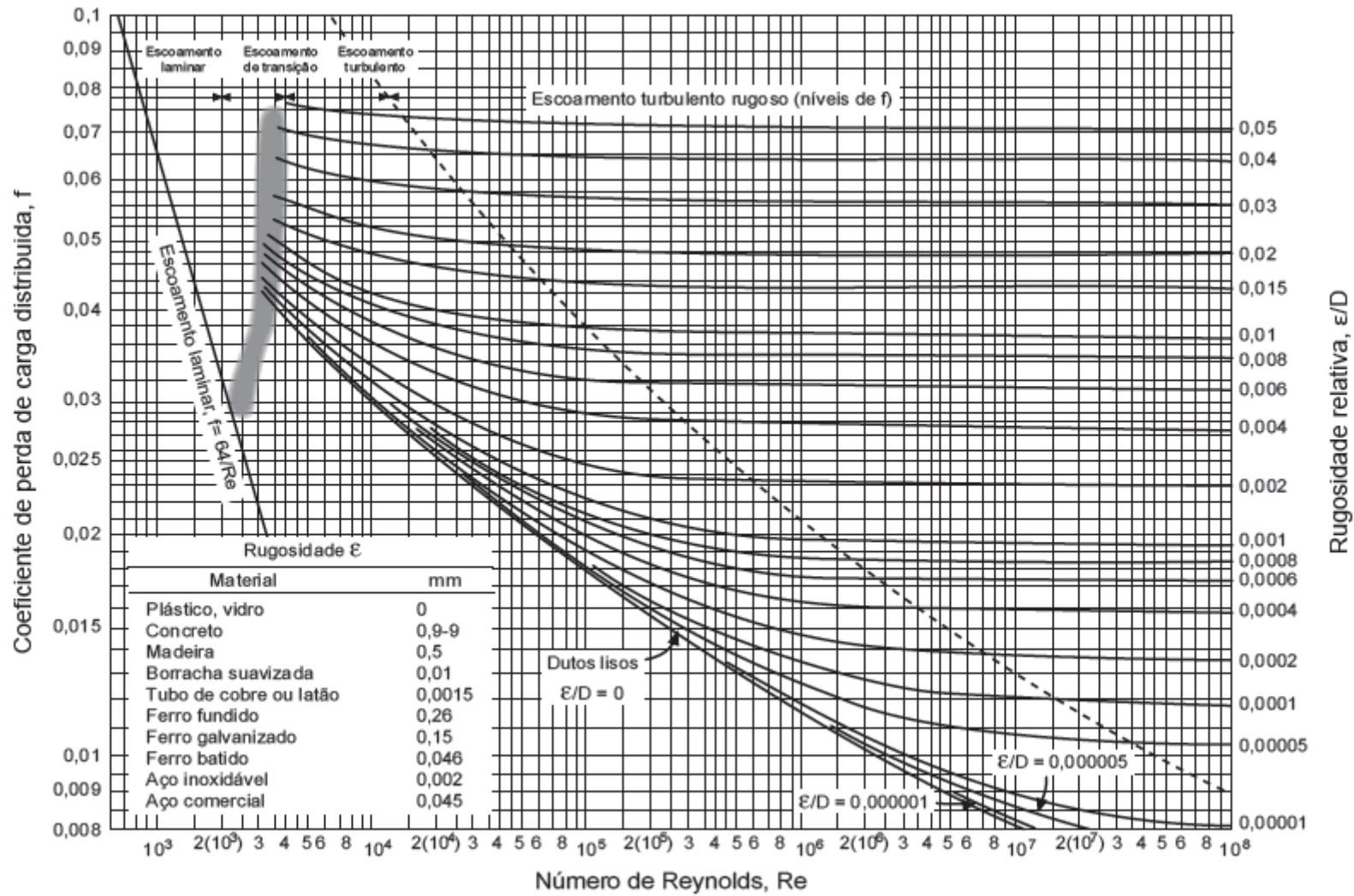
UNI TUBOS COMERCIAL LTDA. **Fabricante de Válvula de Gaveta Ferro Fundido**. Disponível em: <<https://www.unituboscomercial.com.br/fabricante-valvula-gaveta-ferro-fundido>>. Acesso em 17 out. 2020.

USGS (Science For Changing Word). **Earth Explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 de nov de 2021.

VEJA. Redação. EUA: **queixas contra acusados por crise de água contaminada são retiradas**. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/mundo/eua-queixas-contra-acusados-por-crise-de-agua-contaminada-sao-retiradas/>>. Acesso em: 07 out. 2021.

WEATHER SPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Cidade do Estado do Paraná no ano todo**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29733/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Rol%C3%A2ndia-Brasil-durante-o-ano>> Acesso em: 20 de out.

## **ANEXO A – Gráfico Diagrama de Moody**



Fonte: Izola (2020)