

**INSTITUTO FEDERAL**  
**GOIANO**  
Câmpus Rio Verde

**BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**SISTEMA DE RECALQUE COM OU SEM INVERSOR DE  
FREQUÊNCIA: ESTUDO DE CASO DE UMA HABITAÇÃO  
VERTICAL**

**TAÍS ALVES DO NASCIMENTO**

**Rio Verde, GO**

**2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**SISTEMA DE RECALQUE COM OU SEM INVERSOR DE  
FREQUÊNCIA: ESTUDO DE CASO DE UMA HABITAÇÃO VERTICAL**

**TAÍS ALVES DO NASCIMENTO**

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Rio Verde - GO  
Fevereiro, 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

NN244s Nascimento, Taís Alves do  
Sistema de recalque com ou sem inversor de  
frequência: estudo de caso de uma habitação vertical  
/ Taís Alves do Nascimento; orientador Dr. Marconi  
Batista Teixeira; co-orientador Dr. Wilker Alves  
Morais. -- Rio Verde, 2023.  
47 p.

TCC (Graduação em Engenharia Civil) -- Instituto  
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. abastecimento. 2. sistema de recalque. 3.  
motobomba. I. Teixeira, Dr. Marconi Batista, orient.  
II. Morais, Dr. Wilker Alves, co-orient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 28/2023 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos 17 dias do mês de março de 2023, às 09:15 horas e 00 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Marconi Batista Teixeira (orientador), Charles Pereira Chaves (membro) e Álvaro Henrique Nogueira Bizão (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “**Sistema de recalque com ou sem inversor de frequência: estudo de caso de uma habitação vertical**” da estudante **TAÍS ALVES DO NASCIMENTO**, Matrícula nº 2017102200840135 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Charles Pereira Chaves

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Álvaro Henrique Nogueira Bizão

Membro

## Observação:

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Charles Pereira Chaves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/03/2023 15:33:09.
- Álvaro Henrique Nogueira Bizão, 2019102331440026 - Discente, em 20/03/2023 09:40:56.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMDAGRO-R, em 18/03/2023 15:02:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/03/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 478412

Código de Autenticação: 3cd76f3d99



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 67/2023 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO



**Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: **TAÍS ALVES DO NASCIMENTO**

Matrícula: 2017102200840135

Título do Trabalho: Sistema de recalque com ou sem inversor de frequência: estudo de caso de uma habitação vertical

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 02/05/2023

- |  |                              |   |
|--|------------------------------|---|
| O documento está sujeito a registro de patente?  | <input type="checkbox"/> Sim | <input checked="" type="checkbox"/> Não |
| O documento pode vir a ser publicado como livro? | <input type="checkbox"/> Sim | <input checked="" type="checkbox"/> Não |

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e

Assinado eletronicamente  
Taís Alves do Nascimento  
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinado eletronicamente  
Assinatura do orientador  
Marconi Batista Teixeira

Documento assinado eletronicamente por:

- **Taís Alves do Nascimento**, 2017102200840135 - Discente, em 13/04/2023 17:26:41.
- **Marconi Batista Teixeira**, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMDAGRO-R, em 13/04/2023 17:22:04.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 13/04/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 486400  
Código de Autenticação: 9b85b88652



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000

## RESUMO

O sistema de recalque, também denominado adução, é fundamental para vencer desníveis em especial nas habitações verticais. Visando mitigar custos de implantação e otimização do uso de energia elétrica sempre se busca práticas e tecnologias para otimizar a operação desses sistemas, diante disso o inversor de frequência pode ser considerado uma peça importante para alcançar tais objetivos. O presente trabalho teve como objetivo analisar através de um estudo de caso os principais impactos econômicos ao se empregar um inversor de frequência no sistema de recalque de água de uma habitação vertical de 36 pavimentos. Realizou-se o dimensionamento do sistema com e sem o referido equipamento, no cenário em que foi considerado o acionamento do conjunto motobomba pelo inversor, diferentes tempos de operação da bomba foram simulados de modo a compreender qual opção apresentaria melhor viabilidade econômica sem prejudicar a eficácia do sistema. Os resultados sugerem que o emprego do inversor de frequência no abastecimento predial pode apresentar significativa redução nos gastos com tubulações, entretanto é importante verificar o tempo ideal de operação do conjunto motobomba de modo a obter o melhor custo-benefício técnico, econômico e energético.

**Palavras-chave:** abastecimento, sistema de recalque, motobomba.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tipos de abastecimento .....	14
<b>Figura 2:</b> Sistema de distribuição direta em residência.....	14
<b>Figura 3:</b> Sistema de distribuição indireto, sem bombeamento .....	15
<b>Figura 4:</b> Sistema de distribuição indireto com bombeamento .....	16
<b>Figura 5:</b> Sistema de distribuição misto em residência .....	17
<b>Figura 6:</b> Partes constituintes de uma instalação predial indireta. ....	17
<b>Figura 7:</b> Perda de carga.....	18
<b>Figura 8:</b> Tipos de disposição da bomba de recalque.....	23
<b>Figura 9:</b> Diâmetro econômico.....	23
<b>Figura 10:</b> Sistema de bombeamento .....	24
<b>Figura 11:</b> Sistemas hidráulicos de sucção.....	26
<b>Figura 12:</b> Sistemas hidráulicos de recalque .....	26
<b>Figura 13:</b> Rotina para realizar dimensionamento da adução .....	30
<b>Figura 14:</b> Vazões de recalque com inversor de frequência casos B, C, D e E .....	34
<b>Figura 15:</b> Diâmetros de recalque casos B, C, D e E .....	34
<b>Figura 16:</b> Perdas de carga nos trechos de recalque casos B, C, D e E.....	35
<b>Figura 17:</b> Perdas de carga no trecho de sucção casos B, C, D e E .....	35
<b>Figura 18:</b> Características do sistema de recalque casos B, C, D e E.....	36
<b>Figura 19:</b> Custo motobombas .....	37
<b>Figura 20:</b> Custos dos equipamentos.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local.....	20
<b>Tabela 2:</b> Consumo estimado diário .....	20
<b>Tabela 3:</b> Diâmetros das tubulações de PVC e CPVC .....	22
<b>Tabela 4:</b> Média de rendimento de motores elétricos.....	28
<b>Tabela 5:</b> Média de rendimento de bombas centrífugas .....	28
<b>Tabela 6:</b> Comprimento equivalente das conexões no recalque sistema A.....	32
<b>Tabela 7:</b> Comprimento equivalente das conexões na sucção sistema A.....	33
<b>Tabela 8:</b> Características da bomba que atende o sistema A.....	33
<b>Tabela 14:</b> Características da bomba que atende os casos B, C, D e E .....	36
<b>Tabela 15:</b> Resumo das características dos sistemas analisados .....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Formas De Abastecimento</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Distribuição direta</b>	<b>14</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Distribuição indireta sem bombeamento</b>	<b>15</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Indireto com bombeamento</b>	<b>15</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Distribuição mista</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Partes Componentes De Uma Instalação Hidráulica Predial</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Perdas de Carga</b>	<b>17</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Cálculo da perda de carga</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Reservação de água fria</b>	<b>19</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Consumo diário</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Alimentador Predial</b>	<b>21</b>
<b>3.5</b>	<b>Instalações De Recalque</b>	<b>22</b>
<b>3.6</b>	<b>Dimensionamento Econômico da Tubulação de Recalque</b>	<b>23</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Funcionamento descontínuo</b>	<b>24</b>
<b>3.7</b>	<b>Sistemas de Bombeamento</b>	<b>24</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Alturas geométricas</b>	<b>25</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Altura manométrica</b>	<b>26</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Potência dos conjuntos elevatórios</b>	<b>27</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Potência instalada</b>	<b>27</b>
<b>3.7.5</b>	<b>Rendimento do conjunto</b>	<b>28</b>
<b>3.8</b>	<b>Inversores de Frequência</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Apresentação da Habitação Vertical</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodologia de Dimensionamento</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Sistema de Recalque Dimensionado sem Inversor de Frequência</b>	<b>30</b>

<b>5.2</b>	<b>Sistema de Recalque Dimensionado com Inversor de Frequência</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Custo dos Equipamentos dos Sistemas</b>	<b>36</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Comparação econômica entre os sistemas com e sem inversor</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO A — VALORES SUGERIDOS PARA O COEFICIENTE C</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>ANEXO B — TABELA DE COMPRIMENTOS EQUIVALENTES</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>ANEXO C — PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO</b>	<b>46</b>
<b>11</b>	<b>ANEXO D — 3D SISTEMA DE ADUÇÃO DA EDIFICAÇÃO</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um conjunto motobomba e tubulações compõem um sistema de recalque, também conhecido como sistema de adução, e através do bombeamento, tal conjunto possibilita transportar fluídos, de um ponto com cota inferior para outro superior.

A adução é fundamental para vencer desníveis em especial nas habitações verticais. É ela que conduz a água do reservatório no ponto mais baixo, em que chega a água fornecida pelas concessionárias, para o reservatório superior, normalmente localizado na parte mais alta da edificação, de onde se inicia a rede interna de distribuição que atua por gravidade ou bombeamento.

De forma geral, esse tipo de sistema conta com no mínimo duas motobombas, de funcionamento constante durante um intervalo de tempo, com partida alternada e tendo operação controlada por uma válvula na saída do sistema de bombeamento. O intervalo de tempo, durante o qual as bobinas das motobombas são sempre alimentadas, é chamado período. O arranque de cada bomba é controlado por um temporizador. Os dois temporizadores são sincronizados, para que as bombas comecem ao mesmo tempo.

Pode se afirmar que na grande maioria dos sistemas de bombeamento, ocorre um superdimensionamento, sendo tal prática justificada como margem de segurança, isso fica mais evidenciado quando Rodrigues (2007 apud *Europump and Hydraulic Institute*, 2004) aponta que se estima que 75% dos sistemas de bombeamento se encontrem nessa condição. Consequentemente isso reflete em custos elevados com equipamentos e com a energia consumida.

Buscando então mitigar custos de implantação do sistema de recalque, sempre se busca práticas e tecnologias que otimizam a operação desses sistemas, sendo o inversor de frequência conforme Rodrigues (2007) uma peça com papel importante por conseguir promover de forma ordenada e eficiente, a otimização do uso de energia elétrica e redução dos custos de implantação do sistema de adução.

No ano de 2009 Mesquita realizou uma comparação entre dois métodos de controle de vazão em um sistema de bombeamento (por válvula de estrangulamento e inversor de frequência), para cada cenário foram comparados ainda dois tipos de motores de mesma potência (motor padrão e de alto rendimento). A simples substituição do motor padrão para o motor de alto rendimento, tendo o controle de vazão realizada por válvula, acarretou numa redução de consumo de energia de 33,42%. Para o caso de trocar o motor padrão para o de alto

rendimento e substituir o controle pela válvula para o controle pelo inversor de frequência alcançou uma economia de 67,03%.

Já no laboratório Lamotriz da Universidade de Caxias do Sul – UCS, Forner (2013) em avaliou o acionamento de um motor de indução trifásico por meio de inversor de frequência, para controlar a velocidade do motor e por consequência o volume de vazão, gerando assim economia de energia elétrica e dos recursos hídricos. O Autor do estudo conseguiu verificar uma redução do consumo de energia do sistema em 22,34 % em relação ao sistema sem inversor, isso se justifica por conta do regime de trabalho com vazões variáveis e corresponde a uma economia anual de R\$ 4.299,51 em custos com energia elétrica.

Diante do exposto esse trabalho se propõe a comparar um sistema de recalque dimensionado de forma convencional, para uma edificação vertical de 36 pavimentos com 310 unidades habitacionais, com um sistema de recalque dimensionado utilizando um inversor de frequência.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Objetivou-se nesse estudo analisar quais os impactos econômicos na utilização ou não, de um inversor de frequência, no sistema de recalque de água de uma edificação predial coletiva de 36 pavimentos, sendo subsolo, térreo, pavimento garagem 01, pavimento garagem 02, mezanino lazer e 31 pavimentos tipos.

