



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE RUSSAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**PAULO HENRIQUE FRAGOSO FERREIRA**

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS**

**RUSSAS**  
**2019**

PAULO HENRIQUE FRAGOSO FERREIRA

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial à obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.

RUSSAS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F443d Ferreira, Paulo.

Dimensionamento hidráulico de uma estação de tratamento de efluentes industriais / Paulo Ferreira. – 2019.

52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2019.

Orientação: Profª. Dra. Sílvia Teles Viana.

1. Dimensionamento Hidráulico. 2. Bombas Hidráulicas. 3. Estação de Tratamento de Efluentes. I. Título.

CDD 620.

---

PAULO HENRIQUE FRAGOSO FERREIRA

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial à obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

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

---

Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Maria do Céu e Assis.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a vida, força para superar os momentos difíceis e a oportunidade de melhorar a cada dia.

A minha família, por ter acreditado em mim e ter feito tudo que estivesse ao seu alcance para que eu pudesse chegar até aqui, por todo apoio, ensinamentos e amor, em especial, minha mãe, por ser um exemplo de garra e perseverança, por ter me dado forças e conselhos nos momentos difíceis, e meu pai, por ter me ensinado a sonhar grande e a lutar pelos meus sonhos.

A minha namorada, por todo apoio, paciência e carinho dado.

Aos meus amigos, pelos momentos vividos, experiências transmitidas, apoio fornecido e desafios aceitos.

Aos meus professores, por todo conhecimento e apoio transmitido, em especial, minha orientadora, Profa. Dra. Silvia Teles Viana, por toda orientação, paciência e empenho dado; Prof. Dr. Camilo Costa, por ter me apresentado à área da mecânica de fluidos e por ter estimulado a me aprofundar na área; Prof. Dr. Cândido Lobo, por todas as oportunidades dadas, oportunidades essas que mudaram minha forma de pensar e expandiram meus horizontes; e aos professores da banca, Profa. Ms. Daniela Lima Machado da Silva e Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros, pelo seu tempo disponibilizado para leitura e participação da banca.

Ao Movimento Empresa Júnior, pela oportunidade única de ter aprendido ainda na universidade sobre gestão, empreendedorismo, liderança e propósito, e por ter feito eu me tornar o profissional que sou hoje.

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de ter cursado o curso dos meus sonhos, Engenharia Mecânica.

## RESUMO

A preocupação com o meio ambiente tem se tornado uma rotina das indústrias no geral, pois além de existir leis e resoluções que estabelecem padrões e punições referentes a atividades lesivas ao meio ambiente, essa preocupação se tornou um diferencial competitivo para as empresas. Entre essas preocupações, um das que mais se destacam é com o descarte de efluentes, pois é um dos parâmetros com maior visibilidade, assim o presente trabalho discorre acerca do dimensionamento hidráulico de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de uma indústria têxtil localizada em Pacajus/CE, no qual foi utilizada como base as equações fundamentais da mecânica dos fluidos e alguns critérios específicos para cada fluido em questão presente em cada tubulação com o intuito dos cálculos se aproximarem o máximo possível às condições sob as quais as tubulações estarão submetidas, sendo estas condições de operação e as condições do fluido. Assim, foi possível determinar o diâmetro e material de cada tubulação, e selecionar as bombas. Por fim, pode-se concluir que as especificações do dimensionamento estão coerentes com a realidade apresentada, por se tratar de medidas semelhantes a outros dimensionamentos já projetados.

**Palavras-chave:** Dimensionamento Hidráulico; Bombas Hidráulicas; Estação de Tratamento de Efluentes.

## ABSTRACT

Concern for the environment has become a routine for industries in general because, in addition to existing laws and resolutions that set standards and punishments for environmentally harmful activities, this concern has become a competitive differentiator for companies. Among these concerns, one of the most prominent is the disposal of wastewater, as it is one of the most visible parameters, so the present work discusses the hydraulic sizing of an Industrial Effluent Treatment Plant of a textile industry located in Pacajus/CE, on which the fundamental equations of fluid mechanics and some specific criteria for each fluid in each pipe were used to approximate as closely as possible to the conditions under which the pipes will be subjected. These operating conditions and fluid conditions. Thus, it was possible to determine the diameter and material of each tube and select the pumps. Finally, it can be concluded that the sizing specifications are consistent with the reality presented, as these measurements are similar to other designs already performed.

**Keywords:** Hydraulic sizing; Hydraulic pumps; Effluent treatment plant.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comprimentos equivalente a perdas localizadas.....	25
Figura 2 - Ábaco de Moody.....	26
Figura 3 - Exemplo de ábaco de bombas.....	30
Figura 4 - Classificação das tubulações industriais.....	31
Figura 5 - Isométrico de uma tubulação .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimentos equivalentes para tubulações de aço galvanizado e ferro fundido..	24
Tabela 2 - Rugosidades das paredes dos tubos .....	27
Tabela 3 - Velocidade econômicas.....	28
Tabela 4 - Dados iniciais das tubulações .....	35
Tabela 5 - Dados iniciais das tubulações .....	36
Tabela 6 - Propriedades adotadas para os fluidos.....	37
Tabela 7 - Diâmetro das tubulações com escoamento forçado.....	42
Tabela 8 - Diâmetro das tubulações com escoamento forçado.....	43
Tabela 9 - Diâmetro das tubulações com escoamento por gravidade.....	43
Tabela 10 – Especificação das Bombas .....	44
Tabela 11 – Especificação das Bombas .....	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais recomendados para cada tipo de fluido.....	33
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CPVC	Cloreto de Polivinil Clorado
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$	Massa específica do fluido ( $kg/m^3$ )
$D$	Diâmetro interno da tubulação ( $m$ )
$v$	Velocidade do fluido ( $m/s$ )
$\mu$	Viscosidade dinâmica do fluido ( $kg/(m \cdot s)$ )
$Q$	Vazão ( $m^3/s$ )
$V_1$	Velocidade no ponto 1 ( $m/s$ )
$V_2$	Velocidade no ponto 2 ( $m/s$ )
$A_1$	Área do ponto 1 ( $m^2$ )
$A_2$	Área do ponto 2 ( $m^2$ )
$P_1$	Pressão estática no ponto 1 ( $Pa$ )
$P_2$	Pressão estática no ponto 2 ( $Pa$ )
$V_1$	Velocidade no ponto 1 ( $m/s$ )
$V_2$	Velocidade no ponto 2 ( $m/s$ )
$z_1$	Altura no ponto 1 ( $m$ )
$z_2$	Altura no ponto 2 ( $m$ )
$g$	Gravidade ( $m/s^2$ )
$h_L$	Perdas no sistema ( $m$ )
$h_{turbo\ maquina}$	Energia fornecida pela turbo maquinaria ( $m$ )
$h_f$	Perda de carga distribuída ( $m$ )
$f$	Coefficiente de atrito (adimensional)
$L$	Comprimento do conduto ( $m$ )
$k$	Rugosidade do contudo ( $m$ )
$K_{Williams-Hazen}$	Coefficiente de rugosidade modificado (adimensional)
$V$	Velocidade (pés/s)
$d$	Diâmetro interno (pés)
$J_f$	Perda de carga por 1000 pés de tubo (pés)
$L_{eq}$	Comprimento equivalente ( $m$ )
$K$	Coefficiente do acessório (adimensional)
$e$	Rugosidade ( $m$ )
$Re$	Número de Reynolds ( $m$ )

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>3.1</b>	<b>Estação de Tratamento de Efluentes</b> .....	16
<b>3.1.1</b>	<b>Legislação</b> .....	17
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamento de sistemas hidráulicos</b> .....	17
<b>3.2.1</b>	<i>Conceitos básicos</i> .....	17
<b>3.2.2</b>	<i>Número de Reynolds</i> .....	19
<b>3.2.3</b>	<i>Equações fundamentais</i> .....	19
<b>3.2.3.1</b>	<i>Equação da continuidade</i> .....	19
<b>3.2.3.2</b>	<i>Equação de Bernoulli</i> .....	20
<b>3.2.3.3</b>	<i>Equação da conservação de energia</i> .....	20
<b>3.2.4</b>	<i>Perdas de carga</i> .....	21
<b>3.2.4.1</b>	<i>Tipos de perdas de carga</i> .....	21
<b>3.2.4.1.1</b>	<i>Perdas de cargas ao longo dos condutos</i> .....	22
<b>3.2.4.1.2</b>	<i>Perdas de cargas localizadas</i> .....	23
<b>3.2.4.2</b>	<i>Coefficiente de atrito</i> .....	25
<b>3.2.4.2.1</b>	<i>Rugosidade</i> .....	26
<b>3.2.4.3</b>	<i>Velocidades econômicas</i> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Bombas hidráulicas</b> .....	28
<b>3.3.1</b>	<i>Bombas dinâmicas</i> .....	28
<b>3.3.2</b>	<i>Bombas de deslocamento positivo</i> .....	29
<b>3.3.3</b>	<i>Seleção de bombas</i> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Tubulações industriais</b> .....	30
<b>3.4.1</b>	<i>Materiais das tubulações industriais</i> .....	31

<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Coleta de dados e considerações</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Caracterização da empresa e do ambiente</i></b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Dados necessários ao dimensionamento</i></b> .....	<b>34</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Considerações</i></b> .....	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>Dimensionamento de bombas e tubulações</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Tubulações com escoamento forçado</i></b> .....	<b>38</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Tubulações com escoamento por gravidade</i></b> .....	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos futuros</b> .....	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>
	<b>ANEXO A – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS TUBULAÇÕES DE CPVC</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade tem feito parte do cotidiano das indústrias, sendo um exemplo de tal prática a preocupação recorrente com o impacto ambiental causado pelo descarte de efluentes no meio ambiente. Dessa forma, as indústrias têm apresentado um compromisso com o tratamento desses, proporcionando um descarte consciente de resíduos no meio ambiente.

