

José Fortunato de Almeida

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE ARRANQUES DAS ELECTROBOMBAS NAS  
CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS – ESTUDO DE CASO:  
EDIFÍCIO RESIDENCIAL DA CIDADE DE MAPUTO**

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Universidade Pedagógica de Maputo

FET

2023

José Fortunato de Almeida

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE ARRANQUES DAS ELECTROBOMBAS NAS  
CENTRAIS HIDROPNEUMÁTICAS – ESTUDO DE CASO:  
EDIFÍCIO RESIDENCIAL DA CIDADE DE MAPUTO**

Monografia científica apresentada ao curso de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil da Faculdade de Engenharias e Tecnologias para a obtenção do grau académico de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil.

Supervisor:

Msc. Roberto Samuel Macaringue

Universidade Pedagógica de Maputo

FET

2023

## ÍNDICE

DECLARAÇÃO .....	I
DEDICATÓRIA .....	II
AGRADECIMENTOS .....	III
EPIGRÁFE .....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	V
LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS .....	VII
LISTA DE TABELAS E QUADROS .....	VIII
RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	X
CAPÍTULO I – CONTEXTO DE ESTUDO .....	1
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	2
1.3. JUSTIFICATIVA .....	2
1.4. PROBLEMATIZAÇÃO E PROBLEMA .....	2
1.5. HIPÓTESES .....	4
1.6. OBJECTIVOS .....	4
1.6.1. OBJECTIVO GERAL .....	4
1.6.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS .....	4
CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
2.1. DEFINIÇÃO DE TERMOS E CONCEITOS .....	5
2.2. REVISÃO DA LITERATURA .....	7
CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....	27
3.1. TIPO DE PESQUISA .....	27
3.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA .....	28
3.3. INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE RECOLHA DE DADOS .....	28
3.4. PROCEDIMENTOS PARA PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS .....	29

CAPÍTULO IV- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	30
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	42
5.1. CONCLUSÃO .....	42
5.2. RECOMENDAÇÕES .....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
APÊNDICES.....	45
ANEXOS .....	47

**DECLARAÇÃO**

Eu, José Fortunato de Almeida, declaro por minha honra que esta Monografia é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu supervisor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e bibliografia final. Declaro, ainda, que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, aos \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023

---

(José Fortunato de Almeida)

**DEDICATÓRIA**

Dedico esta Monografia, em primeiro lugar, aos meus pais, Fortunato de Almeida e Olinda Xavier Manhice. Dedico igualmente à minha filha, Alessandra Fortunato de Almeida e a minha esposa, Stela Gracinda Lidau Tomázia Canda, pelo incentivo durante a minha formação.

**AGRADECIMENTOS**

Agradeço imenso, em primeiro lugar, a Deus por ter-me concedido o dom da vida e pela força que me deu durante a minha formação.

Um agradecimento especial vai para o meu supervisor, Msc. Roberto Samuel Macaringue, pela paciência, dedicação e críticas construtivas com vista a materializar este trabalho.

Igualmente, agradeço a todos docentes do Departamento de Engenharia e Tecnologias, em particular aos que leccionaram o curso de Engenharia de Construção Civil, pois foram eles que tornaram a pessoa que sou hoje e aos meus colegas do curso.

Agradeço, ainda, aos meus sogros, Nazário Pedro Canda e a Gracinda Irene Lidau, pelo amor incondicional e pelo apoio moral e material.

Do mesmo modo, agradeço à minha madrastra, Olinda Samuel Macuácuca, pelo amor e compreensão.

Por fim, um agradecimento especial aos meus colegas, Admiro Joaquim Nhantave e Necésio Coutinho, pela força, assim como pelos matérias académicas e assistência técnica neste trabalho.

**EPIGRÁFE**

*“Se tens de lidar com água, consulta primeiro a experiência e depois a razão.”*

(Leonado da Vinci).

**LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

- D – Diâmetro interno da tubagem;
- H<sub>g</sub> – Altura geométrica do edifício;
- H<sub>mt</sub> – Altura manométrica total;
- Δh – Perda de Carga;
- K<sub>s</sub> – Coeficiente de simultaneidade;
- mca – Metros coluna de água;
- n – Corresponde ao número de dispositivos considerados;
- N – Número máximo de arranques por hora;
- P<sub>asp</sub> – Pressão de aspiração;
- P<sub>d</sub> – Pressão de serviço dos aparelhos de consumo;
- P<sub>min</sub> – Pressão de arranque das bombas;
- P<sub>dif</sub> – Diferencial da pressão de arranque e paragem das bombas;
- P<sub>DESC</sub> – Pressão de descarga;
- P<sub>max</sub> – Pressão de paragem das bombas;
- P<sub>0</sub> – Pressão do ar dentro reservatório hidropneumático;
- ΔP – Diferencial da pressão;
- Q<sub>consumo</sub> – Caudal do consumo na rede;
- Q<sub>bombado</sub> – Caudal bombado na rede;
- V<sub>r</sub> – Volume morto ou residual;
- V<sub>T</sub> – Volume total do reservatório hidropneumático;
- V<sub>m</sub> – Volume de ar correspondente a pressão máxima P<sub>max</sub> ;
- V<sub>n</sub> – Volume de ar correspondente a pressão mínima P<sub>min</sub>;
- V<sub>u</sub> – Volume útil de água no reservatório, compreendido entre os níveis de P<sub>max</sub> e P<sub>min</sub>;
- V<sub>T</sub> – Volume total do reservatório hidropneumático;
- Q<sub>c</sub> – Caudal de cálculo de abastecimento;
- Q<sub>max</sub> – Consumo máximo provável do edifício;
- Q – Caudal;
- Q<sub>med</sub> – Caudal médio da bomba;
- Q<sub>M</sub> – Caudal bombado correspondente à pressão máxima;
- Q' – Caudal correspondente à pressão mínima;
- Q<sub>e</sub> – Caudal de esvaziamento do reservatório hidropneumático;
- Q<sub>i</sub> – Caudal instantâneo;

T – Período;

$T_{\text{esv}}$  – Tempo de esvaziamento;

$T_{\text{enchimento}}$  – Tempo de enchimento;

V – Velocidade máxima;

$D_{\text{int}}$  – Diâmetro interno do tubo;

$\eta$  – Rendimento da bomba;

W – Potência de accionamento;

EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres;

FIPAG – Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água;

RS – Reservatório Superior;

RI – Reservatório Inferior;

RAC – Reservatório de Ar comprimido.