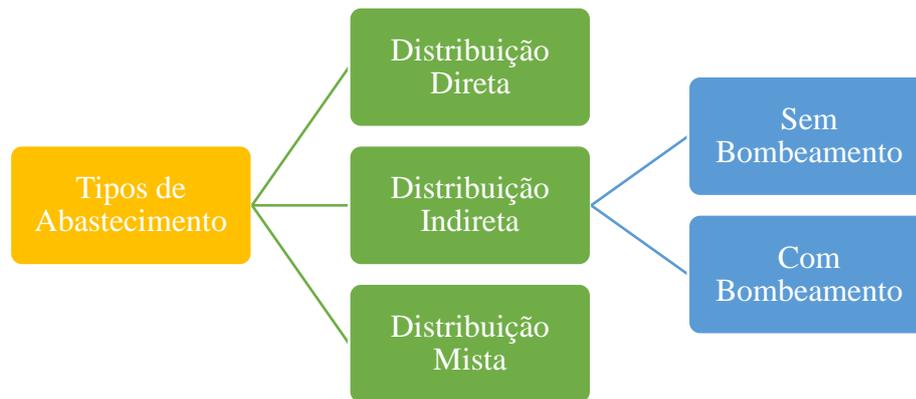
### **2.2 Objetivos Específicos**

- Conceituar o sistema de recalque de água;
- Dimensionar o sistema de recalque de água de forma convencional;
- Dimensionar o sistema de recalque de água utilizando um inversor de frequência;
- Comparar e analisar os impactos econômicos dos equipamentos ao empregar um inversor de frequência no sistema de recalque de água.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Formas de Abastecimento

Nas instalações prediais de água fria, o abastecimento de água pode ser realizado por meio de quatro formas detalhadas na Figura 1, (AZEVEDO NETTO e FERNANDEZ, 2018) .

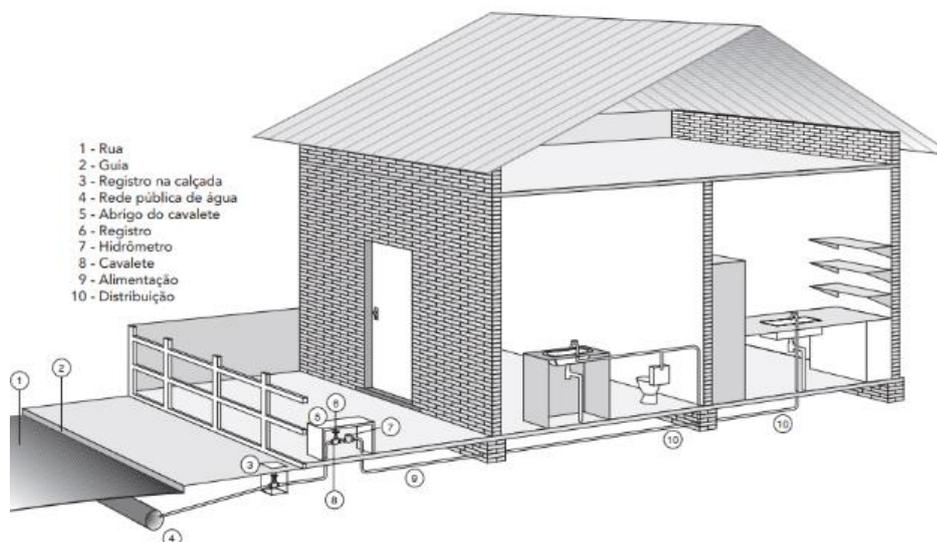


**Figura 1:** Tipos de abastecimento

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto e Fernández (2018)

##### 3.1.1 Distribuição direta

Este tipo de abastecimento ocorre diretamente da rede pública, portanto, não há reservatórios só devem ser utilizados se forem garantidas a sua regularidade e conformidade de fluxo e pressão. Essas garantias são difíceis de serem encontradas no Brasil, tornando este abastecimento pouco comum (BOTELHO e JUNIOR, 2010). Na **Figura 2** é possível observar que o sistema direto é uma continuação da rede pública com uma distribuição ascendente.



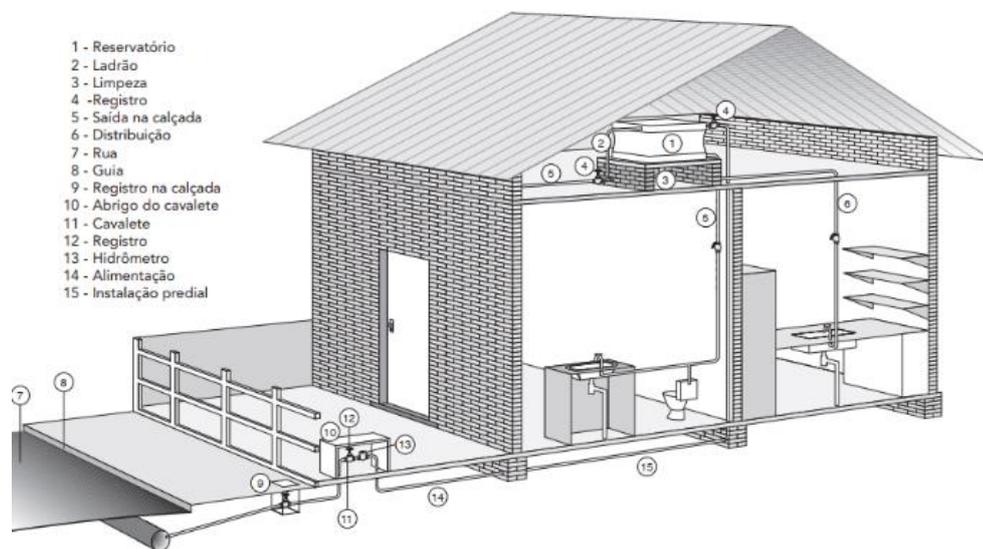
**Figura 2:** Sistema de distribuição direta em residência

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.1.2 Distribuição indireta sem bombeamento

Nesse tipo de distribuição, antes da água ser fornecidas aos aparelhos hidráulicos chegar ela é reservada em um reservatório superior. Magno (2019) salienta que o principal ponto positivo nesse sistema é caso a concessionaria local apresente falhas no abastecimento, a reservação garantirá água por algum tempo. O mesmo autor ainda destaca como desvantagens:

- Não aproveitamento da pressão da rua, ficando assim refém somente da altura do reservatório para garantir pressão nos pontos hidráulicos;
- Possibilidade de contaminação pelo reservatório;
- Custo do reservatório.

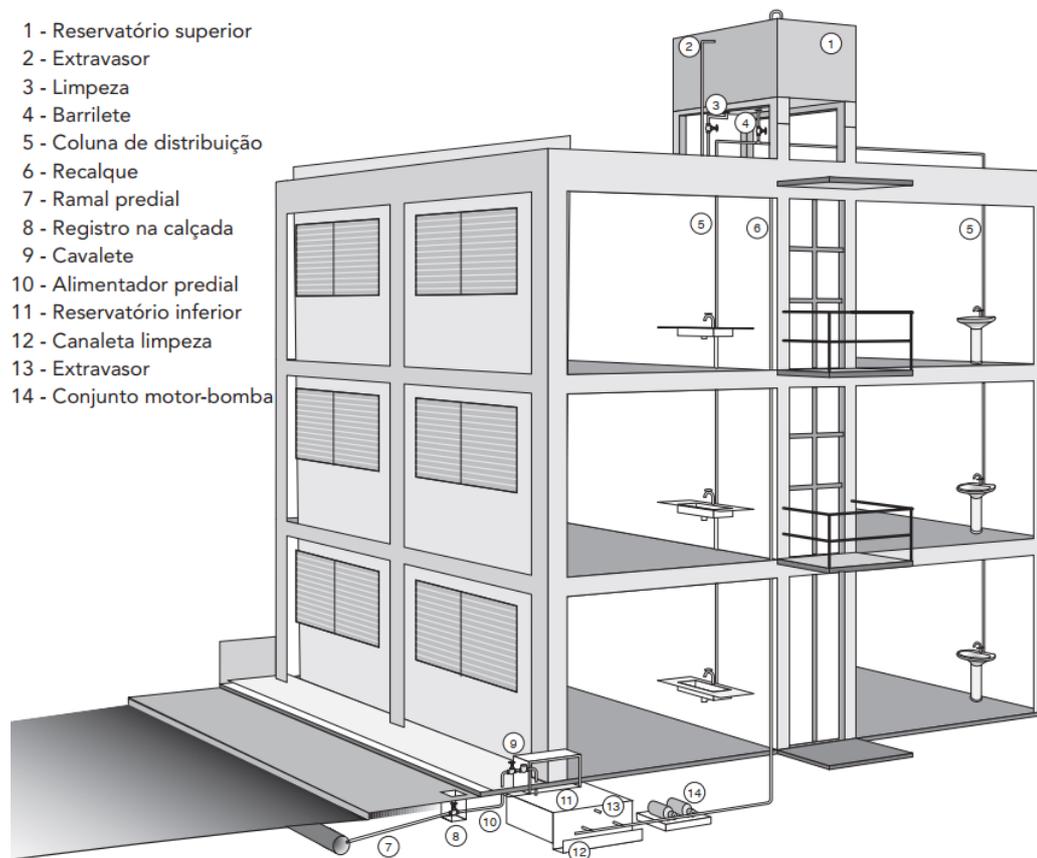


**Figura 3:** Sistema de distribuição indireto, sem bombeamento

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.1.3 Indireto com bombeamento

Em casos de pressão insuficiente ou instabilidade no abastecimento da concessionaria. É necessário adotar um reservatório inferior e uma bomba de recalque, para ter a pressão suficiente levar a água até o reservatório superior (MAGNO, 2019). O autor ainda ressalta que um ponto positivo ao se empregar tal sistema é reduzir o peso em cima da construção, pois a água será dividida em dois reservatórios em contrapartida o sistema apresenta custos adicionais de equipamentos, pois é necessário mais um reservatório e a e bomba.



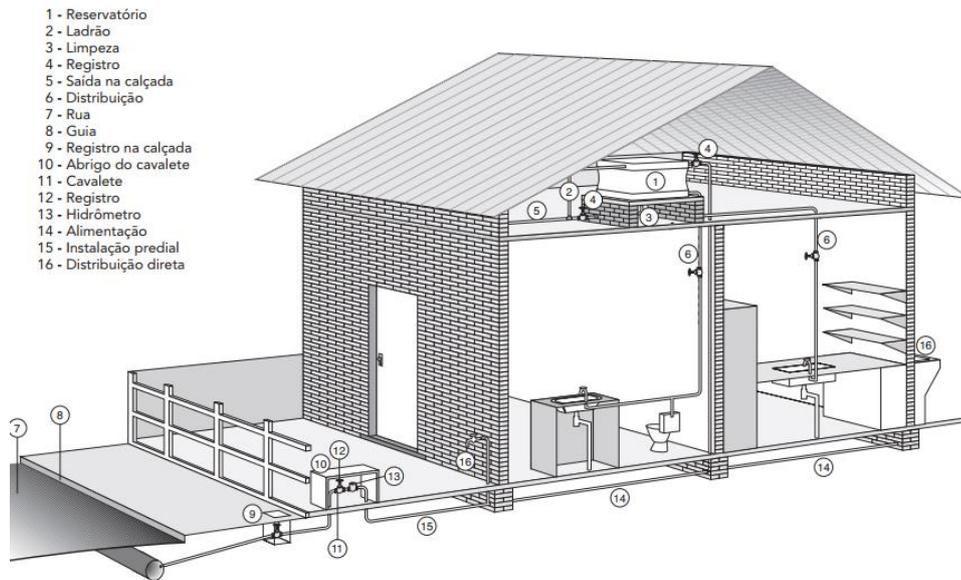
**Figura 4:** Sistema de distribuição indireta com bombeamento

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.1.4 Distribuição mista

Em decorrência das características das redes públicas de água, por conta da conveniência e economia. Conforme Azevedo Netto e Fernández (2018) esse sistema é o mais empregado nas residências e outros consumidores na maioria das cidades brasileiras e latino-americanas, nesse caso tem-se a junção do sistema direto com o indireto (sem bombeamento).

Normalmente alguns pontos de utilização, como torneiras de jardim, torneiras de pia de cozinha e de tanques, situadas no pavimento térreo, são abastecidas pelo sistema direto. É desejável o abastecimento direto também para o ponto do filtro de água, tal prática previne eventual contaminação oriunda dos reservatórios (BOTELHO e JUNIOR, 2010).