Paralelo a este fato, a Resolução de nº 430/2011 da CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece que: “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições padrões e exigências dispostas nesta Resolução em outras normas aplicáveis” (Brasil, 2011).

O descumprimento dessa resolução pode resultar em punições de acordo com a lei de crimes ambientais, como multas e detenções, o que pode acabar por comprometer a imagem da empresa perante seus clientes e fornecedores, pois diversos clientes hoje exigem que seus fornecedores possuam certas certificações.

Assim, é indispensável que as empresas busquem descartar de forma correta os efluentes produzidos no seu processo industrial, para isso uma das etapas mais importantes do projeto de uma Estação de Tratamento de Efluentes é o dimensionamento hidráulico, ou seja, seleção de bombas e tubulações, pois ele pode corresponder até 20% do custo do projeto e é o elo de ligação entre as diversas partes do processo.

Nesta conjuntura, o presente trabalho discorre acerca do dimensionamento hidráulico de uma Estação de Tratamento de Efluentes, que receberá efluentes de diversas indústrias têxteis da cidade de Pacajus/CE, onde ocorrerá todo o processo biológico e físico-químico de decomposição dos componentes químicos antes que o fluido seja descartado no meio ambiente ou reaproveitado nos respectivos processos fabris. Essa estação foi projetada para receber até  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  de efluente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O foco do trabalho é o dimensionamento hidráulico das tubulações utilizando como base as equações gerais da mecânica dos fluidos, os ábacos dos fabricantes de bombas, os diversos estudos desenvolvidos ao longo dos anos a respeito do assunto e as considerações assumidas com base nos levantamentos feitos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Com base no objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Determinação dos materiais de cada tubulação;
- Dimensionamento do diâmetro das tubulações;
- Dimensionamento das bombas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Estação de Tratamento de Efluentes

Conforme Canal de Isabel II Gestión (2013), as estações de tratamento de efluentes consistem em uma série de processos que tem como objetivo tratar os efluentes, que são os despejos líquidos provenientes de processos industriais ou humanos, de forma a eliminar as impurezas destes, para que os mesmos possam ser reutilizados.

Os tratamentos de efluentes industriais estão diretamente ligados a preservação ambiental, sendo que estes envolvem a remoção de impurezas geradas na fabricação do produto de interesse de cada indústria (CRESPILHO et al., 2004 apud MARCONDES, 2012).

Aubert; Espadalé e Solé (1998) afirmam que as ETE's são geralmente compostas de 6 etapas:

- Recebimento do efluente: Tubulação que recebe os efluentes;
- Tratamento prévio: O principal objetivo dessa etapa é separar os sólidos com diâmetro superior a 200 mm do efluente, para isso uma série de etapas físicas e mecânicas são utilizadas. O segundo objeto é retirar os óleos e graxas da água residual.
- Decantação primária: Na terceira etapa, o efluente pode passar por processos de decantação ou físico-químico, as partículas com diâmetro maior que 100 mm são retiradas do processo, a essas substâncias retiradas dá-se o nome de lodos primários.
- Tratamento biológico: É utilizado de microrganismos que se alimentam dos dejetos presentes na água. Para acelerar a ação desses microrganismos é usado tanques de aeração, onde é injetado ar por meio de sopradores.
- Decantação secundária: Uma segunda decantação é efetuada para separar os lodos secundários da água tratada.
- Tratamento dos lodos: A última etapa do processo tem como objetivo reduzir a massa e o volume dos lodos gerados ao longo do processo. Para reduzir a massa, podem ser utilizados processos de digestão aeróbica, anaeróbica, pasteurização

e estabilização química, e para reduzir o volume, prensagem, desidratação, secador térmico ou incineração.

### **3.1.1 Legislação**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente, ele foi criado em 1982 com o objetivo de estabelecer padrões ambientais a serem seguidas pelas empresas e pessoas que fizerem atividades com recursos ambientais (DIREITO AMBIENTAL, 2019).

Um desses padrões estabelecidos é a Resolução de nº 430/2011, que fixa as condições e padrões de lançamento de efluentes no meio ambiente. A Resolução fixa alguns padrões que o efluente deve ter, como:

- Ph entre 5 e 9;
- Temperatura inferior a 40°C;
- Até 1 mL/L de materiais sedimentáveis;
- Ausência de materiais flutuantes;
- Até 20 mg/L de óleos minerais e 50 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais;
- Concentração máxima de certos parâmetros inorgânicos como, ferro, estanho etc.

A Lei de Crimes Ambientais (Lei n.º 9.605 de 12 de fevereiro de 1998) descreve as sanções penais e administrativas resultantes de condutas e atividades prejudiciais ao meio ambiente e os responsáveis por aplicá-las, essas sanções podem variar de multa até detenções (O ECO, 2014).

## **3.2 Dimensionamento de sistemas hidráulicos**

### **3.2.1 Conceitos básicos**

Segundo Çengel & Cimbala (2007), hidráulica é a ciência que estuda o escoamento de fluidos em dutos (tubulações e canais abertos), sendo esta uma das ramificações da hidrodinâmica, ciência que estuda o escoamento de fluidos quase incompressíveis.

Dá-se o nome de fluido, qualquer substância em estado gasoso ou líquido, os fluidos diferentemente dos sólidos possuem a capacidade de escoar e de se adaptar a forma do

recipiente cujo estão presentes, além de não possuírem a capacidade de resistir a forças tangenciais ou cisalhantes quando estão em equilíbrio.

O escoamento de um fluido pode ser classificado de diversas maneiras (ÇENGEL; CIMBALA, 2007):

- Quanto à compressibilidade:
  - Compressível: Quando a massa específica do fluido varia durante o escoamento.
  - Incompressível: Quando a massa específica do fluido não varia durante o escoamento.
- Quanto ao tempo:
  - Permanente: Não há variação no tempo.
  - Não permanente: Há variação no tempo.
- Quanto à fonte de energia:
  - Forçado: O escoamento ocorre por meio de fontes externas, como bombas.
  - Natural: O escoamento ocorre por meios naturais, como no efeito de flutuação.
- Quanto à direção:
  - Unidimensional: Velocidade varia em apenas uma direção.
  - Bidimensional: Velocidade varia em duas direções.
  - Tridimensional: Velocidade varia em três direções.
- Quanto ao tipo:
  - Interno: Quando o fluido é forçado a passar por um duto fechado, como uma tubulação.
  - Externo: Quando o fluido escoar por um duto aberto, como um canal aberto.
- Quanto ao regime:
  - Laminar: As trajetórias das partículas são bem definidas e não se cruzam, ou seja, são paralelas.
  - Turbulento: A trajetória das partículas é irregular, ocorrendo cruzamentos, o que resulta em pequenos redemoinhos no fluido.
  - Transitório: O escoamento apresenta características tanto de um escoamento laminar quanto de um escoamento turbulento.

### 3.2.2 Número de Reynolds

Nos problemas de hidrodinâmica, o escoamento geralmente é interno, permanente, incompressível, forçado e unidimensional, porém para definir se ele é laminar ou turbulento é preciso avaliar o número de *Reynolds*, que é a razão entre as forças inerciais e as forças viscosas presentes em um escoamento (FOX & MCDONALD, 2011).

O número de *Reynolds* é um número adimensional, dado por (FOX & MCDONALD, 2011):

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (1)$$

Sendo:

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

$D$  – Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );

$v$  – Velocidade do fluido ( $m/s$ );

$\mu$  - Viscosidade dinâmica do fluido ( $kg/(m.s)$ ).

O escoamento é considerado laminar, quando o  $Re$  é menor que 2000, turbulento, quando o  $Re$  é maior que 2300 e transitório, quando  $Re$  está entre 2000 e 2300 (FOX & MCDONALD, 2011).

### 3.2.3 Equações fundamentais

Conforme Çengel & Cimbala (2007), existem três equações fundamentais na Hidráulica: equação da continuidade, equação de Bernoulli e equação da conservação de energia. Por meio dessas equações é possível estudar diversos tipos de escoamento, além de dimensionar turbo maquinarias e tubulações.

#### 3.2.3.1 Equação da continuidade

A equação da continuidade é uma derivação do princípio da conservação da massa, um dos princípios mais fundamentais da natureza, esse princípio diz que a massa de um sistema fechado não varia durante o tempo. A equação da continuidade é dada por (ÇENGEL; CIMBALA, 2007):

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2)$$

Onde:

$Q$  – Vazão ( $m^3/s$ );

$V_1$  – Velocidade no ponto 1 ( $m/s$ );

$V_2$  – Velocidade no ponto 2 ( $m/s$ );

$A_1$  – Área do ponto 1 ( $m^2$ );

$A_2$  – Área do ponto 2 ( $m^2$ ).

### 3.2.3.2 Equação de Bernoulli

Fazendo um balanço energético da energia cinética, potencial e de escoamento de um fluido em um escoamento incompressível e permanente desconsiderando as perdas por atrito temos a equação de Bernoulli, que é uma relação entre pressão, velocidade e elevação de uma linha de corrente de um determinado fluido, assim temos que (ÇENGEL; CIMBALA, 2007):

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 = \text{constante} \quad (4)$$

Em que:

$P_1$  – Pressão estática no ponto 1 ( $Pa$ );

$P_2$  – Pressão estática no ponto 2 ( $Pa$ );

$V_1$  – Velocidade no ponto 1 ( $m/s$ );

$V_2$  – Velocidade no ponto 2 ( $m/s$ );

$z_1$  – Altura no ponto 1 ( $m$ );

$z_2$  – Altura no ponto 2 ( $m$ );

$g$  – Gravidade ( $m/s^2$ );

$\rho$  – Massa específica ( $kg/m^3$ ).