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

<b>Figura 1:</b> Classificação dos sistemas de abastecimento de água predial .....	7
<b>Figura 2:</b> Sistema indirecto RS .....	8
<b>Figura 3:</b> Sistema indirecto com RI-RS.....	8
<b>Figura 4:</b> Sistema indirecto com bombeamento .....	9
<b>Figura 5:</b> Esquema de uma Central hidropneumática .....	10
<b>Figura 6:</b> Instalação típica de centrais hidropneumática em edifício de grande altura.....	11
<b>Figura 7:</b> Caudais de cálculo ( $Q_c$ ) em função dos caudais acumulados ( $Q_a$ ) para um nível médio de conforto. ....	13
<b>Figura 8:</b> Rede predial abastecida por uma Central hidropneumática. ....	15
<b>Figura 9:</b> Representação do diagrama de Moody. ....	17
<b>Figura 10:</b> Zona útil da curva característica de uma bomba.....	18
<b>Figura 11:</b> Curva do tipo Rising .....	19
<b>Figura 12:</b> Curva do tipo Steep.....	19
<b>Figura 13:</b> Curva do tipo Flat .....	19
<b>Figura 14:</b> Curva da bomba com o caudal de dimensionamento.....	20
<b>Figura 15:</b> Esquema da central com bombas de aspiração com carga positiva.....	20
<b>Figura 16:</b> Reservatório hidropneumático de membrana .....	22
<b>Figura 17:</b> Relação do caudal e pressão no interior do reservatório.....	25
<b>Figura 18:</b> Curva característica da electrobomba .....	25
<b>Figura 19:</b> Representação da rede de abastecimento em cada apartamento. ....	31
<b>Figura 20:</b> Representação da rede da coluna a montante do edifício em estudo. ....	34
<b>Figura 21:</b> Representação gráfica do comportamento do reservatório hidropneumático.....	41

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1:</b> Pressão de operação do sistema em função da pressão da pré-carga.....	21
<b>Tabela 2:</b> Número de partidas dos motores .....	24
<b>Tabela 3:</b> Cálculo do consumo por piso.....	30
<b>Tabela 4:</b> Comportamento hidráulico dos tubos da rede do último piso. ....	32
<b>Tabela 5:</b> Pressões no último piso.....	33
<b>Tabela 6:</b> Continuação das pressões no último piso .....	34
<b>Tabela 7:</b> Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos .....	35
<b>Tabela 8:</b> Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos da coluna a montante.....	35
<b>Tabela 9:</b> Caudais de dimensionamento da Central hidropneumática. ....	36
<b>Tabela 10:</b> Comportamento hidráulico dos tubos da coluna a montante.....	37
<b>Tabela 11:</b> Pressões na coluna montante. ....	38
<b>Tabela 12:</b> Pressão de funcionamento da Central hidropneumática .....	38
<b>Tabela 13:</b> Características da electrobomba da central hidropneumática em estudo . ....	39
<b>Tabela 14:</b> Características do reservatório hidropneumático.....	39
<b>Tabela 15:</b> Verificação do número máximo de arranques das electrobombas .....	40

**RESUMO**

Monografia científica subordinada ao tema, análise da frequência de arranques das electrobombas nas centrais hidropneumáticas, teve como o seu objectivo principal analisar a frequência de arranques horaria das electrobombas nos sistemas hidropneumático. Este pretendia solucionar o problema de repetidos de arranques das electrobombas num curto espaço de tempo na central de pressurização de um edifício residencial na cidade de Maputo. Para a realização desse efeito foi necessário um embalsamento teórico e posteriormente a colecta de informações no local, tais como: a pressão calibrada nas chaves pressostáticas, traçado da rede, conexões, dispositivos hidráulicos e pé direito do edifício. Através destes dados, foi possível obter o caudal máximo de consumo, altura manométrica e, conseqüentemente, a selecção das electrobombas. Foi, igualmente, dimensionado um reservatório hidropneumático 500L de volume que alterou o comportamento de arranques chegando a atingir cerca de 26 arranques por hora. Com este chegou-se a conclusão de que as bombas ultrapassam o número máximo de arranques porque o reservatório foi dimensionado com um volume útil muito inferior, relativamente ao consumo. Portanto recomenda-se que se aumente o volume do reservatório hidropneumático.

**Palavras-chave:** Arranques frequentes, Pressão, Reservatório hidropneumático

.

.

**ABSTRACT**

Scientific monograph on the theme, analysis of the starting frequency of electric pumps in hydropneumatic plants, its main objective was to analyze the hourly starting frequency of electric pumps in hydropneumatic systems. This aimed to solve the problem of repeated starts of electric pumps in a short space of time in the pressurization plant of a residential building in the city of Maputo. To achieve this effect, theoretical embalming was necessary and then the collection of information on site, such as: the calibrated pressure in the pressure switches, network layout, connections, hydraulic devices and the building's ceiling height. Using these data, it was possible to obtain the maximum consumption flow, head and, consequently, the selection of electric pumps. A hydropneumatic reservoir with a volume of 500L was also designed, which changed the starting behavior, reaching around 26 starts per hour. This led to the conclusion that the pumps exceed the maximum number of starts because the reservoir was designed with a much lower useful volume, in relation to consumption. Therefore, it is recommended to increase the volume of the hydropneumatic reservoir.

**Keywords:** Frequent starts, Pressure, Hydropneumatic reservoir.

## **CAPÍTULO I – CONTEXTO DE ESTUDO**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

A água é um recurso indispensável à vida. Além de ser essencial para a sobrevivência de praticamente todos os organismos existentes no planeta, este bem natural é o suporte da maioria das actividades sociais e económicas desenvolvidas pelo homem, como agricultura, indústria, pecuária, transporte, turismo, geração de energia e abastecimento público. A importância deste líquido fez com que, ao longo de milénios, fosse verificada uma evolução nas técnicas de transporte para consumo humano a pesar desta evolução é muito frequente que a rede pública de distribuição de água não consiga garantir pressão suficiente para suprir as necessidades em determinados edifícios.

Assim sendo, é necessária a utilização de uma solução, geralmente através da construção de reservatório elevado. Entretanto, nem sempre essa solução é empregada por motivos estéticos ou económicos da construção dos edifícios, tornando-se indispensável o uso de uma central hidropneumático, para permitir o abastecimento da água em todo o edifício com um valor de pressão pré-estabelecida mesmo que sejam utilizados vários pontos de consumo simultaneamente, a central tem como elementos principais reservatório hidropneumático e electrobombas dotados de motores eléctrico que geralmente são afectados por factores tais como: esforços eléctricos e mecânicos, vibração e principalmente elevadas temperaturas devido ao tempo gasto na aceleração de cargas de inércia, pós na partida os motores solicitam uma corrente muito maior do que em serviço contínuo chegando a avariar numa faixa de seis a oito vezes da corrente nominal.

A presente Monografia Científica subordinada ao tema análise da frequência de arranques das bombas nas centrais hidropneumáticas está dividida em cinco. O primeiro apresenta elementos pré-textuais. No segundo capítulo está disponível uma breve revisão bibliográfica referente ao tema proposto. No terceiro capítulo está apresentado a metodologia usada. O quarto está apresentado a discussão dos resultados. Por fim, no último capítulo são tratadas as conclusões e considerações finais.

## **1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA**

O presente trabalho com o tema, **análise da frequência de arranques das bombas nas centrais hidropneumáticas**, visou analisar a frequência de arranques horárias das bombas nas centrais hidropneumáticas de um edifício residencial na cidade de Maputo. A análise feita foi no âmbito dos arranques das electrobombas geradas por efeito do reservatório hidropneumático e do intervalo de pressões estabelecidas.

## **1.3. JUSTIFICATIVA**

A escolha do tema justifica-se pelo facto do autor ter verificado que há necessidade de efectuar-se um estudo sobre este assunto uma vez que, no local do estudo existiam outras centrais com as mesmas características do actual que culminaram em danificar os motores. Limitar o número de arranques horárias das electrobombas dos sistemas hidropneumáticos constitui um valor intrínseco no âmbito socioeconómico, uma vez que estes podem diminuir o tempo de vida útil das dos motores das electrobombas das centrais hidropneumáticas e, além do mais, quando esses arranques sucedem durante o período nocturno podem causar ruídos e vibrações que tanto incomodam os moradores do edifício e os vizinhos.