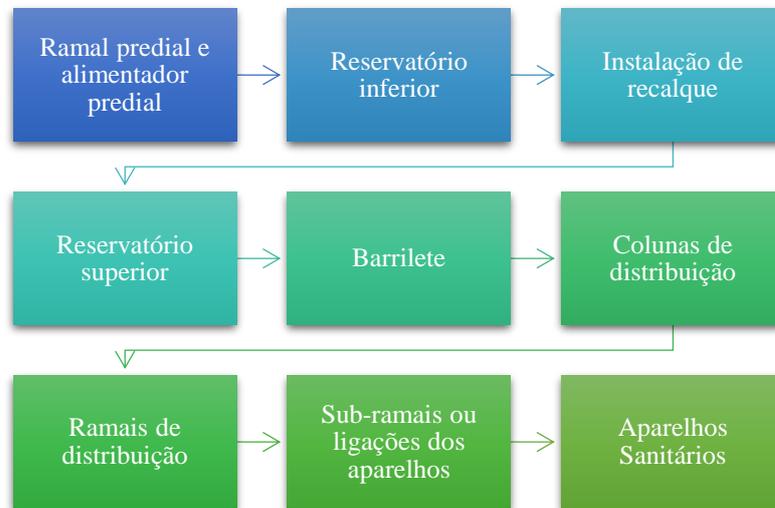


**Figura 5:** Sistema de distribuição misto em residência

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.2 Partes Componentes de uma Instalação Hidráulica Predial

Para Azevedo Netto e Fernández (2018) as principais partes de uma instalação indireta, comumente utilizadas em prédios, podem ser divididas conforme esquema da Figura 6.



**Figura 6:** Partes constituintes de uma instalação predial indireta.

Fonte: Autora (2023).

### 3.3 Perdas de Carga

Conforme Carvalho Júnior (2013) quando um fluido escoar, ocorre um atrito por conta do movimento das partículas. Parte dessa energia é dissipada sob a forma de calor. Isto é, pode se definir que a perda de carga uma canalização é a diferença entre a energia inicial e a energia final de um líquido, quando ele flui em uma canalização de um ponto ao outro.

Azevedo Netto e Fernández (2018) enaltecem que na prática, as canalizações não são constituídas apenas de tubos retos com mesmo diâmetro. Constantemente, elas também são compostas por peças e conexões especiais que, devido à sua forma e disposição, aumentam a turbulência, causam fricção e colisões de partículas ocasionando, portanto, as perdas de carga. Segundo os autores ainda existem outras singularidades na tubulação, como válvulas, amortecedores, medidores etc., que também são responsáveis por perdas dessa natureza.

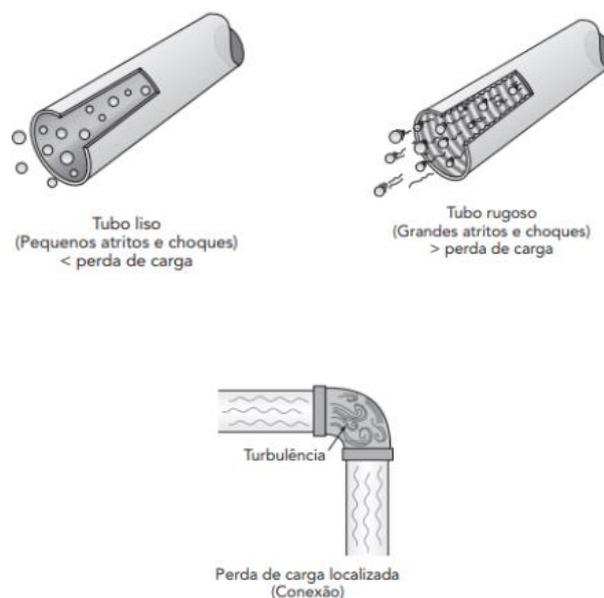
As perdas de carga podem ser divididas em:

- i. Distribuídas (movimento do líquido na canalização);
- ii. Localizadas (ocasionadas por acessórios de tubulações. Ex. conexões, válvulas, registros etc.).

A viscosidade e a turbulência são decisivas para que ocorra uma maior ou menor perda de carga. Carvalho Júnior (2013) destaca que uma maior perda de carga acontece, e uma menor pressão nas peças de utilização, quando se tem uma instalação hidráulica com:

- i. Tubos com grandes comprimentos;
- ii. Muitas conexões;
- iii. Tubos mais rugosos;
- iv. Menores diâmetros (provocam maiores atritos e choques).

De modo geral não existe escoamento em tubulações sem perda de carga. O que se procura fazer nos projetos hidráulicos é reduzi-la aos níveis aceitáveis para que não ocorra uma diminuição de pressão nas peças de utilização. Os tubos de PVC por terem paredes mais lisas que demais materiais, proporcionam perdas de carga menores.



**Figura 7:** Perda de carga

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.3.1 Cálculo da perda de carga

Existem diversas fórmulas que podem ser utilizadas para determinar a perda de carga, como *Prony*, *Weisbach*, *Darcy*, *Flamant* neste estudo em questão será empregada a equação de *Hazen-Williams* como destacado por Azevedo Netto e Fernández (2018) essa fórmula foi resultado de um estudo estatístico minucioso, em que foram considerados dados experimentais disponíveis, obtidos por muitos estudiosos como também dos próprios autores.

A fórmula apresenta uma grande aceitação pois possibilita considerar o envelhecimento dos tubos além de ser aplicada a diversos materiais, grandes diâmetros (50 mm – 3.500 mm) e velocidades de até 3 m/s.

$$J = 10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,88} \quad (1)$$

$J$  = Perda de carga unitária (m/m);

$Q$  = Vazão estimada na seção considerada (m<sup>3</sup>/s);

$C$  = Rugosidade das paredes internas, (consultar ANEXO A — VALORES SUGERIDOS PARA O COEFICIENTE C);

$D$  = diâmetro interno do tubo (m);

Já para determinar as perdas provenientes das conexões, ou seja, perdas localizadas, a NBR 5626 recomenda o método dos comprimentos equivalentes. Os valores a serem adotados nos cálculos, variam conforme características dos tubos, como o material, no Anexo B é possível verificar os comprimentos equivalentes para conexões de PVC/CPVC.

### 3.3.2 Reservação de água fria

Conforme NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020) a capacidade dos reservatórios de uma instalação predial de água fria deve ser construída levando-se em consideração o padrão de consumo de água no edifício e, onde for possível obter informações, a frequência e duração de interrupções do abastecimento. O volume de água reservado para uso doméstico deve ser, no mínimo, o necessário para 24 horas de consumo normal no edifício, sem considerar nesse cálculo a RTI (Reserva técnica de incêndio).

Exceto para residências unifamiliares a norma exige que os reservatórios elevados sejam divididos no mínimo em dois compartimentos, cada um com as seguintes canalizações: entrada, saída, descarga para esvaziamento e limpeza, extravasor e aviso. Sendo que as canalizações devem possuir conexões e registros para funcionarem de forma independente. Tal medida

permite operações de manutenção sem que ocorra interrupção na distribuição de água para os pontos de utilização no edifício.

Sobre a divisão da reservação a norma afirma que:

Nos casos em que há reservatórios inferior e superior, a divisão da capacidade de reservação total deve ser feita de modo a atender às necessidades do SPAFAQ quando em uso normal, às situações eventuais onde ocorra interrupção do abastecimento de água da fonte de abastecimento e às situações normais de manutenção. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020, p. 15).

### 3.3.3 Consumo diário

A NBR 5626 estabelece que as particularidades de cada instalação como, condições climáticas, características de utilização do sistema, tipologia do edifício e a população atendida são parâmetros que devem ser levados em consideração para estimar o consumo diário em um projeto de SPAFAQ (Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente).

Todavia na ausência desses dados, a norma aponta que referencias técnicas, manuais de orientação de concessionárias e dados históricos, como pode ser observado na Tabela 1 e Tabela 2, são elementos que podem contribuir para definição desses dados de projeto.

**Tabela 1:** Taxa de ocupação de acordo com a natureza do local

<b>Natureza do local</b>	<b>Taxa de ocupação</b>
Residências e apartamentos	Duas pessoas por dormitório
Bancos	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Escritórios	Uma pessoa por 6,00 m <sup>2</sup> de área
Lojas (pavimento térreo)	Uma pessoa por 2,50 m <sup>2</sup> de área
Lojas (pavimento superior)	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Shopping centers	Uma pessoa por 5,00 m <sup>2</sup> de área
Museus e bibliotecas	Uma pessoa por 5,50 m <sup>2</sup> de área
Salões de hotéis	Uma pessoa por 5,50 m <sup>2</sup> de área
Restaurantes	Uma pessoa por 1,40 m <sup>2</sup> de área
Teatro, cinemas e auditórios	Uma cadeira para cada 0,70 m <sup>2</sup> de área

**Fonte:** (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

**Tabela 2:** Consumo estimado diário

<b>Edificação</b>	<b>Consumo (L/dia)</b>
Casas e apartamentos residenciais de até 100 m <sup>2</sup> de área construída	150 <i>per capita</i>
Casas e apartamentos residenciais de 101 até 200 m <sup>2</sup> de área construída	200 <i>per capita</i>
Casas e apartamentos residenciais de 201 até 300 m <sup>2</sup> de área construída	300 <i>per capita</i>
Casas e apartamentos residenciais acima de 300 m <sup>2</sup> de área construída	400 <i>per capita</i>

**Fonte:** Adaptado de Saneago (2020)

Conforme apontado por Carvalho Júnior (2013) após consultar material teórico apropriado é possível definir a taxa de ocupação com base no uso da edificação (Tabela 1) e o consumo *per capita* (Tabela 2). Ainda segundo o autor, o consumo diário pode então ser definido pela seguinte fórmula.

$$C_d = P \times qpc \quad (2)$$

$C_d$  = Consumo diário (l/dia);

$P$  = Quantidade de pessoas que ocuparão a edificação;

$qpc$  = Consumo *per capita* (l/dia).

Este consumo, conforme mostrado na relação acima, refere-se ao consumo diário, isto é, apenas para um dia. O item 6.5.6.3 da NBR 5626 afirma que:

O volume total de água potável armazenada no reservatório deve ser limitado a um valor que assegure a sua potabilidade dentro do período de detenção médio, sob utilização normal, de modo a evitar redução excessiva da ação residual do agente desinfetante. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020, p. 15).

Portanto, a capacidade armazenada deverá ser:

$$CR = D \times C_d \quad (3)$$

$CR$  = Capacidade do reservatório (l/dia).

$D$  = Dias sem abastecimento (dia).

### 3.4 Alimentador Predial

O alimentador predial é a tubulação que liga a alimentação da concessionária até o reservatório de água, a vazão a ser considerada é obtida por meio do consumo diário:

$$Q_{AP} \geq \frac{C_D}{86.400} \quad (4)$$

$Q_{AP}$  = Vazão mínima no alimentador predial (m<sup>3</sup>/s);

$C_D$  = consumo diário (l/dia).

Já o diâmetro interno dessa tubulação é calculado por meio da Equação 5, e por meio da Tabela 3 é determinado então o diâmetro externo da tubulação.

$$D_{AP} \geq \sqrt{\frac{4 \times Q_{AP}}{\pi \times v_{AP}}} \quad (5)$$

$D_{AP}$  = Diâmetro do alimentador predial (m);

$v_{AP}$  = velocidade no alimentador predial ( $0,6 < v_{AP} < 1,0$  m/s).