### 3.2.3.3 Equação da conservação de energia

Uma modificação da equação de *Bernoulli* é a equação da conservação de energia que embora considere um escoamento incompressível e permanente, ela considera as perdas em um sistema e a carga útil de energia fornecida por um turbo maquinaria ao sistema, assim a equação fica:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1}{2} + gz_1 + h_{turbo\ maquinaria} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2}{2} + gz_2 + h_L \quad (5)$$

Onde:

$P_1$  – Pressão estática no ponto 1 (Pa);

$P_2$  – Pressão estática no ponto 2 (Pa);

$V_1$  – Velocidade no ponto 1 (m/s);

$V_2$  – Velocidade no ponto 2 (m/s);

$z_1$  – Altura no ponto 1 (m);

$z_2$  – Altura no ponto 2 (m);

$g$  – Gravidade (m/s<sup>2</sup>);

$h_{turbo\ maquinaria}$  - Energia fornecida pela turbo maquinaria (m);

$h_L$  - Perdas no sistema (m);

$\rho$  – Massa específica (kg/m<sup>3</sup>).

Essa variação da equação de Bernoulli permite o estudo e dimensionamento de bombas e tubulações.

### 3.2.4 Perdas de carga

Assim como o atrito está presente na mecânica dos sólidos como um limitante ao movimento dos corpos, a viscosidade está presente na mecânica dos fluidos, pois a viscosidade exprime a resistência ao cisalhamento entre camadas de um fluido, assim ela representa a resistência que se opõem ao escoamento e o fluido precisa desprender de energia para vencer e poder escoar, a essa resistência dá-se o nome de resistência interna. Outra forma de resistência ao escoamento dos fluidos são as resistências externas, que são um resultado do atrito do fluido contra a superfície na qual ele está escoando e das mudanças de direção do mesmo (SILVA, 1999).

#### 3.2.4.1 Tipos de perdas de carga

Segundo Azevedo (1998) e Silva (1999), as perdas de cargas podem ser classificadas em duas: perdas de cargas ao longo dos condutos e as perdas de cargas localizadas.

### 3.2.4.1.1 Perdas de cargas ao longo dos condutos

Conforme Silva (1999), as perdas de cargas ao longo dos condutos foram estudadas por diversos pesquisadores por anos.

A expressão de Poiseuille, que pode ser deduzida teoricamente, pode ser utilizada para escoamentos lineares e é válida para qualquer fluido.

$$h_f = \frac{32Lv\mu}{D^2} \quad (6)$$

Onde:

$h_f$  – Perda de carga distribuída ( $m$ );

$v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );

$\mu$  - Viscosidade dinâmica do fluido ( $kg/(m.s)$ );

$D$  - Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );

$L$  - Comprimento do conduto ( $m$ ).

Para escoamentos turbulentos, não é possível deduzir uma equação teórica, assim é utilizado fórmulas empíricas para a determinação do coeficiente, uma das formulações mais utilizadas atualmente, é a de Darcy e Weisbach, desenvolvida em 1850 e conhecida como fórmula Darcy-Weisbach ou fórmula “Universal” (SILVA, 1999).

$$h_f = f \frac{Lv^2}{D2g} \quad (7)$$

Onde:

$h_f$  – Perda de carga distribuída ( $m$ );

$v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );

$L$  - Comprimento do conduto ( $m$ );

$D$  - Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );

$f$  - Coeficiente de atrito (adimensional);

$g$  - Gravidade ( $m/s^2$ ).

A equação acima pode ser utilizada para qualquer fluido e número de Reynolds. Para casos onde o fluido é água e a tubulação tem diâmetro superior a 2”, a equação de Williams-Hazen oferece valores mais precisos (SILVA, 1999).

$$J_f = K_{Williams-Hazen} \frac{V^{1,852}}{d^{1,167}} \quad (8)$$

Sendo:

$J_f$  – Perda de carga por 1000 pés de tubo (pés);

$K_{Williams-Hazen}$  - Coeficiente de rugosidade modificado (adimensional);

$V$  - Velocidade (pés/s);

$d$  - Diâmetro interno (pés).

### 3.2.4.1.2 Perdas de cargas localizadas

As tubulações dificilmente são compostas apenas por tubos retos de mesmo diâmetro, em diversos casos, se faz necessário o uso de conexões, válvulas, medidores, etc. Todos esses apetrechos aumentam a turbulência do escoamento gerando atrito e choque das partículas, resultando em perdas de cargas, a essas dá-se o nome de perdas de carga localizada, a equação abaixo pode ser utilizada para o cálculo dessas perdas (SILVA, 1999).

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Sendo:

$h_f$  – Perda de carga distribuída ( $m$ );

$v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );

$K$  – Coeficiente do acessório (*adimensional*);

$g$  - Gravidade ( $m/s^2$ ).

Para Reynolds maiores que 50.000 o valor de  $K$  é praticamente constante para qualquer diâmetro de tubulação, velocidade do fluido e tipo de fluido (SILVA, 1999).

Uma segunda forma de determinar as perdas de cargas localizadas é através do método do comprimento equivalente, nesse método é aplicado uma variação da fórmula de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L_{eq}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

,onde:

$h_f$  – Perda de carga distribuída ( $m$ );

- $v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );  
 $L$  - Comprimento do conduto ( $m$ );  
 $D$  - Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );  
 $f$  - Coeficiente de atrito (adimensional);  
 $g$  - Gravidade ( $m/s^2$ );  
 $L_{eq}$  - Comprimento equivalente ( $m$ ).

E  $L_{eq}$  é o comprimento de tubulação que equivale à mesma perda de carga do componente (válvulas, curvas, cotovelos, etc), entretanto diferentemente do  $K$ , o comprimento equivalente ( $L_{eq}$ ) depende do material da tubulação e de seu diâmetro, ele pode ser calculado pela equação,

$$L_{eq} = (L_{eq}/D)D \quad (11)$$

onde

- $L_{eq}$  - Comprimento equivalente ( $m$ );  
 $D$  - Diâmetro interno da tubulação ( $m$ ).

Os valores de  $L_{eq}/D$  para componentes de aço galvanizado e ferro fundido são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Comprimentos equivalentes para tubulações de aço galvanizado e ferro fundido

<b>Acessório</b>	<b><math>L_{eq}/D</math></b>
Cotovelo 90° raio longo	22
Cotovelo 90° raio médio	28,5
Cotovelo 90° raio curto	34
Cotovelo 45°	15,4
Curva 90° R/D = 1	17,5
Curva 45°	7,8
Entrada normal	14,7
Entrada de borda	30,2
Registro de gaveta aberto	7
Registro de globo aberto	342
Registro de ângulo aberto	171,5
Tê 90°, passagem direta	21,8
Tê 90°, saída lateral	69
Tê 90°, saída bilateral	69
Válvula de pé com crivo	265
Saída de canalização	30,2
Válvula de retenção	83,6

Fonte: Martins & Gukovas (2010, com adaptações).

Os valores de comprimento equivalentes para ferro fundido e aço galvanizado também podem ser consultados em ábacos como na Figura 1.

Figura 1 – Comprimentos equivalente a perdas localizadas

Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)\*

DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D = 1/2	CURVA 90° R/D = 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÉ PASSAGEM DIREITA	TÉ SAÍDA DE LADO	TÉ SAÍDA BILATERAL	VALVULA DE PE E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol.																			
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

\* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Fonte: Lengsfeld, Duarte e Altieri (1991, p. 44).

Geralmente, os ábacos com os comprimentos equivalente estão presentes nos manuais dos fabricantes das tubulações e componentes.

### 3.2.4.2 Coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito ( $f$ ) é um dos fatores que influenciam diretamente na perda de carga, ele é calculado de forma experimental, por meio de ábacos ou equações empíricas, pois embora existam diversas pesquisas na área ainda não há uma formulação teórica, entretanto sabe-se que o mesmo varia com a rugosidade do tubo, viscosidade do fluido, densidade do fluido, velocidade e diâmetro do tubo, exceto para um fluido em escoamento laminar, onde o fator de atrito se resume a (FOX & MCDONALD, 2011):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (12)$$

No qual:

$f$  – Fator de atrito (adimensional);

$Re$  – Número de Reynolds (adimensional).

Já para um escoamento turbulento, uma das formas de se calcular o coeficiente de atrito é por meio da equação de Colebrook (FOX & MCDONALD, 2011):

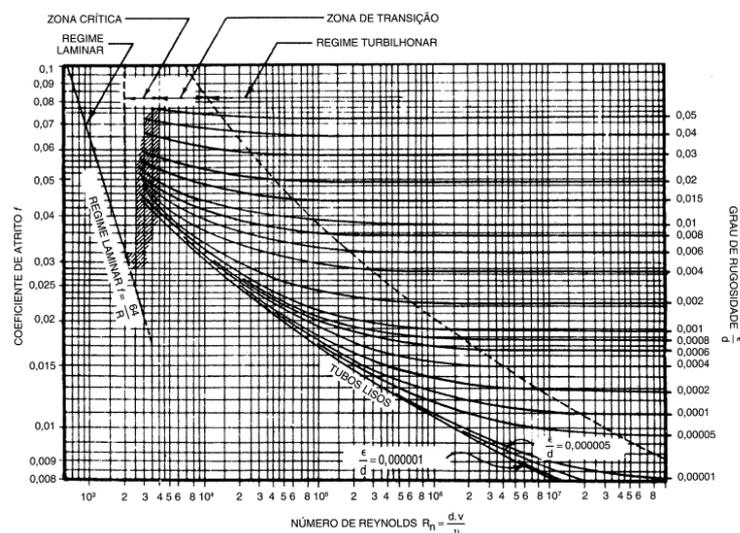
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (13)$$

Onde:

- $f$  – Coeficiente de atrito (adimensional);
- $Re$  – Número de Reynolds (adimensional);
- $D$  – Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );
- $e$  - Rugosidade ( $m$ ).