Este estudo reveste-se de muita importância no ponto de vista técnico-económico, na medida em que cresce o número de edifícios que adquirem sistemas hidropneumático como solução para assegurar de forma satisfatória a pressão e vazão com o nível de conforto desejada que acabam por se danificar em curto período de tempo. O tema é também relevante na componente científica, na medida em que traz uma abordagem de como mitigar e/ou estancar arranques desnecessárias das bombas de pressurização hidropneumática.

## **1.4. PROBLEMATIZAÇÃO E PROBLEMA**

Um edifício residencial localizado na cidade de Maputo, na Avenida Eduardo Mondlane, constituído por vinte e quatro pisos, sendo estes três enterrados e os restantes vinte e um pisos elevados. Os três pisos enterrados são destinados ao estacionamento e área técnica, os restantes pisos são destinados em habitações com dois apartamentos com tipologia T3 cada. O sistema de abastecimento de água do edifício é na base de uma central hidropneumática composta por duas electrobombas centrífugas de eixo vertical com uma potência nominal de 7.5 kW associadas em paralelo, duas chaves pressostáticas reguladas com pressão uma pressão máxima

de 100 mca e uma pressão mínima de 80 mca, um manómetro, um quadro eléctrico e um reservatório cilíndrico hidropneumático de 300 Litros.

As electrobombas estão em carga com aspiração positiva e é feita a partir de um tubo galvanizado de 110 mm de diâmetro interno que dista à 4.5 m de um reservatório metálico apoiado de 24m<sup>3</sup>. O reservatório é abastecido pela entidade distribuidora de água da rede pública, Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água (FIPAG), que abastece durante 8 horas ao dia. Durante o funcionamento da central, observa-se através do cronómetro que as electrobombas arrancam com um período de 20 segundos chegando estas a atingir 180 arranques em uma hora. Face ao acima referido a questão que se faz é: **o que faz com que as electrobombas das centrais hidropneumáticas arranquem repetidas vezes num curto espaço de tempo?**

## **1.5. HIPÓTESES**

H1: os arranques excessivos das electrobombas pressurizadas podem dever-se ao facto de ter um volume útil do reservatório hidropneumático reduzido em função do consumo dos equipamentos hidráulicos do edifício;

H2: os arranques excessivos das electrobombas pressurizadas podem dever-se pelo facto de não se ter sido respeitada o intervalo de pressões de operação do sistema;

H3: os arranques excessivos das electrobombas pressurizadas podem dever-se ao facto de não ter sido respeitada a pressão da carga do ar no interior do reservatório hidropneumático em função da pressão de arranque das electrobombas.

## **1.6. OBJECTIVOS**

### **1.6.1. OBJECTIVO GERAL**

- Analisar as causas da frequência de arranques das electrobombas nas centrais de pressurização hidropneumática.

### **1.6.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS**

1.6.2.1. Verificar a existência ou não da correlação dos caudais do consumo e o volume útil do reservatório hidropneumático;

1.6.2.2. Relacionar o volume útil do reservatório hidropneumático em função do intervalo de pressão de operação do sistema;

1.6.2.3. Aferir a carga do ar no interior do reservatório em função do intervalo de pressão de operação do sistema;

1.6.2.4. Determinar a duração do ciclo completo em função do volume útil do reservatório.

## **CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. DEFINIÇÃO DE TERMOS E CONCEITOS**

**2.1.1. AR COMPRIMIDO** – O ar comprimido é uma forma de energia armazenada, que é utilizado para operar equipamentos pneumáticos. O ar comprimido é empregado em processos de fabricação industriais, exercendo funções de accionamento mecânico, transporte de materiais e propulsão de ferramentas pneumáticas (KARMOUCHE, 2009).

**2.1.2. ARRANQUE ELÉCTRICO** – É o início do funcionamento de uma máquina ou de um motor eléctrico.

**2.1.3. CHAVES PRESSOSTÁTICAS** – É um instrumento de comando ou um dispositivo de protecção, é instalado em equipamentos, maquinas e dispositivos que funcionam pressurizados ou relacionadas de alguma forma com a pressão.

**2.1.4. CONDOMÍNIO DOMÉSTICO** – Condomínio cuja ocupação é maioritariamente de carácter residencial.

**2.1.5. CONSUMO DE ÁGUA** – Volume de água que se admite consumir em média num dado intervalo de tempo.

**2.1.6. DISPOSITIVO DE UTILIZAÇÃO** – Saídas das canalizações da rede predial de distribuição que permitem a utilização de água. Como, por exemplo, uma torneira, um misturador ou um fluxómetro.

**2.1.7. ELECTROBOMBAS CENTRIFUGA** – TSUTIYA (2006), as bombas centrífugas movimentam o líquido através da força fornecida pelo giro do rotor, dando força ao líquido e isso aumentado a pressão na saída da bomba, isso ocorre através da voluta da bomba.

Para LENCASTRE (1996), bombas centrífugas são caracterizadas pelo caudal, a altura de elevação, pela carga absoluta de aspiração acima da tensão de vapor, pela potência e pelo rendimento, pela velocidade de rotação e pela velocidade específica.

**2.1.7. MANÓMETRO** – É um equipamento utilizado para medir a diferença positiva pressão atmosférica e a pressão de gases e líquidos.

**2.1.8. PRÉ-CARGA** – É quantidade de ar comprimido no interior do reservatório hidropneumático.

**2.1.9. PRESSÃO** – Força ou tensão exercida por um fluido numa determinada área

**2.1.10. PRESSÃO DE SERVIÇO** – Pressão disponível nas redes de água, em condições normais de funcionamento.

**2.1.11. PRESSURIZAÇÃO** – É a forma de igualar pressões, no meio líquido ou gasoso.

**2.1.12. RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO** – É um tanque contendo água e ar comprimido em seu interior, interligado à estação elevatória.

De acordo MACINTYRE (1998), O reservatório comanda o funcionamento das bombas e é composto de um tanque de aço, que contém em seu interior uma bolsa de expansão, dotado de um flange com bocal para conexão à rede hidráulica e de uma válvula de ar.

O reservatório hidropneumático é geralmente usado em certos edifícios de grandes alturas ou de áreas muito extensas, em estabelecimentos industriais, navios, instalação de combate a incêndio, galerias de metrô entre outros. Sua finalidade é de substituir o reservatório superior que normalmente abastecem os pontos de consumo, mas que por razões próprias para cada situação mencionadas não podem e não convém ser construído. A pressão no reservatório é a altura total de recalque.

**2.1.13. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA** – Refere-se a qualquer rede de distribuição de água, seja a rede geral de abastecimento, ou a rede predial de abastecimento.