**Tabela 3:** Diâmetros das tubulações de PVC e CPVC

PCV			CPVC		
$D_{ext}(mm)$	$e(mm)$	$D_{int}(mm)$	$D_{ext}(mm)$	$e(mm)$	$D_{int}(mm)$
<b>20</b>	1,5	17	<b>15</b>	1,6	11,8
<b>25</b>	1,7	21,6	<b>22</b>	2	18
<b>32</b>	2,1	27,8	<b>28</b>	2,5	23
<b>40</b>	2,4	35,2	<b>35</b>	3,2	28,6
<b>50</b>	3	44	<b>42</b>	3,8	34,4
<b>60</b>	3,3	53,4	<b>54</b>	4,9	44,2
<b>75</b>	4,2	66,6	<b>73</b>	6,6	59,8
<b>85</b>	4,7	75,6	<b>89</b>	8,1	72,8
<b>110</b>	6,1	97,8	<b>114</b>	10,4	93,2

Fonte: Tigre

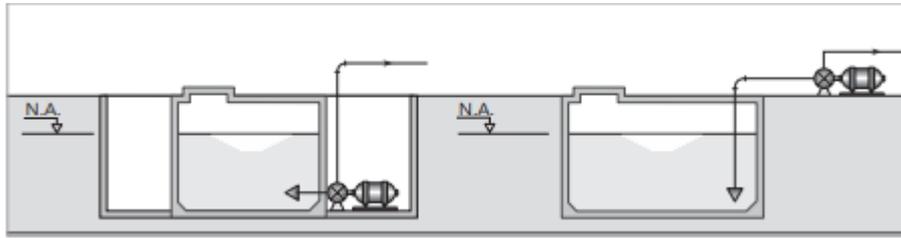
### 3.5 Instalações de Recalque

O sistema de recalque ou elevatório é o agrupamento de tubulações, acessórios, bombas e motores obrigatórios para transportar uma certa vazão de água ou qualquer outro líquido de um reservatório inferior  $R_1$ , locado na cota  $Z_1$ , para outro reservatório superior  $R_2$ , na cota  $Z_2 > Z_1$ . Nos casos mais comuns de sistemas de abastecimento de água (PORTO, 2006). Um sistema de recalque consiste no geral em três partes:

- i. Tubulação de sucção: é a canalização que liga o  $R_1$  até a bomba, incluindo os acessórios como registros, curvas, redução excêntrica dentre outros;
- ii. Conjunto elevatório: conjunto moto + bomba, deve-se ter no mínimo um reserva.
- iii. Tubulação de recalque: canalização que liga a bomba ao reservatório superior  $R_2$ , incluído nessa parte registros, válvula de retenção, manômetros, curvas e caso necessário, equipamentos com a função de controlar os efeitos do golpe de aríete.

Existe duas formas para a instalação da bomba de recalque, conforme a Figura 8. A disposição da bomba pode ser afogada, isso ocorre quando a cota de instalação do eixo da bomba está abaixo da cota do nível d'água do reservatório inferior  $R_1$ . Além disso existe a

opção de bomba não afogada, método mais utilizado, em que a bomba fica em um nível mais elevado em relação a cota do nível d'água do reservatório inferior.



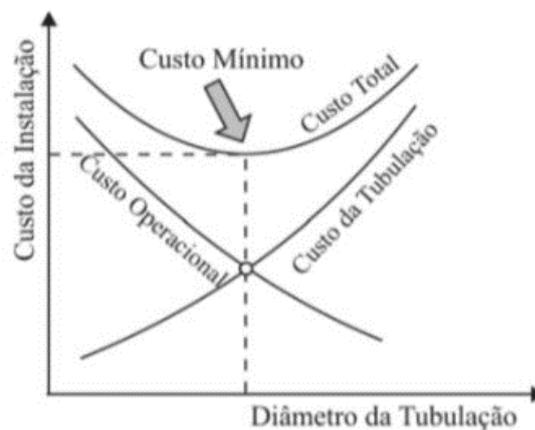
**Figura 8:** Tipos de disposição da bomba de recalque

Fonte: (CARVALHO JÚNIOR, 2013)

### 3.6 Dimensionamento Econômico da Tubulação de Recalque

No desenvolvimento de qualquer projeto deve haver uma harmonia entre os requisitos técnicos de desempenho, a segurança e o custo. No caso das tubulações o custo da unidade de comprimento, está diretamente relacionada ao seu peso, que depende do diâmetro interno e da espessura de sua parede, deve-se considerar também gastos indiretos, podendo ser citados mão de obra, transporte do material etc.

Como detalhado por Lima (2022) e representado na Figura 9, um diâmetro de tubo maior significa uma perda de carga menor, uma altura manométrica menor e, como resultado, uma potência menor do conjunto motobomba. Os custos de energia são, portanto, mais baixos, apesar dos maiores investimentos para implementação das tubulações. Já quando se tem um diâmetro menor da tubulação para a mesma vazão, significa uma maior perda de carga, uma maior altura manométrica e, conseqüentemente, uma maior potência do conjunto motobomba. Assim o investimento inicial é pequeno, mas o gasto com energia para acionar a bomba é maior.



**Figura 9:** Diâmetro econômico

Fonte: (LIMA, 2022)

### 3.6.1 Funcionamento descontínuo

Para um funcionamento descontínuo, o diâmetro pode ser calculado por meio da fórmula de *Forchheimer*:

$$D_e = 1,3 \times \sqrt[4]{\frac{t}{24}} \times \sqrt{Q} \quad (6)$$

$D_e$  = diâmetro econômico (m);

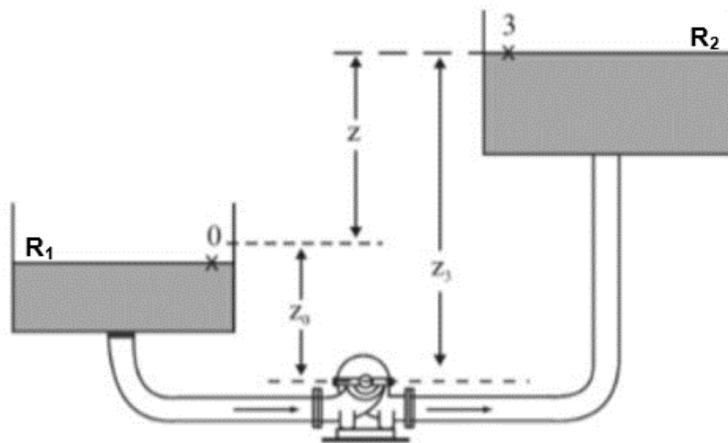
$t$  = tempo de funcionamento por dia (h);

$Q$  = Vazão ( $m^3/s$ ).

### 3.7 Sistemas de Bombeamento

As bombas são máquinas geratrizes que tem como função deslocar líquidos por escoamento (MACINTYRE, 1997). Elas transformam o trabalho mecânico provenientes de fontes externas em energia de pressão e cinética, que são repassadas ao líquido.

Nas instalações de água ou esgoto normalmente são empregadas bombas centrífugas, mas existem outros tipos como rotativas, êmbolo (ou de pistão) e de poço profundo (tipo turbina). A Figura 10 ilustra um sistema de bombeamento como reservatórios fechados e pressurizados.



**Figura 10:** Sistema de bombeamento

Fonte: (LIMA, 2022)

No sistema de bombeamento mostrado na Figura 10, a energia específica necessária para transferir o líquido do reservatório " $R_1$ " para o reservatório de " $R_2$ " durante o tempo " $t$ " corresponde exatamente à energia específica " $H$ " desejado do sistema de bombeamento, sendo que a bomba fornece esta energia " $H$ " ao líquido.

Para determinar a energia " $H$ " que deve ser fornecida ao líquido pode ser determinada aplicando-se Teorema de Bernoulli entre os pontos 0 e 3. Conforme Lima (2022) a energia específica no ponto 3 " $H_3$ " é igual à energia específica no ponto 0 " $H_0$ " mais a energia específica fornecida ao líquido " $H$ " menos a energia específica perdida " $H_f$ " entre os pontos 0 e 3. Portanto temos:

$$H_3 = H_0 + H - H_f$$

$$H = (z_3 - z_0) + \left( \frac{P_3}{\gamma} - \frac{P_0}{\gamma} \right) + \left( \frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} \right) + H_f$$

Ainda segundo Lima (2022) na prática despreza-se a diferença entre a energia específica de velocidade por ser muito pequena em relação à energia específica de pressão, dessa forma a equação se reduz, ficando assim:

$$H = (z_3 - z_0) + \frac{(P_3 - P_0)}{\gamma} + H_f \quad (7)$$

$z_3 - z_0$  = desnível entre os reservatórios (m);

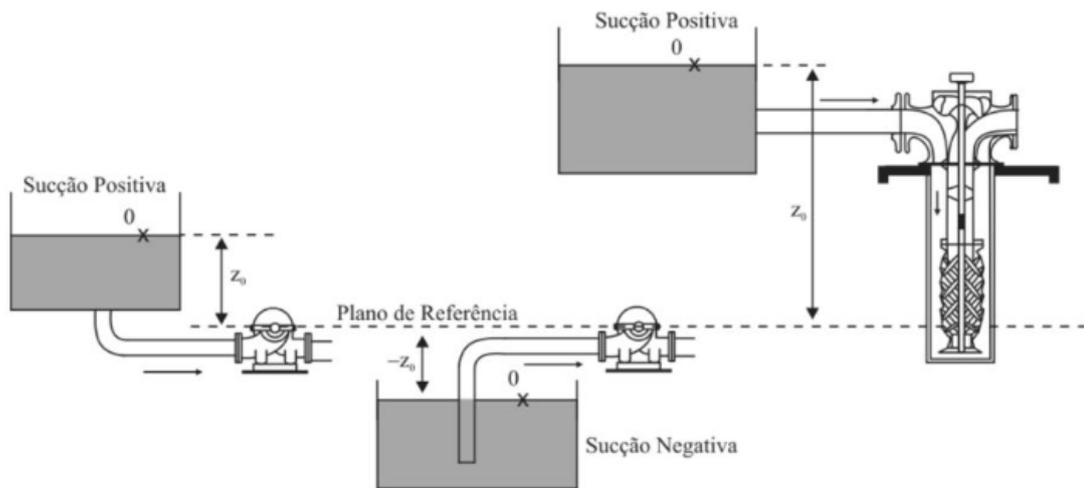
$P_3 - P_0$  = diferença de pressão entre os reservatórios (kPa);

$\gamma$  = Peso específico, água ou esgoto: 1.000 kgf/m<sup>3</sup>;

$H_f$  = Perda de carga total do sistema de tubulação (m).

### 3.7.1 Alturas geométricas

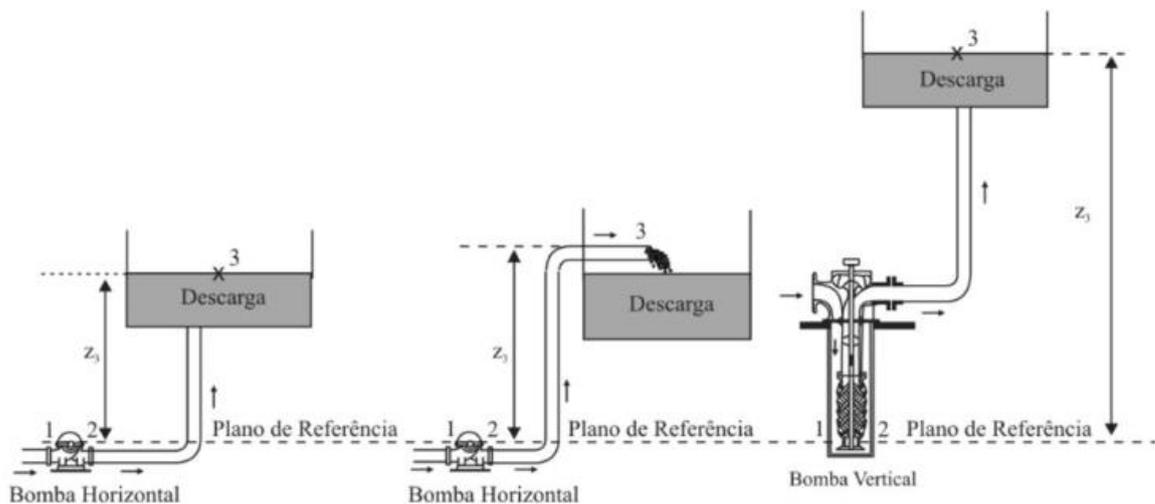
É denominada como altura geométrica de sucção " $z_0$ " a diferença entre o nível do líquido do " $R_1$ " e o eixo de centro da bomba. Esse nível pode ser positivo ou negativo, caso o nível do líquido esteja acima do plano de referência (eixo da bomba) ele será positivo, se estiver abaixo será negativo (LIMA, 2022).



**Figura 11:** Sistemas hidráulicos de sucção

Fonte: (LIMA, 2022)

Lima (2022) define a altura geométrica de recalque " $z_3$ " como a diferença de cotas entre o nível mais alto do líquido no " $R_2$ ", ou da tubulação de recalque e o eixo da bomba. Conforme a Figura 12.