Outra forma de calcular o coeficiente de atrito é por meio do diagrama de Moody, onde através do número de Reynolds, rugosidade e o diâmetro é possível determinar o valor do coeficiente (FOX & MCDONALD, 2011).

Figura 2 - Ábaco de Moody



Fonte: Silva (1999, p. 7)

### 3.2.4.2.1 Rugosidade

A rugosidade ( $e$ ) é uma medida das saliências que uma superfície apresenta, ela influencia diretamente no coeficiente de atrito de tubo. Diversos fatores podem influenciar na rugosidade, como (SILVA, 1999):

- Material de fabricação dos tubos;
- Processo de fabricação dos tubos;
- O estado de conservação das paredes dos tubos;
- Presença de medidas protetoras.

O estado de conservação das paredes dos tubos é um dos fatores que podem mudar a rugosidade dos tubos ao decorrer dos anos, devido as incrustações, a corrosão e a tuberculização que se formar na parede interna no tubo. Portanto, antes de se selecionar o material de uma tubulação é essencial realizar um estudo dos materiais que devem ser utilizados para que o sistema hidráulico tenha uma vida útil aceitável, a Tabela 2 apresenta alguns valores de rugosidade para tubulações velhas e novas (SILVA, 1999).

Tabela 2 - Rugosidades das paredes dos tubos

<b>Material</b>	<b>k (m)</b> <i>Tubos Novos</i>	<b>k (m)</b> <i>Tubos Velhos</i>
Aço galvanizado	0,00015 - 0,00020	0,0046
Aço rebitado	0,0010 - 0,0030	0,0060
Aço revestido	0,0004	0,0005 - 0,0012
Aço soldado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Chumbo	Lisos	Lisos
Cimento amianto	0,000013	-
Cobre ou latão	Lisos	-
Concreto bem acabado	0,0003 - 0,0010	-
Concreto ordinário	0,0010 - 0,0020	Lisos
Ferro forjado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Ferro fundido	0,00025 - 0,00050	0,0030 - 0,0050
Madeira com aduelas	0,0002 - 0,0010	-
Manilhas cerâmicas	0,0006	0,0030
Vidro	Lisos	Lisos
Plástico	Lisos	0,0015

Fonte: Lengsfeld; Duarte e Altieri (1991, com adaptações).

### 3.2.4.3 Velocidades econômicas

As velocidades econômicas são parâmetros que servem de base para o dimensionamento de tubulações, pois por meio delas é possível otimizar os custos do projeto hidráulico com base em dados econômicos (CARVALHO & REIS, 2000).

Na Tabela 3, temos alguns valores de velocidade econômicas que devem ser utilizadas na determinação de diâmetro de tubulações.

Tabela 3 - Velocidade econômicas

<b>Fluido</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Água doce	Redes em cidades	1 a 2
	Redes em instalações industriais	2 a 3
	Alimentação de caldeiras	4 a 8
	Sucção de bombas	1 a 1,5
Vapor	Até 2 kg/cm <sup>2</sup> (saturado)	20 a 40
	2 a 10 kg/cm <sup>2</sup>	40 a 60
	Mais de 10 kg/cm <sup>2</sup>	60 a 100
Ar comprimido	-	15 a 20
Hidrocarbonetos (instalações industriais)	Líquidos (linha de sucção)	1 a 2
	Líquidos (outras linhas)	1,5 a 2,5
	Gasosos	25 a 30
Água salgada	Tubos de aço com revestimento	1,5 a 2,5
	Tubos de latão	1,5
	Tubo de metal	1,5
	Monel	3
Acetileno	-	20 a 25

Fonte: Silva (1999, p. 13).

### **3.3 Bombas hidráulicas**

De acordo com Zubicaray (2000), bombas são dispositivos que possuem a capacidade de transformar energia, pois podem converter energia elétrica, térmica e outras, em energia para um fluido por meio do aumento de pressão, velocidade etc. Portanto, elas são essenciais em sistemas hidráulicos, pois por meio delas é possível atender às diversas demandas que um sistema pode ter, como aumentar a velocidade do fluido, vencer perdas de cargas ou elevações. As bombas hidráulicas podem ser classificadas em dinâmicas ou de deslocamento positivo.

#### **3.3.1 Bombas dinâmicas**

As bombas dinâmicas ou bombas centrífugas fornecem energia ao fluido por meio da rotação do rotor que é acoplado ao eixo de rotação, o líquido entra na bomba pelo seu centro

e é expelido pela sua periferia, através da força centrífuga (IEL/NC, 2009). As bombas centrífugas podem ser classificadas de acordo com o sentido de saída do líquido do rotor:

- Radial: o fluido sai paralelamente ao eixo de rotação;
- Fluxo misto: o fluido sai na diagonal em relação ao eixo de rotação;
- Fluxo axial: o fluido se move e sai paralelo ao eixo de rotação.

As bombas centrífugas são recomendadas para fluidos não viscosos e sem particulados, como água, pois fluidos viscosos ou com particulados reduzem a eficiência da bomba, devido ao aumento da perda de carga provocado pela “alta” viscosidade (CRANE ENGINEERING, 2015).

### ***3.3.2 Bombas de deslocamento positivo***

As bombas de deslocamento positivo ou bombas volumétricas tem seu princípio de funcionamento baseado na variação do volume e pressão interna por meio da mudança da forma geométrica e por um dispositivo de impulsão (IEL/NC, 2009). Elas são classificadas em:

- Alternativa: O seu funcionamento se baseia no movimento alternativo do seu dispositivo mecânico, que pode ser um pistão, êmbolo ou diafragma;
- Rotativas: O seu funcionamento é por meio de movimentos rotativos do seu mecanismo, que podem ser engrenagens, lóbulos, parafusos ou palhetas.

Diferentemente das bombas centrífugas, elas são geralmente aplicadas em situações que o fluido é viscoso, como lodo, água com particulados, óleos etc. Essas bombas conseguem ter uma boa eficiência com fluidos viscosos, pois esses fluidos preenchem as brechas da bomba.

Uma das diversas funções das bombas volumétricas é a dosagem, as bombas com essa função dão-se o nome de bombas dosadoras, elas são utilizadas quando se é necessária precisão no controle da vazão e volumes bombeados (CRANE ENGINEERING, 2015).

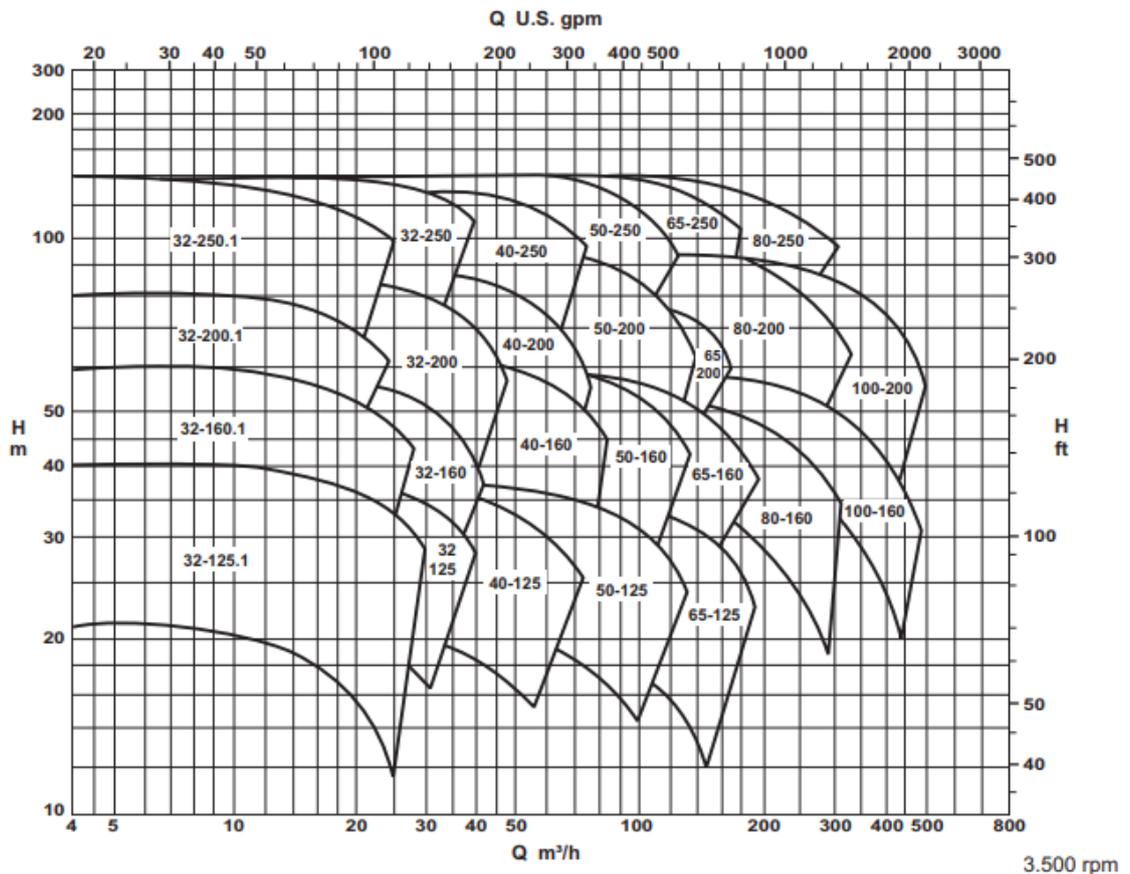
### ***3.2.3 Seleção de bombas***

O processo de seleção de bombas depende de uma série de fatores como: tipo do fluido, altura manométrica, vazão, aplicação e a construção. Entretanto, esse processo se torna mais rápido com a utilização dos diversos ábacos que as fabricantes disponibilizam.