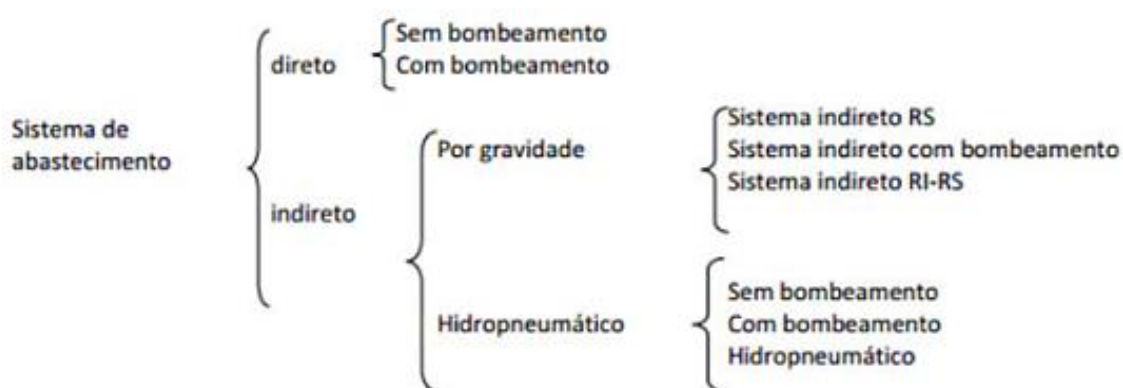
## 2.2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.2.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO PREDIAL DE ÁGUA FRIA

De acordo com NETTO (1998), define-se como sistema de abastecimento de água ao conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins domésticos, de serviços públicos, consumo industrial ou para outros usos. A água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente e com qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico. Assim, TSUTIYA (2006) define o sistema de abastecimento de água como o conjunto de tubulação, estrutura de medição instalada com finalidade de estabelecer uma comunicação hidráulica entre a rede pública de distribuição da água potável, operada por uma prestadora de serviços de saneamento.

Sistema de abastecimento predial de água pode ser classificado conforme figura abaixo:

**Figura 1:** Classificação dos sistemas de abastecimento de água predial



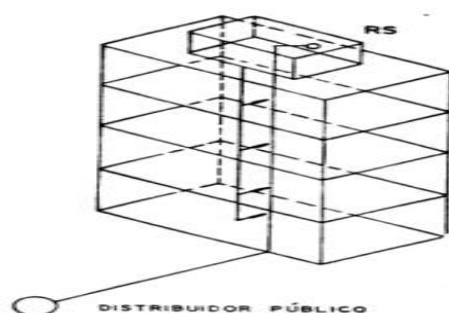
Fonte: SALGADO, 2011.

Conforme observado em SEGATTO & Dias (2015), o sistema de abastecimento directo é aquele em que não há reservatórios de água entre a rede pública e os pontos de consumo da edificação. A alimentação da rede predial é feita directamente pela rede de água da rua. Podendo ser esse com sistema de abastecimento de directo, com bombeamento, quando a rede publica não oferece condições de caudal e de pressão ou sem bombeamento no caso contrário. Em ILHA (2004), o sistema de abastecimento indirecto é tido como aquele que possui ao menos um ponto de reserva de água e, a partir do qual, se alimenta a rede de distribuição. A instalação de um reservatório de água ajuda a reduzir os problemas em relação às variações de pressão da rede pública e as interrupções temporárias ou irregularidades no abastecimento de água. No entanto, o armazenamento de água em reservatórios requer sérios cuidados quanto à sua concepção e manutenção.

No sistema indirecto, consideram-se duas situações, descritas a seguir:

De acordo com ILHA (2004), sistema indirecto por gravidade é um tipo de sistema em o reservatório superior é responsável por alimentar a rede de distribuição do edifício. O sistema por gravidade pode ser indirecto RS, indirecto RI-RS ou indirecto com bombeamento. Em um sistema indirecto RS, o reservatório elevado é equipado com uma válvula de bóia. Quando ocorre o consumo de água no prédio e há uma diminuição no nível do reservatório, esta válvula se abre e o reservatório é reabastecido. O esquema deste sistema está apresentado na figura abaixo.

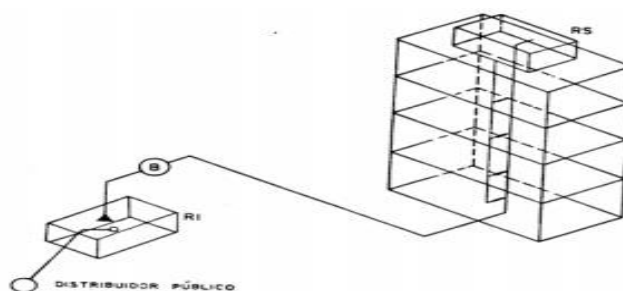
**Figura 2:** Sistema indirecto RS



Fonte: ILHA; GONSALVES,1994.

Doravante, em ILHA (2004), no caso do sistema indirecto RI-RS, têm-se dois reservatórios: um superior e outro inferior. Quando o reservatório superior atinge seu nível mínimo, uma chave eléctrica de nível é accionada e a água contida no reservatório inferior passa a abastecer o superior até o nível máximo ser atingido e a chave ser desligada. Caso o reservatório inferior esteja vazio, uma chave eléctrica de nível impede o abastecimento do superior. O reservatório inferior também apresenta uma válvula de boiá que se abre, quando este estiver em seu nível mínimo, permitindo seu abastecimento pela rede pública de distribuição. O esquema deste sistema está apresentado na figura 3.

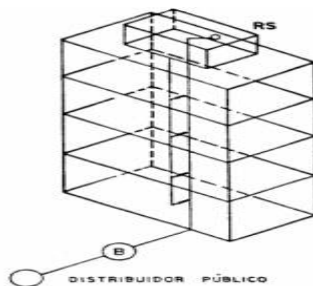
**Figura 3:** Sistema indirecto com RI-RS



Fonte: ILHA; GONSALVES, 1994.

O sistema indirecto com bombeamento apresenta basicamente o mesmo funcionamento do sistema indirecto RS, no entanto este sistema é utilizado quando a pressão da rede pública não é suficiente para a elevação da água até o reservatório superior. O esquema deste sistema está apresentado na figura 4.

**Figura 4:** Sistema indirecto com bombeamento



Fonte: ILHA; GONSALVES, 1994.

Para MACINTYRE (1998), o sistema de abastecimento de água hidropneumático é uma instalação, na qual no início da tubagem de recalque de uma bomba ou no sistema de bombas, se intercala um reservatório metálico, cujo o interior o líquido comprime uma camada de ar durante o funcionamento do sistema.

Como é muito provável que em certas zonas a rede pública não consiga assegurar essas pressões, ainda por cima em regime de ponta. Isto, que já era uma situação corrente, passará a sê-lo ainda mais por força da redução de pressões para evitar perdas de água na rede, medida que está a ser cada vez mais utilizada. Consequentemente, aumenta o número de prédios que precisam de solução própria para garantir uma pressão conveniente. Embora haja outras soluções, hoje em dia as mais vulgares são:

- a) Centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade fixa;
- b) Centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade variável.