**Figura 12:** Sistemas hidráulicos de recalque

Fonte: (LIMA, 2022)

### 3.7.2 Altura manométrica

Conforme pode ser consultado na obra do Lima (2022), a altura manométrica pode ser calculada por meio da seguinte fórmula:

$$H_{man} = z + \left( \frac{P_3}{\gamma} - \frac{P_0}{\gamma} \right) + H_f \quad (8)$$

$H_{man}$  = Altura manométrica (m);

$z$  = Desnível entre os reservatórios (m);

$\left(\frac{P_3}{\gamma} - \frac{P_0}{\gamma}\right)$  = Diferença de carga de pressão entre os reservatórios (kPa);

$\gamma$  = Peso específico da água: 1.000 kgf/m<sup>3</sup>;

$H_f$  = Perda de carga total do sistema de tubulação (m).

### 3.7.3 Potência dos conjuntos elevatórios

O conjunto elevatório (bomba-motor) deve vencer a diferença de nível entre os dois pontos, mais as perdas de carga que irão ocorrer durante o percurso. A potência do conjunto é estimada por meio da seguinte expressão:

$$P = \frac{\gamma Q H_{man}}{75\eta} \quad (9)$$

$P$  = Potência em cv ou HP (1 cv equivale a 0,986 HP);

$\gamma$  = Peso específico (água): 1.000 kgf/m<sup>3</sup>;

$Q$  = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

$H_{man}$  = altura manométrica (m);

$\eta$  = rendimento global do conjunto ( $\eta_{motor} \cdot \eta_{bomba}$ )

Os autores Azevedo Netto e Fernández (2018) propõem uma simplificação na Equação 9, ao adotar-se um rendimento global médio de 67% e exprimindo a vazão em l/s tem-se:

$$P = \frac{QH_{man}}{50} \quad (10)$$

Outra maneira mais assertiva para determinar a potência do conjunto é consultar o catálogo dos fabricantes de bombas para abastecimento predial, como por exemplo da marca Schneider.

### 3.7.4 Potência instalada

De acordo com Lima (2022) a ISO 13709 e API 610 recomendam que seja previsto um acréscimo na potência, sendo:

- i. 25% para bombas de até 30 HP;
- ii. 15% para bombas de 30 HP a 75 HP;
- iii. 10% para bombas acima de 75 HP.

### 3.7.5 Rendimento do conjunto

O rendimento do conjunto motobomba representa a eficiência de operação do equipamento Azevedo Netto e Fernández (2018) salientam que a variação dessa eficácia (das bombas e dos motores), está atrelado até certo ponto com a potência, motivos construtivos, temperatura e altitude.

Na Tabela 4 são apresentados os rendimentos mínimos de motores elétricos, de 1 cv até 250 cv. Já na Tabela 5 para fins de estimativa são apresentados rendimentos de bombas centrífugas de 1.800 rpm.

**Tabela 4:** Média de rendimento de motores elétricos

Potência disponível		Polos do motor				Potência disponível		Polos do motor			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos			2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
CV (HP)	kW	3600 rpm (*1)	1800 rpm (*1)	1200 rpm (*1)	900 rpm (*1)	CV (HP)	kW	3600 rpm (*1)	1800 rpm (*1)	1200 rpm (*1)	900 rpm (*1)
<b>0,16</b>	0,12	-	-	-	-	25	18,5	91,00	92,40	91,70	89,50
<b>0,25</b>	0,18	-	-	-	-	30	22	91,00	92,40	91,70	91,00
<b>0,33</b>	0,25	-	-	-	-	40	30	91,70	93,00	93,00	91,00
<b>0,5</b>	0,37	65,00	-	-	-	50	37	92,40	93,00	93,00	91,70
<b>0,75</b>	0,55	70,00	-	-	-	60	45	93,00	93,60	93,60	91,70
<b>1</b>	0,75	80,00	80,50	80,00	70,00	75	55	93,00	94,10	93,60	93,00
<b>1,5</b>	1,1	82,50	81,50	77,00	77,00	100	75	93,60	94,50	94,10	93,00
<b>2</b>	1,5	83,50	84,00	83,00	82,50	125	90	94,50	94,50	94,10	93,60
<b>3</b>	2	85,00	85,00	83,00	84,00	150	110	94,50	95,00	95,00	93,60
<b>4</b>	3	85,00	86,00	85,00	84,50	175	132	94,70	95,00	95,00	-
<b>5</b>	3,7	87,50	87,50	87,50	85,50	200	150	95,00	95,00	95,00	-
<b>6</b>	4,5	88,00	88,50	87,50	85,50	250	185	95,40	95,00	-	-
<b>7,5</b>	5,5	88,50	89,50	88,00	85,50	300	200	-	-	-	-
<b>10</b>	7,5	89,50	89,50	88,50	88,50	350	260	-	-	-	-
<b>12,5</b>	9,2	89,50	90,00	88,50	88,50	400	300	-	-	-	-
<b>15</b>	11	90,20	91,00	90,20	88,50	450	330	-	-	-	-
<b>20</b>	15	90,20	91,00	90,20	89,50	500	370	-	-	-	-

(\*1) rpm nominal.

Fonte: (AZEVEDO NETTO e FERNANDEZ, 2018)

**Tabela 5:** Média de rendimento de bombas centrífugas

Rendimento de bombas centrífugas											
Q(l/s)	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	100	200
$\eta_{bomba}$	52%	61%	66%	68%	71%	75%	80%	84%	85%	87%	88%

Fonte: (AZEVEDO NETTO e FERNANDEZ, 2018)

### **3.8 Inversores de Frequência**

Dentre os vários objetivos dos acionamentos de motores elétricos, está o controle de velocidade e de torque, que pode ser efetuado através de diversas soluções, entre elas está o uso de inversores de frequência (FORTES, ANTUNES e PEREIRA, 2012).

Ao utilizar um inversor de frequência no acionamento da motobomba, ela não atuará de forma escusada, e o seu motor não trabalhará fora das condições normais, descritas em seu manual. Oliveira traz a seguinte definição do dispositivo:

Um inversor de frequência é um dispositivo destinado ao controle e variação da velocidade de motores de indução trifásicos, para isso ele é capaz de gerar tensão e frequência trifásicas ajustáveis. Os inversores possibilitam um acionamento suave do motor evitando possíveis quebras, podendo ser usados como dispositivos de segurança para problemas da rede elétrica, como sobrecarga, quebra de tensão, entre outros. A função do inversor de frequência não se limita a controlar a velocidade de um motor, ele precisa também manter o torque constante para que não haja alteração na rotação. (OLIVEIRA, 2016).

Algumas vantagens apontadas por Rodrigues (2007) no uso dos inversores são:

- i. Economia de energia;
- ii. Controle de velocidade, conseqüentemente o conjunto será submetido a uma carga menor;
- iii. Melhor eficiência;
- iv. Eficácia em emergências (exemplo: caso de incêndio);
- v. Aumento da vida útil dos equipamentos.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Descrição da edificação**

A edificação utilizada como estudo de caso trata-se de uma habitação coletiva com 41.983,39 m<sup>2</sup> construídos contemplando subsolo, térreo, pavimento garagem 01, pavimento garagem 02, mezanino lazer e 31 pavimentos tipos, totalizando assim 36 pavimentos e 310 unidades habitacionais. Cada pavimento tipo da edificação possui 10 apartamentos, no Anexo C é possível ter uma percepção da arquitetura empregada.

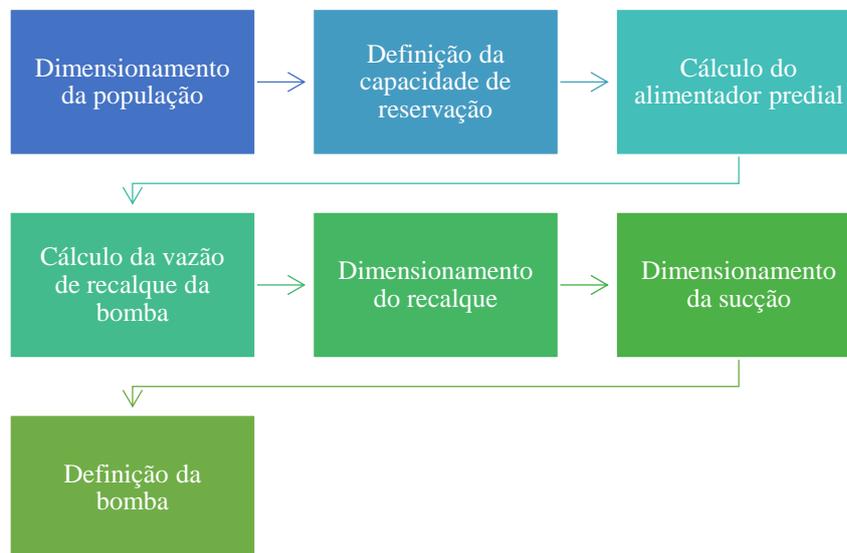
### **4.2 Metodologia de Dimensionamento**

O roteiro para realizar o dimensionamento do sistema de recalque com e sem inversor de frequência se fundamenta na NBR 5626 (2020) e na literatura já citada neste trabalho. Neste

estudo, as motobombas Schneider e inversores de frequência WEG foram escolhidos para serem utilizados no cenário de estudo por serem marcas conceituadas e referências no setor.

Para comparar o efeito do uso de um conversor de frequência, foram assumidos quatro tempos diferentes de funcionamento da bomba quando este dispositivo foi incluído no sistema.

Portanto, para entender o caso, analisou-se os cenários de adução com a unidade motobomba funcionando por 6 horas sem inversor de frequência e adução com inversor de frequência com a motobomba funcionando por 9, 12, 15 e 18 horas de modo a compreender qual cenário apresenta melhor custo-benefício técnico, econômico e energético. Visando facilitar o entendimento os casos serão denominados respectivamente como A, B, C, D e E. Segue abaixo fluxograma com as etapas usadas para realizar o dimensionamento dos cenários mencionados:



**Figura 13:** Rotina para realizar dimensionamento da adução

Fonte: Autora (2023)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Sistema de Recalque Dimensionado Sem Inversor de Frequência

Abaixo será descrito o passo a passo de todo o dimensionamento realizado sem inversor de frequência, caso denominado A, que é o método convencional onde se tem uma bomba centrífuga que funciona durante um intervalo de tempo e o controle da vazão é realizado por uma válvula. No Anexo D é possível visualizar o 3D do sistema de recalque.

- **Passo 1: Dimensionamento da população**

Como a edificação conta com 31 pavimentos tipos e em cada pavimento tem 10 apartamentos, para simplificação dos cálculos foi considerado que em cada apartamento conta com 3 dormitórios, sendo 2 pessoas por dormitórios. Portanto a população máxima da edificação seria de 1.860 pessoas, entretanto não é um valor real pois na grande maioria dos casos as famílias são compostas por um casal e dois filhos (segundo o IBGE, a taxa de fecundidade das brasileiras no ano de 2021 foi 1,76 filhos por mulher), diante disso foi limitado que a quantidade máxima de pessoas por apartamento é de 4 pessoas, mantendo ainda o cálculo bem conservador, dessa forma chegou-se em população de 1.240 pessoas.

- **Passo 2: Capacidade de reservação**

O volume de água consumido pelos habitantes se dá através das áreas dos apartamentos conforme Tabela 2, como as áreas dos apartamentos variam entre 74 e 90 m<sup>2</sup>, o consumo considerado foi de 150 L/pessoa/dia. Portanto usando a Equação 2 o consumo diário da edificação é de 186.000 L, no projeto foi considerado uma reservação de água de 1,3 dias para minimizar impactos em caso da interrupção do fornecimento de água por parte da concessionária responsável, resultando assim numa reserva de 241.800 L.

No projeto como uma solução de engenharia por viabilidade arquitetônica em relação aos espaços para dispor os reservatórios, ficou definido que o reservatório inferior ficaria com 40.000 L e o superior com o restante, isto é, 201.800 L.

Além disso é necessário considerar a reserva técnica de incêndio, consultando então a NT 22/2014 - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio, do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, o edifício deve possuir uma RTI de 35.000 L que deverá ser prevista locação no reservatório superior. Portanto o volume total dos reservatórios é de 276.800 L.

- **Passo 3: Cálculo do alimentador predial**

A vazão mínima a ser considerada no alimentador predial, calculada através da Equação 4, é de 0,00215 m<sup>3</sup>/s (importante salientar que o volume da RTI não é considerado no cálculo), no projeto foi adotada uma velocidade de 0,6 m/s, conforme destacado pelos autores Azevedo Netto e Fernández (2018) essa é uma sugestão realizada pela NBR 12218 (2017). Usando então a Equação 5 chega-se no diâmetro interno de 68 mm, consultando a Tabela 3 (parte de PVC) é possível verificar que o diâmetro calculado não é comercialmente produzido, então adotando o diâmetro comercial mais próximo chega-se no valor de 85 mm.