A primeira etapa da seleção é determina o tipo de bomba que será utilizado, para isso deve-se levar em consideração o tipo de fluido, a aplicação e a construção desejada, logo, após

através dos ábacos disponibilizados pelas fabricantes (exemplo na Figura 3), com a altura manométrica necessária e vazão é possível determinar o tipo de bomba (LENGSFELD; DUARTE E ALTIERI, 1991).

Figura 3 - Exemplo de ábaco de bombas



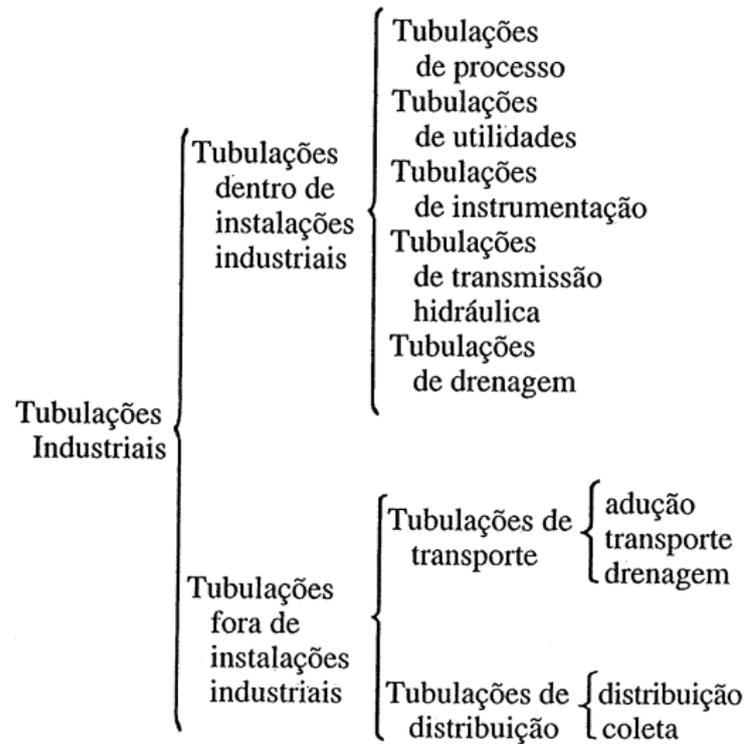
Fonte: KSB (2007, p. 2)

### 3.4 Tubulações industriais

Silva (2010, p. 1) define as tubulações como, “um conjunto de tubos e seus acessórios”, as tubulações são elementos essenciais em diversos locais, principalmente em indústrias, pois, o ponto de geração de um determinado elemento é diferente do ponto de consumo, dependendo do tipo de indústria o projeto das tubulações podem corresponder até 20 % dos custos da planta industrial.

As tubulações industriais podem ser classificadas quanto ao material, fluido transportado e a sua aplicação, nesse último caso elas são divididas em dois grandes grupos, como na Figura 4 (SILVA, 2010):

Figura 4 - Classificação das tubulações industriais



Fonte: Silva (2010, p. 2).

### 3.4.1 Materiais das tubulações industriais

Segundo Silva (2010), uma grande quantidade de materiais são aplicadas à tubulações, a ASTM (American Society for Testing and Materials) possui mais de 500 tipos de materiais especificados para essa finalidade.

Diversos fatores devem ser considerados na seleção do material de uma tubulação, o que torna o processo complexo e muitas vezes interativo, onde é necessário dimensionar a tubulação diversas vezes até chegar a especificação mais adequada. Alguns desses fatores são (SILVA, 2010):

- Condições de serviço: O material deve ser capaz de atender todas as temperaturas e pressões que a tubulação pode sofrer;
- Fluido transportado: A natureza do fluido é determinante para a seleção do material das tubulações, pois dependendo dessa, certos materiais não são recomendados, assim é necessário, verificar a presença de sólidos, pH do fluido, caráter abrasivo ou corrosivo etc;

- Custo: Esse é um dos fatores mais decisivos, o custo da tubulação pode variar bastante dependendo do material e do diâmetro da tubulação;
- Nível de segurança: Certas aplicações demandam tubulações com nível de segurança maior, ou seja, especificações melhores, pois as condições exigem isso, como fluidos de alto risco, ambientes impróprios e outros;
- Perdas de cargas, o que pode elevar o custo do projeto;
- Durabilidade: A vida útil do material de uma tubulação depende de uma série de outros fatores, como o tipo de fluido, as condições de serviço etc., entretanto, a vida útil desse material deve ser igual ao tempo provável de obsolescência da tubulação e da amortização do investimento;
- Manutenibilidade: Com o tempo, é inevitável que as tubulações se degradem, porém, alguns materiais garantem uma maior facilidade na sua manutenção;
- Disponibilidade dos materiais: Muitas tubulações não são encontradas com facilidade no mercado, apenas alguns formatos estão disponíveis comercialmente.
- Facilidade de instalação: Vários aspectos influenciam nesse fator, como a soldabilidade, usinabilidade, facilidade de conformação, quantidade de suportes necessário etc.

Assim, o Quadro 1 apresenta alguns materiais recomendados para cada aplicação, com base nas condições de serviço e o fluido transportado.

Quadro 1 - Materiais recomendados para cada tipo de fluido

<b>Fluido</b>	<b>Material</b>
Água doce e agressivas	Aço-carbono galvanizado Ferro maleável galvanizado
	Aço-carbono PVC CPVC
Águas agressivas	Aço galvanizado
	PVC
Vapor	Aço-carbono com revestimento interno de epóxi ou borracha
	Aço-carbono como revestimento interno de concreto
Hidrocarbonetos	Aço-carbono
	Aço-carbono galvanizado Aços liga
Ar comprimido	Aço-liga 7 Cr - 1/2 Mo Aço inox 405
	Alumino Aço-carbono Aço-carbono galvanizado
Gases	Aço-carbono
	Aços-liga Aço inoxidáveis
Hidrogênio	Aço-carbono acalmado
Ácidos e álcalis	Aço inoxidáveis CPVC Monel
	Aço-carbono Barro vidrado PVC Concreto armado

Fonte: Silva (2010, com adaptações).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o dimensionamento da ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) foram necessárias duas etapas macro: coleta dados e estabelecimento de considerações, e dimensionamento de bombas e tubulações.

### 4.1 Coleta de dados e considerações

A primeira etapa do projeto consistiu na coleta de todos os dados necessários para o dimensionamento hidráulico, ou seja, as vazões, fluidos e desenhos técnicos de cada tubulação, além da análise do ambiente.

#### 4.1.1 Caracterização da empresa e do ambiente

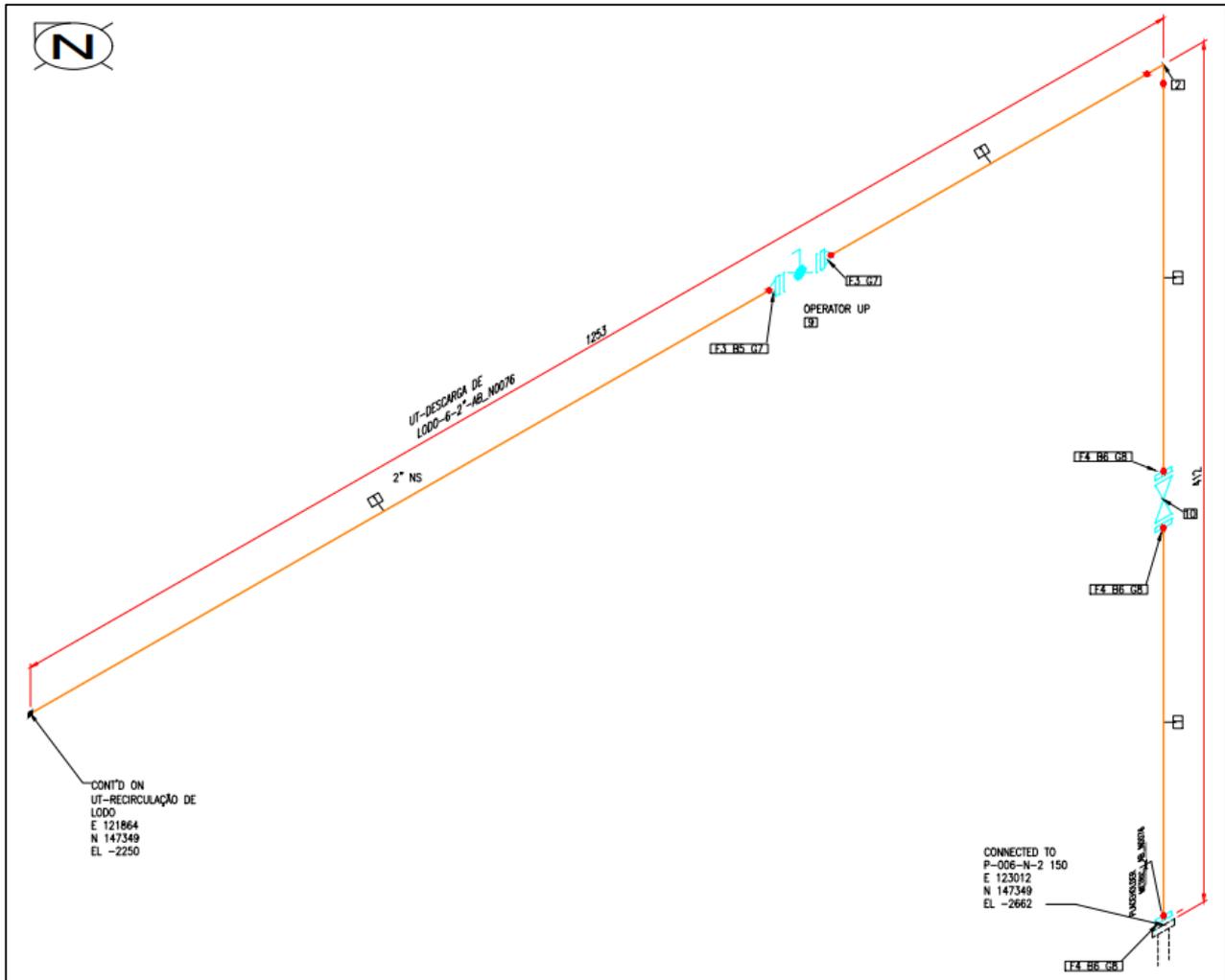
O dimensionamento se deu em um conjunto de indústrias têxteis situadas na cidade de Pacajus/CE, que construirão uma Estação de Tratamento de Efluentes com capacidade de tratar até  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  de efluentes provenientes do processo industrial. Esse efluente conterá óleos, graxas, pequenos metais pesados, resíduos de corante e tecido etc.