No caso das centrais hidropneumáticas com bombas de velocidade variável o papel fundamental é desempenhado por uma ou mais bombas cuja velocidade de rotação é comandada pela frequência de alimentação eléctrica do motor, que por sua vez é definida por um transdutor de pressões cujo sinal depende dos consumos da rede esses são aconselháveis para a instalação predial de acordo com a Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL). Para o caso de bombas com velocidade fixa um dos órgãos mais importantes do sistema é um reservatório fechado onde a água se encontra submetida a uma pressão que vai aumentando ou diminuindo conforme o reservatório contenha mais ou menos água e estes é mais aconselhado

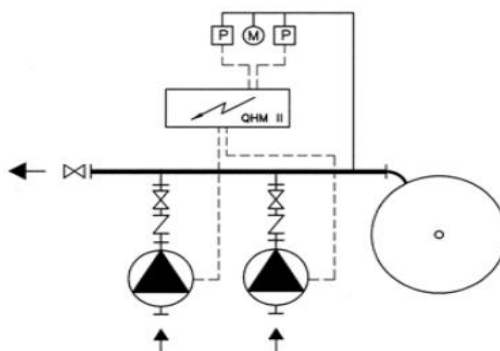
para rede de combate a incêndio, no entanto a escolha do tipo de central do edifício em estudo foi de bombas de velocidade fixa.

### 2.2.2. CONSTITUIÇÃO E SELEÇÃO DE UMA CENTRAL HIDROPNEUMÁTICA

De acordo com RAMÍSIO (2005), constitui uma central hidropneumática

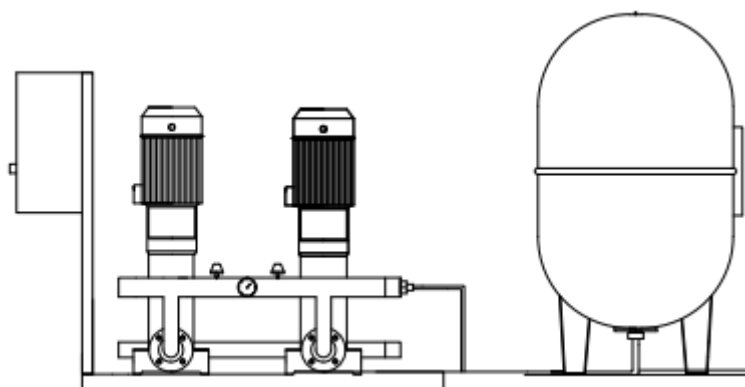
- Um ou mais reservatórios fechados, com ou sem membrana;
- Um conjunto de bombeamento para os reservatórios;
- Um dispositivo para compensar o ar dissolvido na água (no caso de reservatórios sem membrana);
- Pressóstatos ou sensores de pressão;
- Eléctrodos ou interruptores de nível;
- Manómetros, medidores de caudal e todos os sensores e equipamento necessário ao comando, protecção e controle das bombas e compressores. Conforme ilustram as figuras.

**Figura 5:** Esquema de uma Central hidropneumática .



Fonte: RAMÍSIO 2005.

**Figura 6:** Central hidropneumática com bombas de velocidade fixa em vista

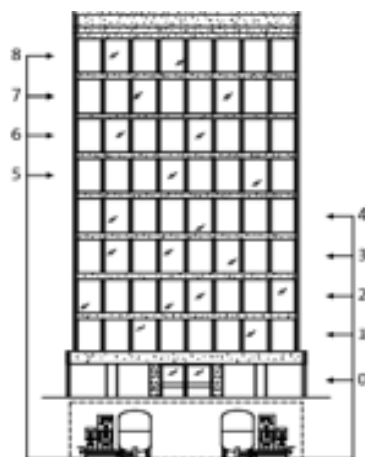


Fonte: AUTOR, 2023.

Não obstante, Leite (2008), assegura que o funcionamento dos grupos é controlado pela pressão no interior do reservatório hidropneumático. Quando as torneiras se abrem a água é retirada do reservatório. A pressão pode descer até aos níveis de arranque, e a primeira bomba entra em funcionamento. À medida que o consumo aumenta, mais bombas arrancam para satisfazer o consumo. Como o caudal que entra é superior ao que sai, a pressão aumenta, podendo ocorrer paragem da bomba através do sensor de pressão. À medida que o consumo decresce, mais bombas serão desligadas.

Para reduzir a dimensão do reservatório, a potência dos grupos e poupar energia, será lógico que os pisos inferiores sejam abastecidos directamente pela rede pública, enquanto os pisos superiores irão ser abastecidos pela central, conforme a figura abaixo.

**Figura 6:** Instalação típica de centrais hidropneumática em edifício de grande altura.



Fonte: RAMÍSIO, 2005.

No entanto, também há quem alimente todos os fogos a partir de uma central, para colocar todos os condóminos em situação idêntica. Como é o caso do edifício em estudo.

Independentemente da escolha de cada tipo de Central hidropneumática para o abastecimento de água pressurizada é necessário aferir os seguintes aspectos:

- a) Caudais de cálculo do edifício
- b) Pressões de operação do sistema
- c) Número máximo de arranques

Para os caudais de cálculo o Decreto Regulamentar n.º 23/95, que institui o Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, no artigo 89.º estabelece que é necessário determinar os caudais que a mesma irá transportar refere-se aos dispositivos de utilização, referindo que:

1- Na elaboração dos estudos relativos à distribuição predial de água, devem definir-se os tipos de utilização e indicar-se a sua localização.

2- Os aparelhos alimentados por dispositivos de utilização devem estar devidamente identificados nas peças desenhadas do projecto.

De acordo com o Decreto no artigo 90, é possível determinar os caudais instantâneos que a rede pode solicitar conhecidos os diferentes tipos de utilização e a sua quantidade.

1- Os caudais instantâneos a atribuir aos dispositivos de utilização devem estar de acordo com o fim específico a que se destinam.

2- Os valores mínimos dos caudais instantâneos a considerar nos dispositivos de utilização mais correntes.

Na determinação dos caudais de cálculo de abastecimento ( $Q_c$ ) nas redes prediais deve-se basear nos caudais mínimos atribuídos aos dispositivos de utilização, conforme apresentados na tabela do anexo I.

O artigo 91º do Regulamento descreve que a soma dos vários caudais instantâneos de cada utilização determina o caudal acumulado, o qual é afectado por um coeficiente de simultaneidade, como mostra a equação abaixo

$$Q_c = K_s \times Q_{\text{acumulado}} \quad (1.1)$$

Onde:

$Q_c$  -Caudal de cálculo de abastecimento;