• **Passo 4: Cálculo da vazão de recalque da bomba**

Para o dimensionamento da vazão da bomba foi adotado um tempo de funcionamento de 6 horas, que é usual nesses casos. Portanto dividindo o consumo diário por esse tempo a bomba terá uma vazão de recalque de 31,00 m<sup>3</sup>/h ou 0,00861 m<sup>3</sup>/s.

• **Passo 5: Dimensionamento do recalque**

O material da tubulação de recalque utilizada no projeto foi de CPVC (policloreto de Vinila Clorado), embora apresente similaridade com o PVC (Cloroeto de Polivinila) tanto em nome como nos elementos que o compõe, o CPVC apresenta resistência superior ao calor e à pressão, por conseguinte torna-se um material mais interessante para ser empregado no trecho em questão.

Através da Equação 6, foi possível determinar que o diâmetro interno calculado do recalque é de 85,30 mm, adotando-se o diâmetro nominal (DN) mais próximo temos então o valor de 114 mm, o trecho de recalque conta com um comprimento horizontal de 24,56 m e um comprimento vertical de 115,44 m. Na Tabela 6 está a relação de todas as peças empregadas nesse trecho e a perda de carga ocorrida.

**Tabela 6:** Comprimento equivalente das conexões no recalque sistema A

<b>Quantidade</b>	<b>Descrição</b>	<b>L. Equivalente Unitário (m)</b>	<b>L. Equivalente Total (m)</b>
<b>12</b>	Joelho 90°	4,30	51,60
<b>1</b>	Joelho 45°	1,90	1,90
<b>1</b>	Tê saída de lado	8,30	8,30
<b>2</b>	Tê saída bilateral	8,30	16,60
<b>1</b>	Entrada normal	2,20	2,20
<b>1</b>	Válvula retenção vertical	16,00	16,00
<b>3</b>	Registro gaveta aberto	1,00	3,00
<b>L. equivalente (m)</b>			99,60
<b>L. real (m)</b>			140,00
<b>L. total (m)</b>			239,60
<b>Perda de carga unitária (m/m)</b>			0,01867
<b>Perda de carga no trecho (mca)</b>			4,47

Fonte: Autora (2023)

• **Passo 6: Dimensionamento da sucção**

Já para o trecho da sucção, é empregado o PVC. O diâmetro de sucção é o DN imediatamente superior ao diâmetro de recalque, portanto o diâmetro adotado para a sucção será de 110 mm (o diâmetro máximo de PCV disponível comercialmente do catálogo técnico

consultado para desenvolvimento desse estudo é de 110 mm, então não conseguimos adotar um diâmetro superior ao do recalque que nesse caso é de 114 mm). O trecho de sucção nesse projeto conta apenas comprimento horizontal de 17,70 m, o cálculo da perda de carga é realizado da mesma forma do passo anterior, na Tabela 7 é possível verificar todas as peças do trecho e a perda de carga ocasionadas por elas.

**Tabela 7:** Comprimento equivalente das conexões na sucção sistema A

Quantidade	Descrição	L. Equivalente Unitário (m)	L. Equivalente Total (m)
8	Joelho 90°	3,90	31,20
2	Tê passagem direta	2,50	5,00
1	Tê saída de lado	8,00	8,00
1	Válvula Retenção Horizontal	9,30	9,30
1	Registro gaveta aberto	0,90	0,90
<b>L. equivalente (m)</b>			54,40
<b>L. real (m)</b>			17,70
<b>L. total (m)</b>			72,10
<b>Perda de carga unitária (m/m)</b>			0,01507
<b>Perda de carga no trecho (mca)</b>			1,09

Fonte: Autora (2023)

#### • Passo 7: Definição da bomba

É adotado que as pressões nos reservatórios são iguais portanto utilizando a Equação 8, tem-se que a altura manométrica da bomba é de 121,00 m. Calculando a potência da bomba através da Equação 10, seria encontrado uma potência de 20,84 cv, conforme já mencionado no item 3.7.4 seria necessário ainda adotar uma margem de segurança de 25% acarretando um conjunto de 26,05 cv, todavia optando pela opção mais assertiva de consultar os catálogos de fabricantes de bombas, pode ser observado na Tabela 8, a motobomba da marca Schneider que consegue atender com plenitude o sistema o projeto.

**Tabela 8:** Características da bomba que atende o sistema A

Fabricante	Modelo	Pot. (cv)	Altura Manométrica Total (m.c.a.)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Schneider	065-040-250 F/MANC	50,00	125,00	53,60

Fonte: Autora (2023)

## 5.2 Sistema de Recalque Dimensionado Com Inversor de Frequência

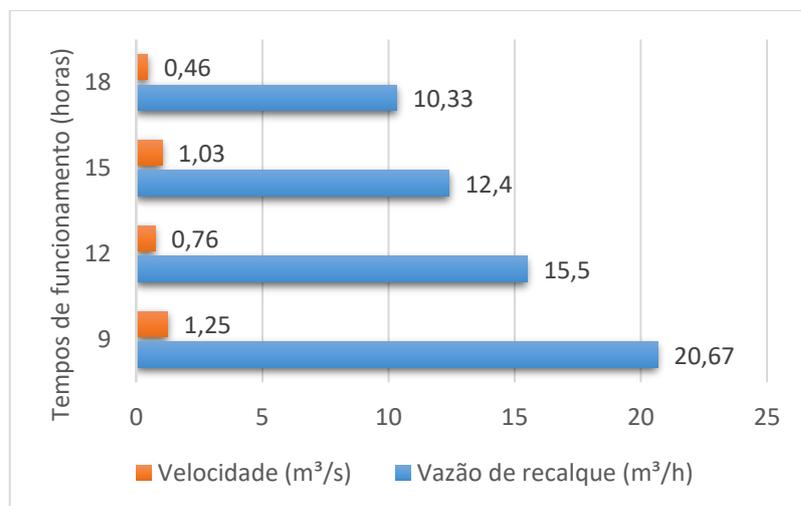
Agora o mesmo sistema de recalque será redimensionado utilizando um inversor de frequência. Apesar de o tempo de funcionamento adotado para os casos B, C, D e E serem maiores que o caso A, ao empregar um inversor existirá uma economia de energia devido as leis de semelhança, a vazão é diretamente proporcional a rotação, e a potência diretamente

proporcional a rotação ao cubo, implicando assim em uma menor vazão recalçada e consequentemente uma potência consumida menor (RODRIGUES, 2007).

Os resultados obtidos no passo 1, 2 e 3 descritos anteriormente não são alterados ao empregar o dispositivo. Portanto as diferenças nos resultados ocorreram a partir do passo 4, conforme é possível verificar a seguir:

#### • Passo 4: Cálculo da vazão de recalque da bomba

Realizando o mesmo cálculo já descrito, para os diferentes tempos de funcionamento da bomba, chegou-se nos seguintes valores de vazão e velocidade:

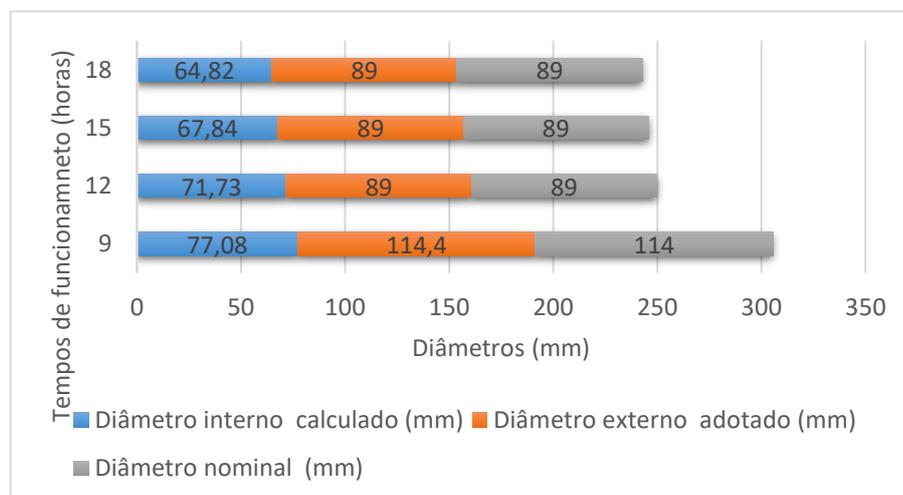


**Figura 14:** Vazões de recalque com inversor de frequência casos B, C, D e E

Fonte: Autora (2023)

#### • Passo 5: Dimensionamento do recalque

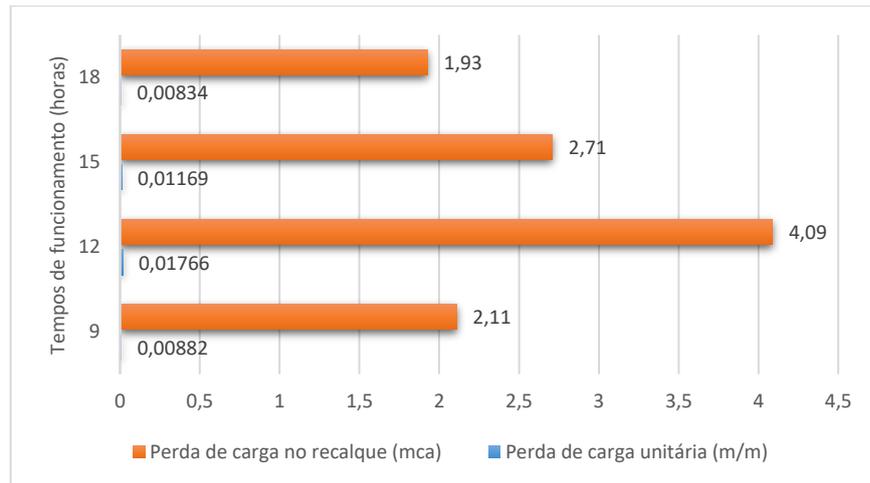
Para os quatro tempos de funcionamento foram calculados os seguintes diâmetros:



**Figura 15:** Diâmetros de recalque casos B, C, D e E

Fonte: Autora (2023)

Conforme pode ser verificado na Figura 15, apesar dos diâmetros internos calculados serem distintos, a diferença foi significativa o bastante para alterar o diâmetro externo a partir de 12 horas de funcionamento, portanto no caso B o comprimento equivalente total das conexões permaneceu igual ao caso A (99,60 m), e os demais casos passaram a ter um comprimento equivalente de 54,40 m. Como para cada situação existe uma vazão distinta, isso implica em diferentes perdas de carga conforme pode ser observado na Figura 16.

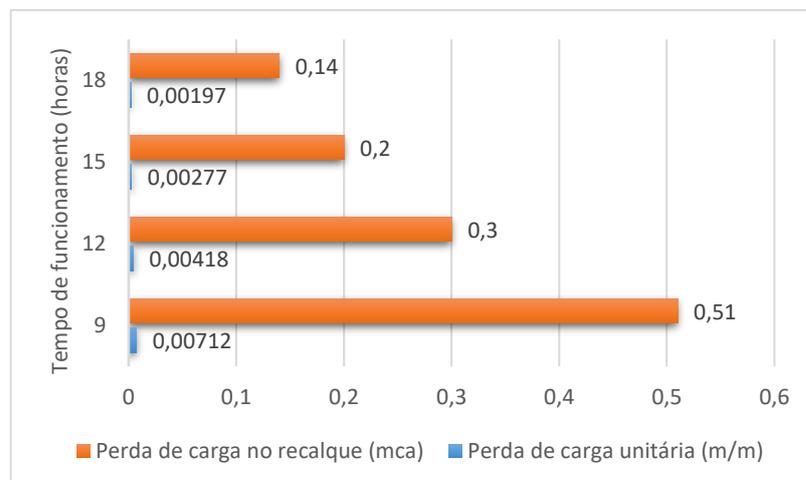


**Figura 16:** Perdas de carga nos trechos de recalque casos B, C, D e E

**Fonte:** Autora (2023)

#### • Passo 6: Dimensionamento da sucção

Na sucção o diâmetro externo permaneceu igual a 110 mm em todos os casos, como já explicado no passo 6 do dimensionamento sem inversor. Conforme mencionado no passo anterior na sucção também se tem diferenças nas perdas de carga devido as vazões distintas de cada cenário avaliado como demonstrado na Figura 17.