#### 4.1.2 Dados necessários ao dimensionamento

As vazões e fluidos de cada tubulação foram definidas pelo responsável técnico pelo processo de tratamento de efluentes, elas são essenciais para um correto dimensionamento hidráulico, pois por meio do fluido é possível determinar quais serão os materiais da tubulação, e a vazão, é a variável fixa no projeto, pois as tubulações devem atender suas respectivas vazões de processo, assim o diâmetro é definida para atendê-la.

Os desenhos técnicos foram elaborados após o fluxograma base da ETE ter sido estabelecido, os equipamentos terem sido definidos e a análise do terreno ter sido feita. Para facilitar o dimensionamento das tubulações, elas foram divididas em trechos, de forma que, cada trecho interligasse dois equipamentos, como bombas, tanques etc. O AutoCAD foi utilizado para a elaboração dos desenhos técnicos, a planta 3D e os isométricos de cada trecho como na Figura 5.

Figura 5 - Isométrico de uma tubulação



Fonte: Autor (2019, fora de escala).

A Tabela 4 e 5 contém todos os trechos das tubulações presente na ETE.

Tabela 4 - Dados iniciais das tubulações

Tubulações	Escoamento	Fluido	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
Água Tratada Osmose Reversa	-*	-*	-*
Água Tratada Saída Biológico 1	Forçado	Água	100
Água Tratada Saída Biológico 2	Forçado	Água	100
Água Tratada Saída Biológico 3	Forçado	Água	50
Água Tratada Saída Biológico 4	Forçado	Água	50
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 1	Forçado	Água	50
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 2	Forçado	Água	50
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 3	Por gravidade	Água	50
Efluente Doméstico 1	Forçado	Efluente	50
Efluente Doméstico 2	-*	-*	-*
Efluente Doméstico 3	-*	-*	-*

Tabela 5 - Dados iniciais das tubulações

<b>Tubulações</b>	<b>Escoamento</b>	<b>Fluido</b>	<b>Vazão (m3/h)</b>
Efluente Doméstico 4	Forçado	Efluente	50
Efluente Doméstico 5	_*	_*	_*
Efluente Doméstico 6	_*	_*	_*
Efluentes 1	Por gravidade	Efluente	100
Efluentes 2	_*	_*	_*
Efluentes 3	_*	_*	_*
Efluentes 4	Por gravidade	Efluente	100
Efluentes 5	Por gravidade	Efluente	100
Efluentes 6	Por gravidade	Efluente	100
Recirculação de Efluente	Forçado	Efluente	100
Rejeito da Osmose Reversa	Por gravidade	Efluente	10
Retorno de Efluente 1	Forçado	Efluente	7
Retorno de Efluente 2	Forçado	Efluente	5
Retorno de Efluente 2b	Forçado	Efluente	22
Retorno de Efluente 3	Forçado	Efluente	25
Retorno de Efluente 4	Forçado	Efluente	25
Descarga de Lodo Físico Químico 1	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo Físico Químico 2	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 1	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 2	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 3	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 4	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 5	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 6	Forçado	Lodo	6
Descarga de Lodo 7	Forçado	Lodo	8
Descarga de Lodo 8	Forçado	Lodo	8
Descarga de Lodo 9	Forçado	Lodo	8
Descarga de Lodo 10	Forçado	Lodo	8
Recirculação de Lodo 1	Forçado	Lodo	75
Recirculação de Lodo 2	Forçado	Lodo	75
Recirculação de Lodo 3	Forçado	Lodo	75
Recirculação de Lodo 4	Forçado	Lodo	75
Ácido 1	Forçado	Ácido Sulfúrico	0 - 0,5**
Ácido 2	Forçado	Ácido Sulfúrico	0 - 0,5**
Nutrientes 1	Forçado	Cloreto Férrico	0 - 0,5**
Nutrientes 2	Forçado	Cloreto Férrico	0 - 0,5**
Nutrientes 3	Forçado	Fosfato Diamônico	0 - 0,5**
Nutrientes 4	Forçado	Fosfato Diamônico	0 - 0,5**
Nutrientes 5	Forçado	Ureia	0 - 0,5**
Nutrientes 6	Forçado	Ureia	0 - 0,5**
Polímero 1	Forçado	Polímero	0 - 0,2**
Polímero 2	Forçado	Polímero	0 - 0,2**

Fonte: Autor (2019).

\*fora do escopo, essas tubulações não fazem parte do projeto;

\*\*a vazão pode variar.

Os segundos dados a serem coletados foram as propriedades dos fluidos, para isso algumas considerações foram feitas, pois algumas propriedades necessárias para o dimensionamento são de difícil acesso, como a viscosidade dinâmica. Portanto, as seguintes considerações foram tomadas:

- A temperatura dos fluidos na ETE pode variar de 30 °C a 40 °C, assim as propriedades da água e dos outros fluidos foram coletadas a 30 °C, pois geralmente quanto maior a temperatura maior a viscosidade, o que resulta em tubulações dimensionadas para atender casos mais extremos.
- As propriedades do efluente (massa específica e viscosidade) foram consideradas as mesmas da água, pois o efluente que será recebido pela ETE passará por processos de filtragem, assim não terá muitos sólidos.
- Como o lodo é em sua maioria composto de água, cerca de 98 %, as suas propriedades foram consideradas as mesmas da água à 20 °C, uma situação mais extrema, onde a sua viscosidade dinâmica aumenta, ficando próxima a do lodo.
- Para os nutrientes (cloreto férrico, fosfato diamônico e ureia), ácido sulfúrico e polímero, as propriedades adotadas foram a do ácido sulfúrico, pois dos fluidos presentes é o que apresenta os maiores valores de massa específica e viscosidade dinâmica.

Assim, as propriedades adotadas podem ser vistas na Tabela 5, as seguintes propriedades foram determinadas em laboratórios.

Tabela 6 - Propriedades adotadas para os fluidos

<b>Fluido</b>	<b>Massa específica (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Viscosidade Dinâmica (Kg/(m.s))</b>
Água	1000	0,0007978
Efluente	1000	0,0007978
Lodo	1000	0,001005
Ácido Sulfúrico	1830	0,1
Cloreto Férrico	1830	0,1
Ureia	1830	0,1
Fosfato Diamônico	1830	0,1
Polímero	1830	0,1

Fonte: Autor (2019).

Conhecendo os fluidos presentes em cada tubulação é possível determinar o material dos condutos. Conforme o Quadro 1, para a água, lodo e efluente, será utilizada tubulações de aço carbono, pois é um material de baixo custo comparado com as outras opções,

e para os nutrientes, ácido sulfúrico e polímero será utilizado CPVC (Cloro de Polivinil Clorado), pois esses fluidos possuem características mais degradantes e o CPVC é um dos únicos materiais de custo acessível, fácil instalação e com boa durabilidade e manutenibilidade. Com os materiais determinados é preciso consultar a rugosidade para que se possa fazer o dimensionamento da tubulação, pela Tabela 2, considerando os tubos velhos, para que a tubulação e bomba ainda atendam a necessidade do sistema depois do envelhecimento dos tubos, tem-se que a rugosidade do aço carbono é 0,0046 m e a do CPVC, como é um plástico, 0,0015 m.

#### ***4.1.1 Considerações***

Um outro dado muito importante para o dimensionamento de tubulações é a velocidade que será adotada para o fluido, de acordo com a Tabela 3, a velocidade de sucção deve ser 1,5 m/s e para o recalque deve ser 2,5 m/s, para que o projeto seja considerado de baixo custo.

No cálculo das alturas manométricas das bombas, foi considerado uma margem de segurança de 20 % com base em projetos anteriores realizados pela empresa, pois durante a execução do projeto pode ter mudanças na tubulação, assim é necessário garantir que a bomba conseguirá atender uma nova demanda se for necessário.

## **4.2 Dimensionamento de bombas e tubulações**

O dimensionamento foi dividido em duas partes: tubulações com escoamento por gravidade e tubulações com escoamento forçado, para cada caso foi criado uma planilha em um software de planilhas eletrônicas, para que o processo de dimensionamento ficasse eficiente e eficaz.