$K_s$  - Coeficiente de simultaneidade

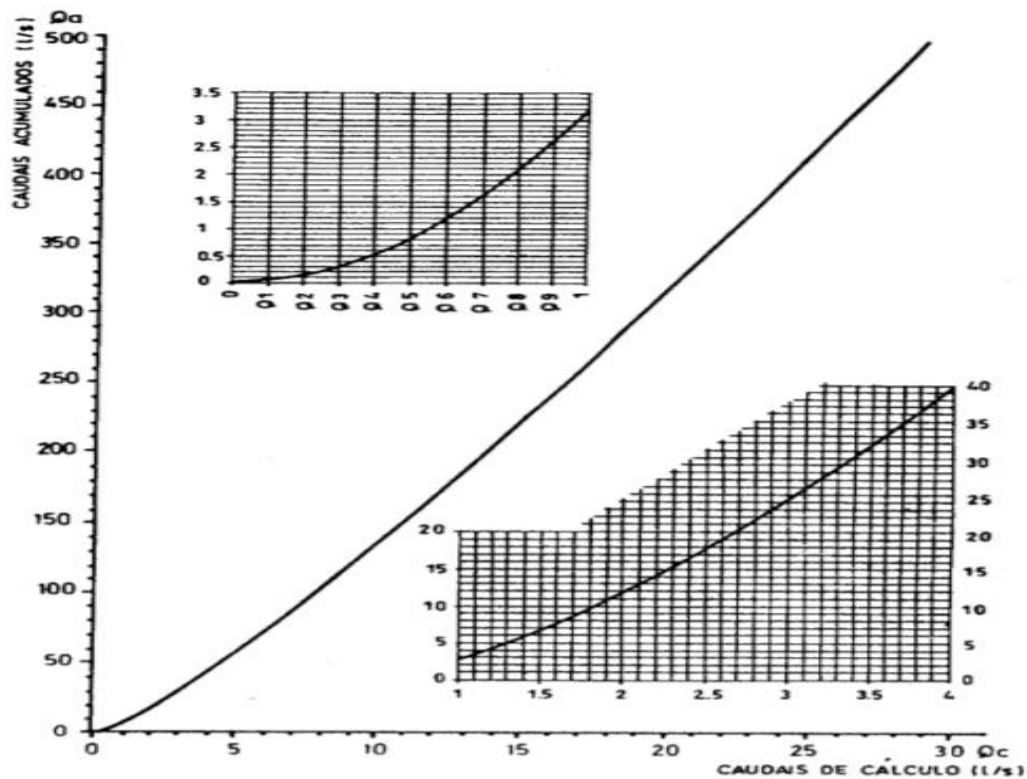
De acordo com Paixão (1999), designa-se por coeficientes de simultaneidade numa dada secção a relação entre o caudal simultâneo máximo previsível, ou seja, o caudal de cálculo, e o caudal acumulado de todos os dispositivos de utilização alimentados através dessa secção.

coeficiente de simultaneidade pode ser obtido por via analítica, onde  $n$  corresponde ao número de dispositivos considerados, devendo a equação ser aplicada em casos de  $n > 2$ .

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad (1.2)$$

Outro método para consideração das simultaneidades é apresentado no regulamento através da utilização do ábaco da figura. Para a determinação do caudal de calculo, no qual o coeficiente de simultaneidade é traduzido na consideração de um nível de conforto médio.

**Figura 7:** Caudais de cálculo ( $Q_c$ ) em função dos caudais acumulados ( $Q_a$ ) para um nível médio de conforto.



Fonte: Decreto Regulamentar n.º 23/95 (1995).

As curvas podem ser expressas na forma analítica para afim de efectuar-se um cálculo automático. Conforme os seguintes casos:

$$\begin{aligned}
 Q_a \leq 0.3 \frac{1}{s} : Q_c &= Q_a = Q_c \\
 3.5 \geq Q_a > 0.3 \frac{1}{s} : Q_c &= 0.5469 Q_a^{0.5137} \\
 25 \geq Q_a > 3.5 \frac{1}{s} : Q_c &= 0.5226 Q_a^{0.5364} \\
 500 \geq Q_a > 25 \frac{1}{s} : Q_c &= 0.2525 Q_a^{0.7587}
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

No caso de existirem fluxómetros instalados, a fórmula usada para a determinação do caudal de cálculo é composta por mais uma parcela, que se refere especificamente a este tipo de equipamentos sanitários (Pedroso, 2000).

$$Q_c = Q_a \times K_s + n \times Q_i
 \tag{1.4}$$

Em que:

n - Representa o número de fluxómetros e

$Q_i$  - O caudal instantâneo dos fluxómetros

De acordo com RAMÍLIO (2005), o caudal de dimensionamento,  $Q_M$ , deve ser o caudal máximo pedido pela rede, majorado por um coeficiente de segurança,  $CS = (1.15, 1.25)$ . Na eventualidade de caudal de cálculo ser maior que o caudal acumulado, deve ser usado o valor do caudal acumulado para o valor do caudal de cálculo.

Obtidos os caudais de cálculo pode-se obter as respectivas velocidades e diâmetros. O Decreto Regulamentar n.º 23/95 estabelece que a velocidade do escoamento, para o caudal de ponta no horizonte de projecto, não deverá exceder:

$$U = \frac{Q}{S} \quad (1.5)$$

Sendo:

U- Velocidade máxima (m/s)

S –Secção interna da tubagem, em (m<sup>2</sup>).

O mesmo artigo 94º estabelece que a velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração do mesmo não deve ser inferior a 0,3 m/s. Nas situações em que este limite não possa ser cumprido, deverão ser previstos dispositivos adequados para uma descarga. De uma maneira genérica, pode considerar-se que as velocidades do escoamento devem estar compreendidas entre 0,5 e 1,0m/s em condutas de pequeno diâmetro e entre 1 a 2 m/s nas condutas de maior diâmetro.

O dimensionamento dos diâmetros internos das condutas é feito segundo a fórmula:

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4 \times Q_c}{\pi \times U}} \quad (1.6)$$

Onde:

$D_{int}$  – Diâmetro interno da tubagem, em (m);

U – Velocidade de escoamento, em (m/s);

$Q_c$  – Caudal de cálculo de abastecimento, em (m<sup>3</sup>/s).

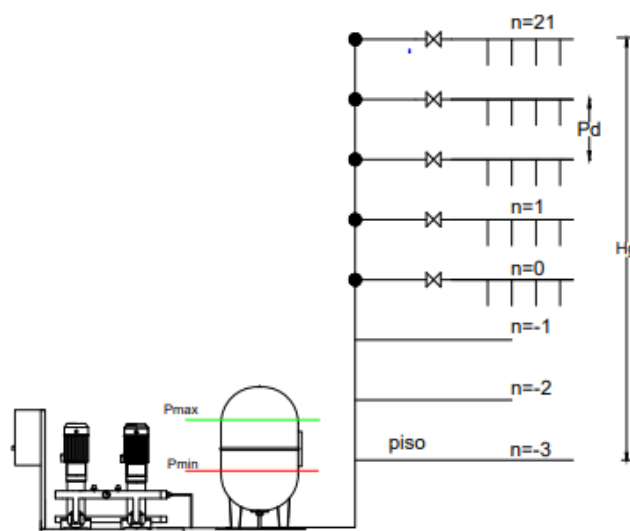
Para o pré-dimensionamento dos tubos foi admitida uma velocidade de  $U = 1.5$  m/s.

O intervalo de pressões de operação deve ser determinado a partir das alturas manométricas totais, requeridas nos pontos de consumo, acrescidas das perdas de carga na tubulação.

De acordo NP EN 12845 – O grupo de bombagem principal deve arrancar automaticamente quando a pressão na rede hidráulica descer a um valor não inferior a  $0.8P$ . sendo  $P$  a pressão a caudal zero.

Quando forem instalados dois grupos de bombagem, o segundo grupo deve arrancar a uma pressão não inferior a  $0.6P$ . Uma vez accionada a bomba.

**Figura 8:** Rede predial abastecida por uma Central hidropneumática.



Fonte: AUTOR,2023.

Conforme observa-se na figura acima a pressão mínima para o arranque da primeira electrobomba, deve garantir a pressão de serviço do dispositivo mais desfavorável acrescido de perdas de cargas totais da linha de recalque. E pode ser determina pela equação abaixo:

$$P_{\min} = H_g + P_s + \sum \Delta H_R \quad (1.7)$$

onde:

$P_{\min}$  – Pressão mínima para o arranque da primeira electrobomba, em (mca);

$H_g$  – Altura geométrica, em (m);

$P_s$  – Pressão de funcionamento dos aparelhos de consumo, em (m);

$\sum \Delta H_R$  – Perda total no recalque até o dispositivo mais desfavorável, em (m).