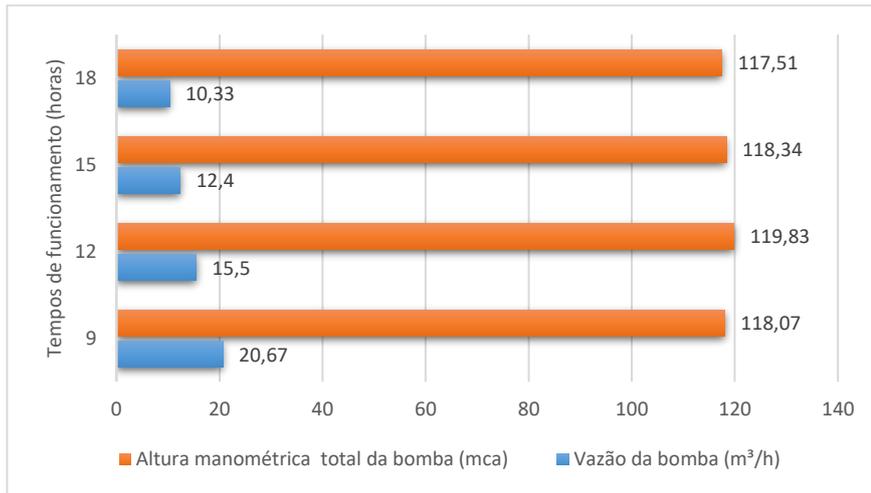


**Figura 17:** Perdas de carga no trecho de sucção casos B, C, D e E

**Fonte:** Autora (2023)

### • Passo 7: Definição da bomba

Na Figura 18, é possível verificar um resumo das características calculadas da bomba do sistema de recalque para os diferentes tempos de funcionamentos adotados, já na Tabela 9 é possível observar qual motobomba das marcas Schneider poderiam ser empregadas em cada um desses sistemas.



**Figura 18:** Características do sistema de recalque casos B, C, D e E

Fonte: Autora (2023)

**Tabela 9:** Características da bomba que atende os casos B, C, D e E

Tempo de funcionamento (horas)	Fabricante	Modelo	Pot. (cv)	Altura Manométrica Total (m.c.a.)	Vazão (m³/s)
9	Schneider	065-040-250 F/MANC	40,00	120,00	24,70
12					
15					
18					

Fonte: Autora (2023)

### 5.3 Custo dos equipamentos dos sistemas

Na Tabela 10 podemos verificar um resumo das principais características calculadas para cada um dos sistemas. Foi possível notar que ao empregar o inversor de frequência e conseqüentemente aumentar o tempo de funcionamento da bomba, a vazão da bomba diminuiu acarretando assim em diâmetros internos calculados menores, a partir do caso C foi possível então adotar um diâmetro menor para o recalque.

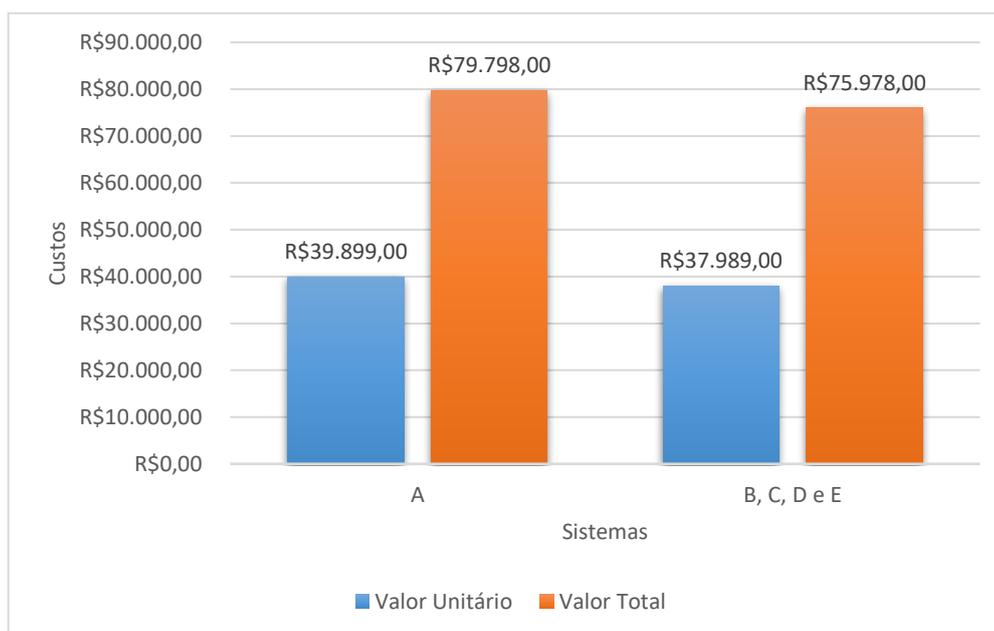
Analisando o impacto econômico que a diminuição do diâmetro causa, é possível encontrar o tubo CPVC aquatherm 4"(114 mm) x 3 m tigre por R\$1.066,05, enquanto o mesmo tubo de 3"(89 mm) x 3 m apresenta o valor de R\$584,02, isto é, uma diferença de 54,78%, sendo que o comprimento real do trecho de recalque é de 140,00 metros somente em relação ao tubos empregados pode-se concluir que uma economia significativa acontece nos casos C, D e E. já na sucção o diâmetro em todos os casos analisados permaneceu inalterado.

**Tabela 10:** Resumo das características dos sistemas analisados

Caso	Recalque			Sucção			Bomba		
	Material do trecho	DI calculado (mm)	DN adotado (mm)	Perda de carga no trecho (mca)	Material do trecho	DN adotado (mm)	Perda de carga no trecho (mca)	Altura manométrica total (mca)	Vazão (m³/h)
<b>A</b>	CPVC	85,30	114	4,47	PVC	110	1,09	121,00	31,00
<b>B</b>	CPVC	77,08	114	2,11	PVC	110	0,51	118,07	20,67
<b>C</b>	CPVC	71,73	89	4,09	PVC	110	0,30	119,83	15,50
<b>D</b>	CPVC	67,84	89	2,71	PVC	110	0,20	118,34	12,40
<b>E</b>	CPVC	64,82	89	1,93	PVC	110	0,14	117,51	10,33

Fonte: Autora (2023)

Realizando a cotação dos equipamentos foi possível verificar que houve uma diferença de 4,78% no valor das motobombas (cada sistema com duas motobombas), como pode ser observado na Figura 19. Para o sistema A o conjunto de motobombas teria um custo total de R\$ 79.798,00 enquanto o modelo da motobomba que pode ser implantado nos demais sistemas apresenta um custo total de R\$ 75.978,00 acarretando assim numa economia de R\$ 3.820,00.



**Figura 19:** Custo motobombas

Fonte: Autora (2023)

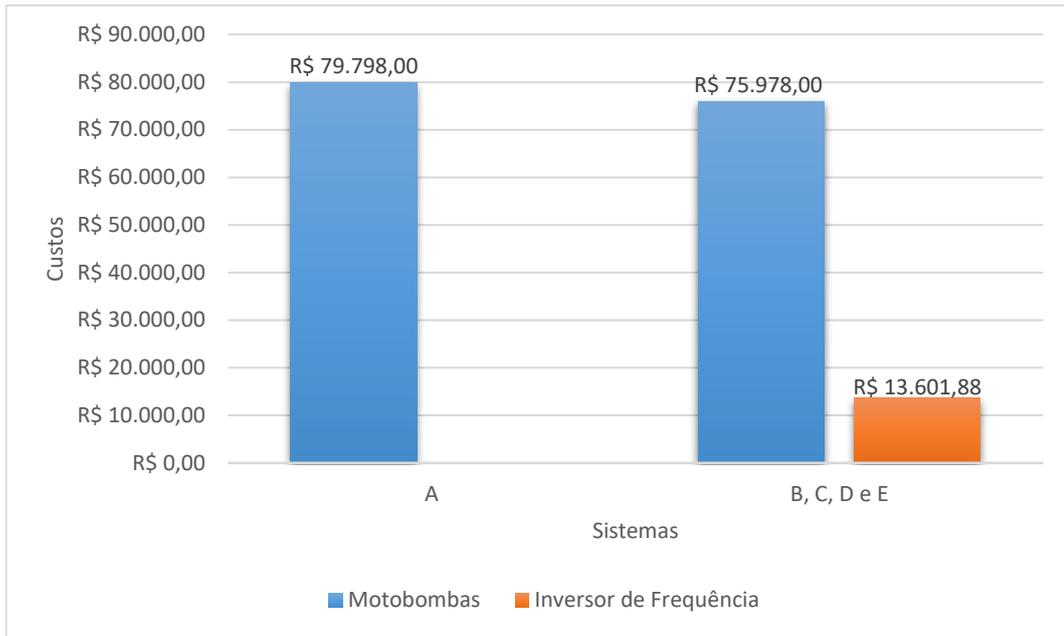
Definindo o inversor de frequência através do catálogo técnico da WEG, foi verificado que para atender a motobomba 065-040-250 F/MANC de 40 CV é preciso implantar o modelo da linha CFW500 (modelo de referência: CFW500F77P0T4DB20G2).

O equipamento apresenta um valor de R\$ 13.601,88, e a WEG destaca como vantagens desse modelo:

- Multipump: possibilidade de controlar mais de uma motobomba;
- Alarme de rompimento da tubulação: o aparelho monitora o consumo incomum de energia elétrica, a partir do momento que ele identifica a anormalidade é acionado o alarme de rompimento. Esse monitoramento se dá através de informações de carga e velocidade da bomba;
- Alarme de entupimento: além de rompimento o aparelho tem condições de indicar casos de entupimento da tubulação, por meio da análise da pressão do sistema;
- Economia de energia: redução de aproximadamente 15% no consumo de energia elétrica;
- Função dormir: essa função coloca a bomba em modo de espera quando a demanda ou fluxo ficam abaixo de um valor limite, evitando assim funcionamento desnecessário por longos períodos. Contribuindo com o aumento da vida útil da bomba e com a economia de energia.

### **5.3.1 Comparação econômica entre os sistemas com e sem inversor**

No sistema A, caso sem inversor de frequência, existiria o custo de implantação somente das duas motobombas de 50 cv, isto é R\$ 79.798,00 (modelo: 065-040-250 F/MANC-50CV). Os outros sistemas além das motobombas de 40 cv seria adicionado nos gastos o inversor de frequência, tendo um custo total de R\$ R\$ 89.579,88 (modelo: 065-040-250 F/MANC-40CV), como pode ser observado na Figura 20. É importante ressaltar que o sistema B, C, D e E devido as características calculadas utilizariam o mesmo modelo de bomba e inversor.



**Figura 20:** Custos dos equipamentos

Fonte: Autora (2023)

Fica evidente que ao empregar um inversor de frequência o sistema de adução apresentará maiores custos iniciais, no caso estudado o sistema com inversor apresentou um custo de R\$ 9.781,88, a mais que o sistema convencional.

Porém tal diferença pode ser encarada como um investimento já que esse equipamento implicará em uma economia no consumo de energia. Todavia o principal ponto positivo verificado nos casos analisados foi que a partir de um funcionamento de 12 horas das motobombas foi possível diminuir o diâmetro das tubulações, acarretando assim numa economia de aproximadamente R\$ 67.484,20 somente em relação aos tubos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos diversos cenários, foi possível concluir que ao se explorar a possibilidade de aumentar o tempo de funcionamento do conjunto motobomba em um sistema de adução, operada por inversor de frequência, tem-se uma redução no diâmetro das tubulações, acarretando assim em uma economia significativa com tal material, no objeto de estudo em questão com o melhor cenário analisado (motobomba operando por 12 horas), a economia estimada foi de aproximadamente 54,78% (R\$ 67.484,20).

Portanto, a redução nos gastos com o material mencionado, seria o suficiente para cobrir o custo para implementar o inversor de frequência, diante disso é possível definir que tal equipamento está muito mais relacionado a um investimento do que a um gasto propriamente dito.

Conclui-se, por fim, que a utilização de inversores de frequência no abastecimento predial pode acarretar numa economia em relação aos materiais dos sistemas de recalque e na motobomba, entretanto faz-se necessário um investimento para adquirir o equipamento, ressalta-se ainda a importância de verificar o tempo ideal de operação do conjunto motobomba de modo a obter o melhor custo-benefício técnico, econômico e energético.