### ***4.2.1 Tubulações com escoamento forçado***

As tubulações com escoamento forçado, ou seja, provocados por bombas, são aquelas em que a altura de elevação é positiva, ou seja, é necessário que uma bomba forneça energia ao fluido para que ele vença a essa altura. A classificação de cada tubulação está

presente na Tabela 4. Nesse caso, o seguinte procedimento foi implementado no Microsoft Excel:

1. Com a aplicação da vazão desejada e das velocidades econômicas recomendadas na Equação da Continuidade (Equação 2), tem-se o diâmetro ideal para a tubulação;

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (14)$$

Onde:

$Q$  – Vazão ( $m^3/s$ );

$v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );

$D$  - Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );

2. Então, é escolhido os dois diâmetros comerciais acima do ideal e é calculado uma nova velocidade do fluido, por meio da equação continuidade;

$$v = \frac{Q}{A} \quad (15)$$

Onde:

$Q$  – Vazão ( $m^3/s$ );

$A$  - Área ( $m^2$ );

$v$  - Velocidade do fluido ( $m/s$ );

3. Com essa nova velocidade, rugosidade do material, massa específica e viscosidade cinemática do fluido, é possível calcular o fator de atrito por meio da Equação do Fator de Colebrook (Equação 13);
4. Por meio dos desenhos técnicos elaborados é possível determinar a quantidade e quais acessórios estarão presentes na tubulação, e com o Método dos Comprimentos Equivalentes (Equação 11), todas as perdas de cargas localizadas são calculadas;
5. Depois de calcular as perdas de cargas localizadas, as perdas de carga nos trechos lineares são calculadas e somadas as perdas de cargas localizadas, e então, são aplicadas a Equação Universal (Equação 7);

6. Em seguida, a perda de carga total é somada com a altura de elevação da tubulação, ou seja, a maior altura que o fluido precisa vencer;
7. Esse processo é feito para os dois diâmetros selecionados, mas aplicando os critérios do dimensionamento, o que tiver menor diâmetro facilmente disponível comercialmente e valor será o selecionado;
8. Todo o procedimento acima é feito com a sucção e o recalque separadamente, depois soma-se as alturas manométricas encontradas e tem-se a altura manométrica da bomba;
9. Conhecendo-se o fluido, vazão e altura manométrica é possível solicitar ao fabricante, qual bomba atenderá as características solicitadas, para isso basta verificar a curva característica das bombas.

#### ***4.2.2 Tubulações com escoamento por gravidade***

Nas tubulações com escoamento por gravidade, o dimensionamento é feito de forma diferente das com escoamento forçado, entretanto os mesmos princípios são utilizados. O seguinte procedimento interativo foi implementado no Microsoft Excel:

1. Inicialmente, um diâmetro é assumido para que se possa calcular as perdas de cargas localizadas;
2. A perda de carga é calculada pela variação da equação da conservação da energia (Equação 4), onde todas as energias são anuladas, pois não mudam do ponto inicial para o ponto final, exceto a energia potencial;

$$h_L = gz_1 - gz_2 \quad (16)$$

Em que:

$h_L$  – Perda de carga;

$g$  – Aceleração gravitacional ( $m/s^2$ );

$z_1$  – Altura no ponto 1 ( $m$ );

$z_2$  – Altura no ponto 2 ( $m$ ).

3. Então, é calculado a velocidade do fluido, por meio da equação da continuidade (Equação 2);

4. Com essa velocidade, rugosidade do material, massa específica e viscosidade cinemática do fluido, é possível calcular o fator de atrito por meio da Equação do Fator de Colebrook (Equação 13);
5. Por meio dos desenhos técnicos elaborados é possível determinar a quantidade e quais acessórios estarão presentes na tubulação, e com o Método dos Comprimentos Equivalentes (Equação 10), todas as perdas de cargas localizadas são calculadas;
6. Depois de calcular as perdas de cargas localizadas, as perdas de carga nos trechos lineares são calculadas e somadas as perdas de cargas localizadas, e então, são aplicadas na variação da equação universal (Equação 7) abaixo, onde a perda de carga utilizada é dada pela Equação 8 e a velocidade é substituída pela Equação 2, resultando em um novo diâmetro;

$$D = \sqrt[5]{f \frac{L_{eq}}{h_L} \frac{8Q^2}{\pi^2 g}} \quad (17)$$

Sendo:

$D$  – Diâmetro interno da tubulação ( $m$ );

$f$  – Coeficiente de atrito (adimensional);

$g$  – Aceleração gravitacional ( $m/s^2$ );

$h_L$  – Perda de carga distribuída;

$Q$  – Vazão ( $m^3/s$ );

$L_{eq}$  – Comprimento equivalente ( $m$ ).

7. Esse novo diâmetro é comparado com o diâmetro inicial, caso ele seja igual ou muito próximo esse será o diâmetro da tubulação, caso não, o procedimento deve ser repetido até que o diâmetro inicial seja próximo do calculado.

## 5 RESULTADOS

Após a aplicação dos procedimentos citados no capítulo anterior, foi elaborado a tabela abaixo, onde tem-se os diâmetros calculados em polegadas (os tubos são oferecidos comercialmente em polegadas), fluido e vazão de cada trecho da tubulação.

Tabela 7 - Diâmetro das tubulações com escoamento forçado

<b>Tubulações</b>	<b>Fluido</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>
Água Tratada Saída Biológico 1	Água	8"	100
Água Tratada Saída Biológico 2	Água	6"	100
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 1	Água	6"	50
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 2	Água	4"	50
Efluente Doméstico 1	Efluente	4"	50
Efluente Doméstico 4	Efluente	6"	50
Efluentes 1	Efluente	8"	100
Recirculação de Efluente	Efluente	8"	100
Retorno de Efluente 1	Efluente	2"	7
Retorno de Efluente 2	Efluente	2"	5
Retorno de Efluente 2b	Efluente	2.1/2"	22
Retorno de Efluente 3	Efluente	2.1/2"	25
Retorno de Efluente 4	Efluente	4"	25
Descarga de Lodo Físico Químico 1	Lodo	1.1/2"	6
Descarga de Lodo Físico Químico 2	Lodo	2"	6
Descarga de Lodo 1	Lodo	2"	6
Descarga de Lodo 2	Lodo	1.1/2"	6
Descarga de Lodo 3	Lodo	1.1/2"	6
Descarga de Lodo 4	Lodo	2"	6
Descarga de Lodo 5	Lodo	2"	6
Descarga de Lodo 6	Lodo	2"	6
Descarga de Lodo 7	Lodo	2"	8
Descarga de Lodo 8	Lodo	2.1/2"	8
Descarga de Lodo 9	Lodo	2.1/2"	8
Descarga de Lodo 10	Lodo	2"	8
Recirculação de Lodo 1	Lodo	6"	75
Recirculação de Lodo 2	Lodo	6"	75
Recirculação de Lodo 3	Lodo	6"	75
Recirculação de Lodo 4	Lodo	6"	75
Ácido 1	Ácido Sulfúrico	3/4"	0 - 0,5**
Ácido 2	Ácido Sulfúrico	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 1	Cloreto Férrico	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 2	Cloreto Férrico	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 3	Fosfato Diamônico	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 4	Fosfato Diamônico	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 5	Ureia	3/4"	0 - 0,5**
Nutrientes 6	Ureia	3/4"	0 - 0,5**

Tabela 8 - Diâmetro das tubulações com escoamento forçado

<b>Tubulações</b>	<b>Fluido</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>
Polímero 1	Polímero	3/4"	0 - 0,2**
Polímero 2	Polímero	3/4"	0 - 0,2**

Fonte: Autor (2019).

\*fora do escopo, essas tubulações não fazem parte do projeto;

\*\*a vazão pode variar.

Nas Tabela 7 e 8 é possível notar que a vazão influencia diretamente no diâmetro da tubulação, já que as tubulações que possuem maior diâmetro são aquelas com maior vazão, o que vai de encontro com a equação da continuidade. Os diâmetros das tubulações variaram de 3/4" a 8", sendo que as de menores diâmetros foram das tubulações de nutrientes, polímero e ácidos, resultante da baixa vazão e da baixa rugosidade do material selecionado, que foi CPVC. Também é possível observar que as tubulações de sucção, as de número ímpar, possuem geralmente o diâmetro maior do que o do recalque, um a duas polegadas maior, dependendo da disponibilidade da tubulação, resultado da necessidade de velocidades maiores na sucção.

Já as tubulações com escoamento por gravidade foram reunidas na Tabela 9.

Tabela 9 - Diâmetro das tubulações com escoamento por gravidade

<b>Tubulações</b>	<b>Fluido</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>
Água Tratada Osmose Reversa	-*	-*	-*
Água Tratada Saída Biológico 3	Água	4"	50
Água Tratada Saída Biológico 4	Água	4"	50
Água Tratada Saída do Sistema Físico Químico 3	Água	6"	50
Efluente Doméstico 1	Efluente	4"	50
Efluente Doméstico 2	-*	-*	-*
Efluente Doméstico 3	-*	-*	-*
Efluente Doméstico 5	-*	-*	-*
Efluente Doméstico 6	-*	-*	-*
Efluentes 2	-*	-*	-*
Efluentes 3	-*	-*	-*
Efluentes 4	Efluente	4"	100
Efluentes 5	Efluente	6"	100
Efluentes 6	Efluente	6"	100
Rejeito da Osmose Reversa	Efluente	4"	10

Fonte: Autor (2019).

\*fora do escopo, essas tubulações não fazem parte do projeto.

Embora as tubulações com escoamento por gravidade tenham a energia proveniente para seu escoamento de fonte diferente das com escoamento forçado, comparando as Tabelas 7 e 8 com a Tabela 9, vemos que tubulações de mesma vazão possuem diâmetros similares.

Pela Tabela 9, é possível verificar que a perda de carga tem uma grande influência no diâmetro, pois para condutos de mesma vazão como os Efluentes 4 e 5, temos diâmetros diferentes, 4" e 6", respectivamente.

Para as bombas que transportarão água ou efluentes foram selecionadas bombas centrífugas, já para os lodos foram selecionadas bombas centrífugas especiais e de deslocamento positivo, e para os nutrientes, ácidos e polímeros foi selecionado bombas dosadoras. Na Tabela 10, tem-se as bombas dimensionadas, com suas respectivas vazões, alturas manométricas, potências e rotações de operação. Cada bomba possui uma reserva para dar uma maior segurança à ETE.