O Decreto Regulamentar n.º 23/95, que institui o Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, no artigo 87º define os elementos fundamentais para o estudo de pressões nos sistemas de distribuição predial de água., estabelecendo que:

1- Na concepção do sistema há que atender:

- a) À pressão disponível na rede geral de alimentação e à necessária nos dispositivos de utilização;
- b) Ao tipo e número de dispositivos de utilização;
- c) Ao grau de conforto pretendido;
- d) À minimização dos tempos de retenção da água nas canalizações.

2- As pressões de serviço nos dispositivos de utilização devem situar-se entre 50 kPa (5mca) e 600 kPa (60mca), sendo recomendável, por razões de conforto e durabilidade dos materiais, que se mantenham entre os 150 kPa (15mca) e 300 kPa (30mca).

Não obstante, ao longo de um traçado de tubagens, ocorrem sempre perdas de energia. Essas perdas são usualmente designadas por perdas de carga, e estas dividem-se em perdas de carga localizadas ou contínuas as perdas que ocorrem ao longo da tubagem devido à rugosidade da mesma. As perdas localizadas ocorrem devido às mudanças de direcção, variações de cotas, passagem por dispositivos e válvulas e derivações. O somatório dos dois tipos de carga, representa o total das perdas de carga que ocorrem ao longo de um traçado. A sua determinação é de extrema importância pois estas perdas têm de ser previstas e superadas para garantir que a água consegue chegar com caudal e pressão suficientes a qualquer dispositivo, de forma a ficar garantida a qualidade do abastecimento

As perdas contínuas podem ser calculadas pela expressão:

$$\Delta H_c = J \times L \quad (1.8)$$

onde:

J – Perda de carga por metro linear (m/m)

L – Comprimento da tubagem (m)

Nos escoamentos sob pressão, que é o caso do abastecimento predial, as perdas de carga contínuas podem ser calculadas com recurso a fórmula de Darcy e Weisbach (1.9), que é válida para qualquer tipo de fluido.

$$J = \frac{8 \times f \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \quad (1.9)$$

Onde:

$\Delta H_c$  – Perda de carga contínua.

f – Coeficiente de atrito;

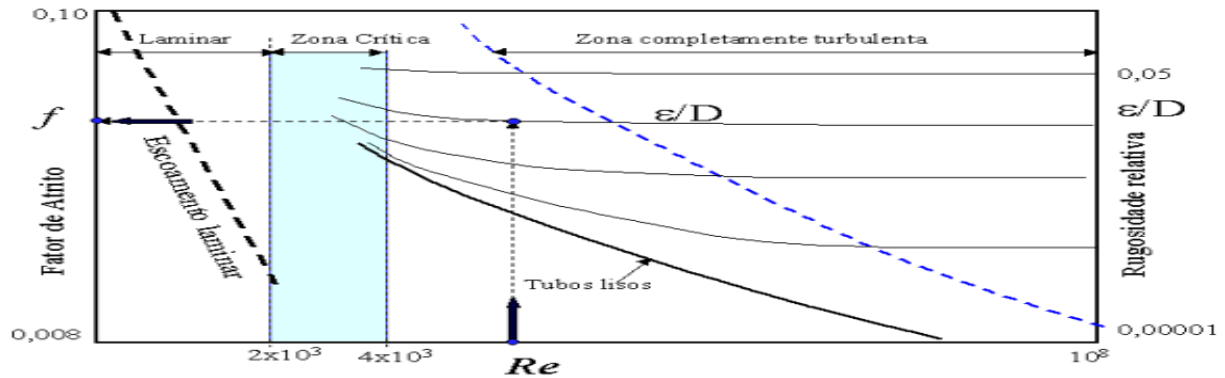
L – Comprimento da tubulação, m;

D – Diâmetro da tubulação, m;

O valor de avaria em função de número de Reynolds, rugosidade e diâmetro  $f = \varphi(Re, \frac{\epsilon}{D})$

e pode ser extraído do diagrama de Moody, conforme a figura abaixo.

**Figura 9:** Representação do diagrama de Moody.



Fonte: ALÉ, (2011).

Onde:

$Re$  – É o número de Reynolds;

$\frac{\epsilon}{D}$  – Rugosidade relativa que depende de cada tipo de material

O número de Reynolds depende do tipo de escoamento:

Laminar se:  $Re < 2000$

Turbulento se:  $Re > 4000$

As perdas de carga localizadas ocorrem em singularidades das condutas, ou seja, em trechos pequenos da conduta em que se quebra a sua uniformidade. Estas perdas de carga dependem de diversos factores relacionados fundamentalmente com as características do escoamento a montante e a jusante da singularidade. A determinação analítica destas perdas de carga localizadas baseia-se na aplicação dos Teoremas da Quantidade de Movimento e de Bernoulli, exprimindo-as como percentagem da altura cinética conforme a expressão abaixo:

$$\Delta HL = K \frac{V^2}{2g} \quad (1.10)$$

em que:

K – É o coeficiente de perda de carga localizada, sendo determinado experimentalmente para cada tipo de singularidade. Ver no anexo II.

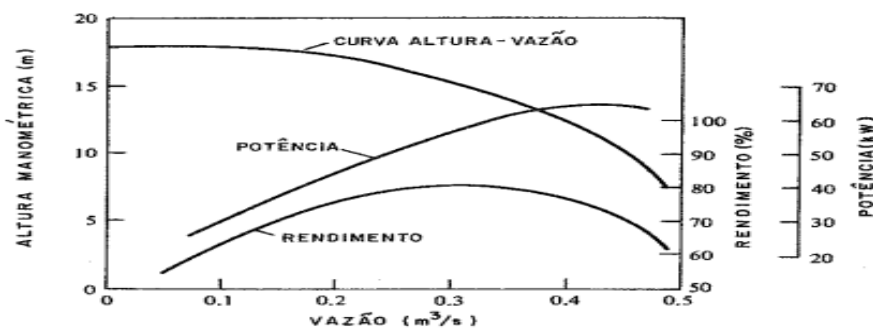
Outra alternativa é transformar essas perdas de carga num comprimento equivalente que depois será multiplicado pelo valor de perda de carga unitária (J). Isto é, todas as tubagens têm um comprimento real, as curvas, válvulas e restantes singularidades existentes na rede predial

representam uma perda de carga e como tal estas perdas de carga podem ser traduzidas em troços rectos equivalentes (com o mesmo valor de perda de carga localizada). Este processo é conhecido como “Comprimento Equivalente”.

Tendo-se obtido o valor da pressão mínima no reservatório hidropneumático para o arranque da primeira electrobomba, é possível obter o valor da pressão mínima para o accionamento da última electrobomba, na qual está associada ao consumo máximo previsto no edifício. Entretanto a que ter as seguintes considerações:

Para RAMÍRIO (2005), uma bomba não pode funcionar com caudais superiores ou muito inferior ao caudal correspondente ao ponto de maior rendimento, pós a zona útil da curva característica de uma bomba define critérios técnicos e económico. Conforme ilustra a figura abaixo:

**Figura 10:** Zona útil da curva característica de uma bomba



Fonte: TSUTIYA, 2006.