Por fim, é possível concluir que a análise realizada no estudo de caso até aqui, referente a implementação do inversor de frequência no abastecimento predial, é satisfatória e abre-se margem para desenvolver estudos mais detalhados acerca do supracitado equipamento, como:

- Orçar de forma detalhada a real economia dos materiais utilizados no recalque (tubos, conexões, válvulas etc.);
- Comprovar a redução energética obtida ao empregar o inversor de frequência;
- Expandir a análise realizada para demais fabricantes de motobombas e inversores de frequência.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 23. 2017.

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

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9ª. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 632 p.

BOTELHO, M. H. C.; JUNIOR, G. D. A. R. **Instalações hidráulicas prediais: Usando Tubos de PVC e PPR**. 3ª. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7ª. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

FORNER, R. H. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE VAZÃO VARIÁVEL COM BOMBAS CENTRÍFUGAS USANDO INVERSOR DE FREQUÊNCIA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul. 2013.

FORTES, M. Z.; ANTUNES, V. S. F.; PEREIRA, L. F. O USO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA AJUSTES DO PONTO ÓTIMO DE OPERAÇÃO EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO. **33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais**, Belo Horizonte, 2012. 83-94.

FRANKLIN ELECTRIC. **Schneider Motobombas: Tabela de seleção de bombas e motobombas**. Joinville, p. 96. 2019.

LIMA, E. P. C. **Mecânica das bombas**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2022. 1538 p.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MAGNO, K. **Guia Definitivo: Pequenas e Médias Construções HIDRÁULICA E ELÉTRICA**. 3ª. ed. [S.l.]: Plus, 2019.

MESQUITA, R. P. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA PARA A APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE BAIXA POTÊNCIA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2009.

MP AUTOMAÇÃO. **Catálogo Técnico WEG**. Jaraguá do Sul, p. 288. 2018.

OLIVEIRA, W. R. **A IMPORTÂNCIA DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE ADUTORAS DE ÁGUA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS- MG. Varginha. 2016.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª. ed. São Carlos: EESC/USP, 2006. 540 p.

RODRIGUES, W. **Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 208. 2007.

SANEAGO. **Resolução Normativa nº 009, de 13 de fevereiro de 2014**. [S.l.], p. 54. 2014.

SANEAGO. **Dimensionamento e Critérios de Substituição de Hidrômetros IN00.0262**. [S.l.], p. 14. 2020.

## 8 ANEXO A — VALORES SUGERIDOS PARA O COEFICIENTE C

Tubulações compostas por tubos de	Novos	Usados ± 10 anos	Usados ± 20 anos
Aço soldado, revestimento não permanente (betuminoso), até DN 125	135	107,5	85
Aço soldado, revestimento não permanente (betuminoso), 125 < DN < 550	137,5	110	90
Aço soldado, revestimento não permanente (betuminoso), 550 < DN < 1.500	142,5	117,5	95
Aço soldado, revestimento permanente (epóxi), até DN 125	130	120	110
Aço soldado, revestimento permanente (epóxi), 125 < DN < 550	140	130	120
Aço soldado, revestimento permanente (epóxi), 550 < DN < 1.500	145	135	130
Concreto 750 < DN < 1.250	135	132,5	130
Concreto 1.050 < DN < 2.000	140	135,5	135
Ferro fundido sem revestimento permanente, até DN 125	120	100	90
Ferro fundido sem revestimento permanente, 125 < DN < 550	125	105	95
Ferro fundido sem revestimento permanente, 550 < DN < 1.500	130	110	100
Ferro fundido dúctil revestida argamassa cimento, até DN 125	125	115	110
Ferro fundido dúctil revestida argamassa cimento, 125 < DN < 550	130	120	115
Ferro fundido dúctil revestida argamassa cimento, 550 < DN < 1 -500	135	125	120
Ferro fundido dúctil revestimento (epóxi), até DN 125	125	120	115
Ferro fundido dúctil revestimento permanente (epóxi), 125 < DN < 550	135	130	125
Ferro fundido dúctil revestimento permanente (epóxi), 550 < DN < 1.500	140	137,5	135
PVC ou resina com fibra, juntas tipo PB ou luva, até DN 125	137,5	135	132,5
PVC ou resina com fibra, juntas tipo PB ou luva, 125 < DN < 550	140	137,5	135
PVC ou resina com fibra, juntas tipo PB ou luva, 550 < DN < 1.500	142,5	140	137,5
PEAD, polipropileno outros termoplásticos, juntas soldadas, DN até 125 mm	140	137,5	135
PEAD, polipropileno outros termoplásticos, juntas soldadas, 125 < DN < 550	142,5	140	137,5
PEAD, polipropileno outros termoplásticos, juntas soldadas, 550 < DN até 1.500	145	142,5	140
<b>Material usado eventualmente ou em desuso:</b>			

Aço ("ferro doce") galvanizado roscado, até DN 125 mm	125	100	75
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço rebitado	110	90	80
Chumbo	130	120	120
Cobre, latão, bronze, aço inox, até DN 125 mm	140	138	135
Cimento-amianto	140	135	125
Madeira, em aduelas (tanoaria)	120	120	110
Mangueiras de incêndio emborrachadas internamente	135	-	-
Manilhas de barro vidrado (tubos cerâmicos) com 3 cm, $125 < DN < 750$	130	127,5	125
Tijolos, condutos muito bem executados em concreto in loco etc.	115	110	105
Vidro (laboratório)	145	145	145

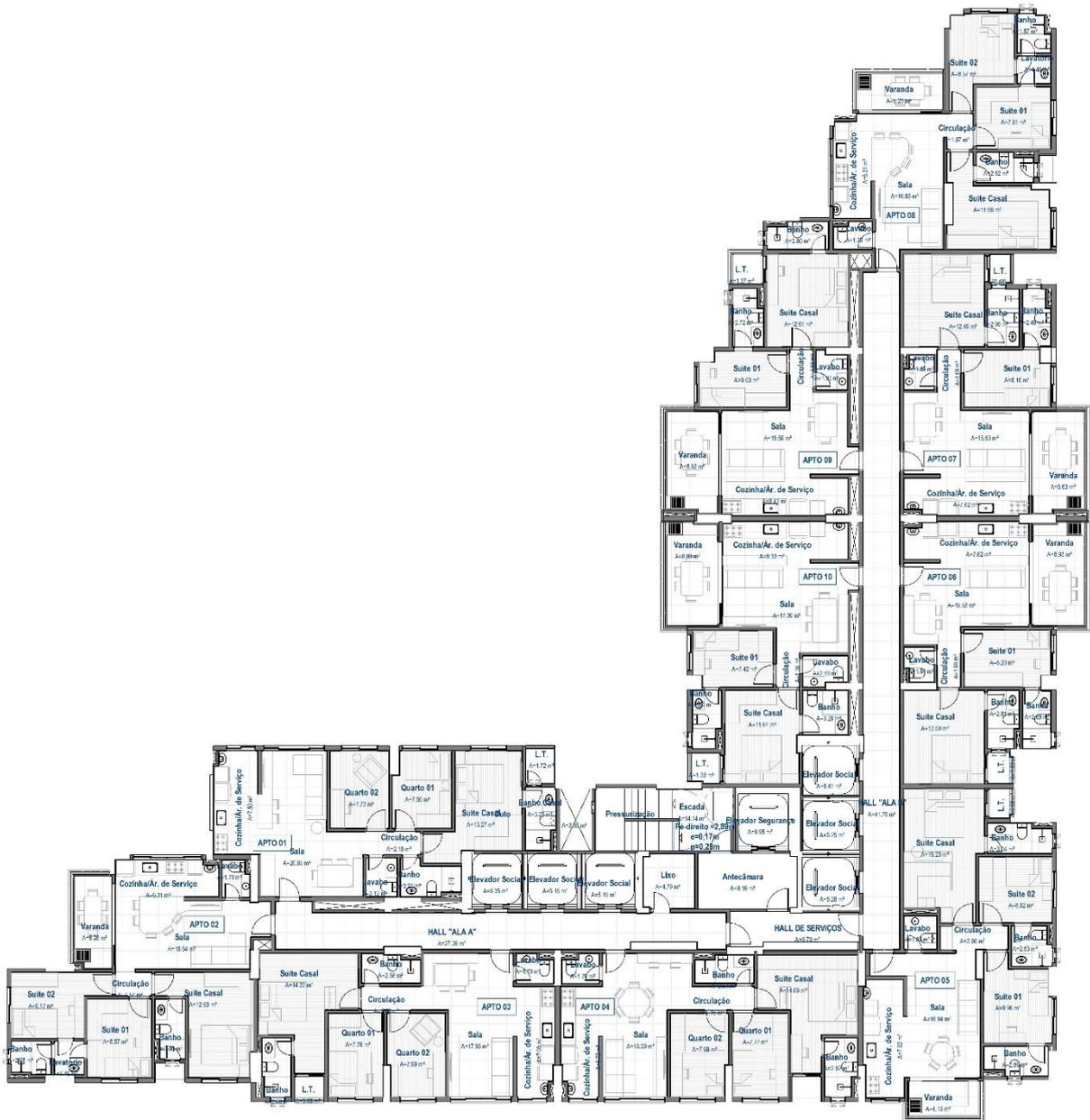
Fonte: (AZEVEDO NETTO e FERNANDEZ, 2018)

## 9 ANEXO B — TABELA DE COMPRIMENTOS EQUIVALENTES

Peças	Diâmetro externo (mm)																
	20	22	25	28	32	35	40	42	50	54	60	73	75	85	89	110	114
	<b>Comprimentos equivalentes (m), peças de PVC/CPVC</b>																
Joelho 90°	1,20	1,20	1,50	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	3,20	3,20	3,20	3,40	3,70	3,70	3,90	3,90	4,30
Joelho 45°	0,50	0,50	0,70	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30	1,30	1,50	1,70	1,70	1,80	1,80	1,90
Curva 90°	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	1,20	1,20	1,20	1,30	1,40	1,40	1,50	1,50	1,60
Curva 45°	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,80	0,80	0,90	0,90	1,00
Tê passagem direta	0,80	0,80	0,90	0,90	1,50	1,50	1,50	1,50	2,20	2,20	2,20	2,30	2,40	2,40	2,50	2,50	2,60
Tê saída de lado	2,40	2,40	3,10	3,10	4,60	4,60	4,60	4,60	7,30	7,30	7,30	7,60	7,80	7,80	8,00	8,00	8,30
Tê saída bilateral	2,40	2,40	3,10	3,10	4,60	4,60	4,60	4,60	7,30	7,30	7,30	7,60	7,80	7,80	8,00	8,00	8,30
Entrada normal	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	1,00	1,00	1,00	1,50	1,60	1,60	2,00	2,00	2,20
Entrada de borda	1,00	1,00	1,20	1,20	1,80	1,80	1,80	1,80	2,30	2,30	2,30	2,80	3,30	3,30	3,70	3,70	4,00
Saída de canalização	0,90	0,90	1,30	1,30	1,40	1,40	1,40	1,40	3,20	3,20	3,20	3,30	3,50	3,50	3,70	3,70	3,90
Válvula de pé com crivo	9,50	9,50	13,30	13,30	15,50	15,50	15,50	15,50	18,30	18,30	18,30	23,70	25,00	25,00	26,80	26,80	28,6
Válvula Retenção Hori.	2,70	2,70	3,80	3,80	4,90	4,90	4,90	4,90	6,80	6,80	6,80	7,10	8,20	8,20	9,30	9,30	10,4
Válvula Retenção Vert.	4,10	4,10	5,80	5,80	7,40	7,40	7,40	7,40	9,10	9,10	9,10	10,80	12,50	12,50	14,20	14,20	16,00
Registro Globo aberto	11,4	11,40	15,00	15,00	22,00	22,00	22,00	22,00	35,80	35,80	35,80	37,90	38,00	38,00	40,00	40,00	42,3
Registro Gaveta aberto	0,20	0,20	0,90	0,90	0,40	0,40	0,40	0,40	0,70	0,70	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00

Fonte: (AZEVEDO NETTO e FERNANDEZ, 2018)

10 ANEXO C — PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO



Fonte: Mol! Engenharia

## 11 ANEXO D — 3D SISTEMA DE ADUÇÃO DA EDIFICAÇÃO



Fonte: Mol! Engenharia