Tabela 10 – Especificação das Bombas

<b>Bomba</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vazão</b>	<b>Altura Manométrica</b>	<b>Potência</b>	<b>Rotação</b>
P-001	Centrífuga (Água)	100 m <sup>3</sup> /h	13,83 m	5,28 kW	1771 RPM
P-002	Centrífuga (Água)	100 m <sup>3</sup> /h	13,83 m	5,28 kW	1771 RPM
P-003	Deslocamento Positivo	6 m <sup>3</sup> /h	17,00 m	0,72 kW	290 RPM
P-004	Deslocamento Positivo	6 m <sup>3</sup> /h	17,00 m	0,72 kW	290 RPM
P-005	Deslocamento Positivo	6 m <sup>3</sup> /h	17,52 m	0,72 kW	290 RPM
P-006	Deslocamento Positivo	6 m <sup>3</sup> /h	17,52 m	0,72 kW	290 RPM
P-007	Centrífuga (Lodo)	75 m <sup>3</sup> /h	11,03 m	10 HP	1750 RPM
P-008	Centrífuga (Lodo)	75 m <sup>3</sup> /h	11,03 m	10 HP	1750 RPM
P-009	Centrífuga (Lodo)	75 m <sup>3</sup> /h	10,96 m	10 HP	1750 RPM
P-010	Centrífuga (Lodo)	75 m <sup>3</sup> /h	10,96 m	10 HP	1750 RPM
P-011	Deslocamento Positivo	8 m <sup>3</sup> /h	7,72 m	0,72 kW	290 RPM
P-012	Deslocamento Positivo	8 m <sup>3</sup> /h	7,72 m	0,72 kW	290 RPM
P-013	Deslocamento Positivo	8 m <sup>3</sup> /h	7,63 m	0,72 kW	290 RPM
P-014	Deslocamento Positivo	8 m <sup>3</sup> /h	7,63 m	0,72 kW	290 RPM
P-015	Centrífuga (Água)	25 m <sup>3</sup> /h	16,57 m	2,64 kW	1758 RPM
P-016	Centrífuga (Água)	25 m <sup>3</sup> /h	16,57 m	2,64 kW	1758 RPM
P-017	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-018	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-019	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-020	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	8,78 m	0,42 kW	-
P-021	Dosadora	0 - 0,2 m <sup>3</sup> /h	1,18 m	0,55 kW	0 - 29 RPM
P-022	Pneumática	6 m <sup>3</sup> /h	18,18 m	-	-
P-023	Pneumática	6 m <sup>3</sup> /h	18,18 m	-	-
P-024	Centrífuga (Água)	50 m <sup>3</sup> /h	6,88 m	3 HP	1160 RPM
P-025	Centrífuga (Água)	50 m <sup>3</sup> /h	6,88 m	3 HP	1160 RPM

Tabela 11 – Especificação das Bombas

<b>Bomba</b>	<b>Tipo</b>	<b>Vazão</b>	<b>Altura Manométrica</b>	<b>Potência</b>	<b>Rotação</b>
P-026	Centrífuga (Água)	50 m <sup>3</sup> /h	3,65 m	1,10 kW	1771 RPM
P-027	Centrífuga (Água)	50 m <sup>3</sup> /h	3,65 m	1,10 kW	1771 RPM
P-028		Fora do Escopo			
P-029		Fora do Escopo			
P-030	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-031	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-032	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	11,25 m	0,42 kW	-
P-033	Dosadora	0 - 0,5 m <sup>3</sup> /h	8,78 m	0,42 kW	-
P-034	Dosadora	0 - 0,2 m <sup>3</sup> /h	1,18 m	0,55 kW	0 - 29 RPM

Fonte: Autor (2019).

Para muitos casos foram adotadas a mesma bomba, pois estas apresentavam poucas deferências em termo de vazão e altura manométrica.

Pelas Tabelas 10 e 11, é possível notar que as bombas dimensionadas possuem porte bastante diferentes, com a menor tendo apenas 0,42 kW de potência requerida e a maior 10 HP, ou seja, 7,46 kW.

## 6 CONCLUSÃO

O seguinte trabalho demonstrou que o dimensionamento de sistemas hidráulicos é uma etapa de extrema importância em um projeto industrial, pois este representa uma parcela significativa dos custos finais de um projeto, e também o quanto é crucial para o correto funcionamento dos equipamentos.

Por meio, das equações fundamentais da mecânica dos fluidos, dos diversos estudos feitos ao longo dos anos sobre as perdas de carga em tubulações e dos ábacos fornecidos pelos fabricantes foi possível determinar os diâmetros de cada tubulação e as especificações de cada bomba.

Analisando os objetivos definidos pode-se concluir que o dimensionamento da estação de tratamento de efluentes foi realizado com êxito. Os diâmetros encontrados pelo dimensionamento variaram de 3/4" até 8", mostrando que a vazão, o fluido e as perdas de carga na tubulação possuem grande influência no resultado final. Já as bombas dimensionadas tiveram potências variando de 0,42 kW até 7,46 kW. O material das tubulações se mostraram convenientes tanto em vida útil, pois para os fluidos mais agressivos, como os nutrientes e ácidos, foi selecionado tubulações de CPVC e para fluidos de menor exigência, como água e lodo, foram selecionadas tubulações de aço carbono, quanto pelo custo, pois esses materiais comparados com as outras possibilidades de aplicação possuem custo mais baixo.

Comparando as tubulações e bombas dimensionadas com outros projetos de ETE, vemos que os valores se aproximam, o que mostra que as considerações e métodos utilizados estão corretos.

### 6.1 Trabalhos futuros

Foi possível verificar neste trabalho o impacto do material na escolha de uma tubulação, assim em trabalhos futuros pode-se pesquisar o impacto dos diversos materiais no custo final de um projeto, assim como a expectativa de vida útil da planta.

## REFERÊNCIAS

- AUBERT, Angelina; ESPADALÉ, Rosa; SOLÉ, Carme. **Estaciones depuradoras de aguas residuales: riesgo biológico**. Disponível em: [https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp\\_473.pdf/79faa591-aafb-4394-b950-910ea94e9a15](https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_473.pdf/79faa591-aafb-4394-b950-910ea94e9a15). Acesso em: 27 nov. 2019.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano et al. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- CANAL DE ISABEL II GESTIÓN. **Ciclo integral del agua: depuración del agua residual**. Madrid, 2013. Disponível em: <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2016/02/Depuracion-del-agua.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2019.
- CARVALHO, J.A.; REIS, J.B.R.S. Avaliação dos custos de energia de bombeamento e determinação do diâmetro econômico da tubulação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.411-449, 2000.
- ÇENGEL, Y.A.; CIMBALA, J.M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. [S. l.]: McGrawHill, 2007.
- CRANE ENGINEERING. **Why viscous fluid is the centrifugal pump's kryptonite**. Disponível em: <https://blog.craneengineering.net/why-viscous-fluid-is-centrifugal-pump-kryptonite>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- DIREITO AMBIENTAL. **O que é e para que serve o CONAMA?**. Disponível em: <https://direitoambiental.com/o-que-e-e-para-que-serve-o-conama/>. Acesso em: 09 dez. 2019.
- FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J; MCDONALD, Alan T. **Introdução a mecânica dos fluidos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- IEL/NC. **Bombas: guia básico**. Brasília: [s. n.], 2009.
- KSB. **Manual Técnico N° A2742.0P/5**. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php> arquivo=MT\_2748\_5\_01\_PB\_Revised.pdf&tipo=tecnicos. Acesso em: 10 nov. 2019.
- LENGSFELD, Frank; DUARTE, Ronaldo; ALTIERI, Claudio. **Manual de treinamento: seleção e aplicação de bombas centrífugas**. São Paulo: KSB Bombas Hidráulicas S/A, 1991.
- MARCONDES, Josiane Gasparini. **Tratamento de efluentes**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) –Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2012.
- MARTINS, J. Rodolfo; GUKOVAS, Miguel. **Hidráulica básica: guia de estudo**. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1888925/mod\\_resource/content/2/Hidr%C3%A1ulica%201.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1888925/mod_resource/content/2/Hidr%C3%A1ulica%201.pdf). Acesso em: 19 nov. 2019.

O ECO. **Entenda a Lei de Crimes Ambientais**. Disponível em:  
<https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28289-entenda-a-lei-de-crimes-ambientais/>.  
Acesso em: 09 dez. 2019.

TELLES, Pedro C. Silva. **Tubulações industriais: cálculo**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TELLES, Pedro C. Silva. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

TIGRE. **CPVC Industrial: Catálogo Técnico**. Disponível em:  
[https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-cpvc\\_industrial.pdf](https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-cpvc_industrial.pdf). Acesso em: 15 nov. 2019.

ZUBICARAY, Viejo. **Bombas: teoría, diseño y aplicaciones**. México: LIMUSA, 2000.

## ANEXO A – COMPRIMENTO EQUIVALENTE DAS TUBULAÇÕES DE CPVC

Diâmetro	Conexões			
	Tê lateral	Tê Central	Joelho 90°	Joelho 45°
1/2"	0,3048	1,15824	0,4572	0,24384
3/4"	0,42672	1,49352	0,6096	0,33528
1"	0,51816	1,8288	0,762	0,42672
1 1/4"	0,70104	2,22504	1,15824	0,54864
1 1/2"	0,82296	2,56032	1,2192	0,64008
2"	1,21092	3,6576	1,73736	0,79248
2 1/2"	1,49352	4,48056	2,10312	0,94448
3"	1,85928	4,99872	2,40792	1,2192
4"	2,40792	6,7056	3,47472	1,55448
6"	3,74904	9,96696	5,09016	2,43840

Fonte: Tigre (2016).