As curvas das bombas representam um comportamento real das bombas mostrando o relacionamento de interdependência entre as grandezas características. Os fabricantes fornecem estas curvas obtidas experimentalmente em laboratórios. Os principais gráficos apresentados são:

$H_{mt} - Q$ : Variação da altura manométrica em função da vazão

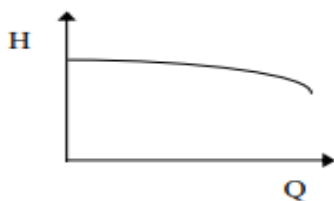
$\eta - Q$ : Variação do rendimento global em função da vazão

$W - Q$ : Relação entre a potência requerida no accionamento e a vazão

As curvas características das bombas centrífugas podem ter diferentes configurações:

MACINTYRE (1998), as curvas estáveis classificam-se em:

a) **(Rising)**: A altura aumenta continuamente à medida que se diminui o caudal. Para cada caudal nulo a altura é aproximadamente 15 a 20% maior do que a altura correspondente ao melhor rendimento, é típico de bombas monocelulares. Conforme ilustra a figura abaixo.

**Figura 11:** Curva do tipo Rising

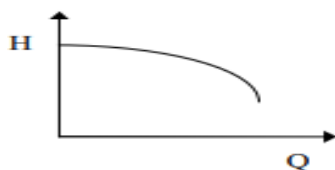
Fonte: AUTOR, 2023.

b) (**Steep**): a altura aumenta, de forma acentuada com a diminuição do caudal. A altura de caudal nulo é 50% maior do que no ponto de melhor rendimento. Usa-se em instalações onde a avaria constantemente são tipicamente bombas multicelulares, conforme ilustra a figura abaixo.

**Figura 12:** Curva do tipo Steep

Fonte: AUTOR, 2023.

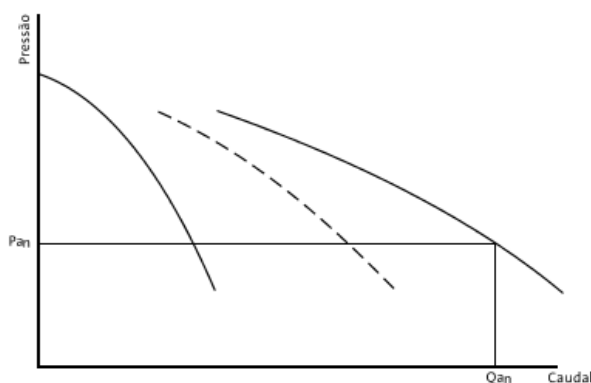
c) Plana (**Flat**): a altura do ponto de melhor rendimento é quase a mesma do ponto de caudal nulo. Recomendada em instalações onde há grande variação de caudal e pequenas variações de altura manométrica são típicas de bombas associadas em paralelos. Conforme ilustra a figura abaixo.

**Figura 13:** Curva do tipo Flat

Fonte: AUTOR, 2023.

A selecção dos grupos electrobombas devem ser a favor dos que se caracterizam pela curva acentuada, ou seja, bombas multicelulares. E a pressão que a bomba deve fornecer têm de ser maior que a pressão de desligamento.

Portanto o caudal de dimensionamento das bombas deve ser 15 % a 25 % superior ao caudal máximo do consumo previsto para o edifício. A pressão correspondente a essa descarga é a altura manométrica da instalação. Conforme a figura abaixo:  $P_d = 3m$

**Figura 14:** Curva da bomba com o caudal de dimensionamento

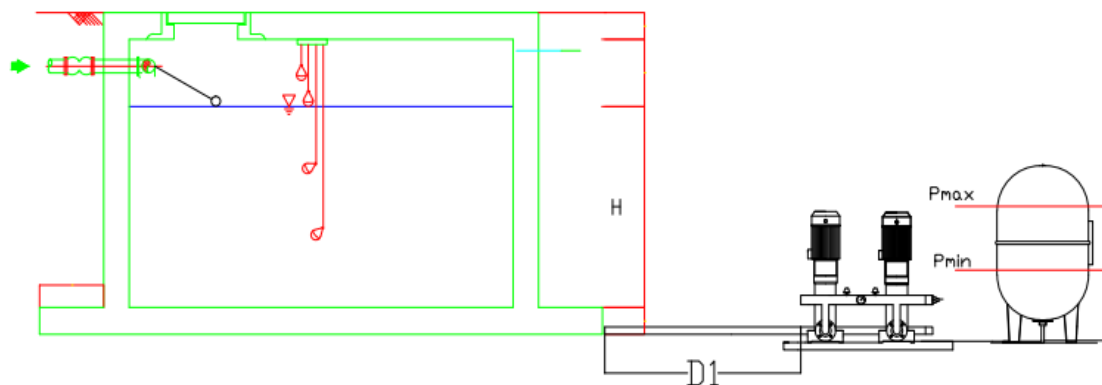
Fonte: RAMÍSIO, 2005.

Onde:

$P_{an}$  – Corresponde a pressão de arranque da última bomba é igual a altura manométrica da instalação.

$Q_{an}$  – Caudal correspondente a 115% a 125% do consumo máximo.

As electrobombas se encarregaram de transportar a água do reservatório de armazenamento de água até ao reservatório hidropneumático. Conforme ilustra a figura abaixo:

**Figura 15:** Esquema da central com bombas de aspiração com carga positiva

Fonte: AUTOR, 2023.

Pelo que, a altura manométrica máxima requerida pela electrobomba deve ser a que vence as perdas de carga contínuas e localizadas existentes entre o reservatório do armazenamento de água na tubagem de saída das electrobombas acrescentadas da pressão máxima no interior do reservatório hidropneumático, e pode ser obtida pela expressão abaixo:

$$H_{mt} = P_{max} + \sum \Delta H_{asp} \quad (1.11)$$

A pressão máxima é a soma da pressão diferencial com a pressão mínima, pelo que:

$$P_{max} = \Delta P + P_{min} \quad (1.12)$$

$\Delta P$  – Pressão diferencial em, (m).

Leite (2008), afirma que, afim de obter-se um serviço aceitável, não deve haver diferenças exageradas entre  $P_{\max}$  e  $P_{\min}$ , sugerindo-se um diferencial compreendido entre 10 a 15 mca. Não obstante, o artigo 205 da Norma Sanitária 4044, estabelece que, a pressão diferencial no interior do reservatório hidropneumático não deve ser inferior a 14 mca. Pelo que,

$$P_{\max} = 14 + P_{\min} \quad (1.13)$$

Geralmente os reservatórios hidropneumáticos são fornecidos pela fábrica pré-carregado com ar a uma pressão de 20psi, adequado para redes que trabalham com pressões e (14mca) e 40psi (28mca). Essa pré-carga deverá ser alterada quando o sistema operar em outras faixas de pressão, conforme indicado na tabela abaixo.

**Tabela 1:** Pressão de operação do sistema em função da pressão da pré-carga.

PRESSÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	PRESSÃO DA PRÉ-CARGA ( $P_0$ )
20psi (14mca) a 40psi (28mca)	18psi (1,3kgf/cm <sup>2</sup> )
30psi (21mca) a 50psi (35mca)	27psi (1,9kgf/cm <sup>2</sup> )
40psi (28mca) a 60psi (42mca)	36psi (2,5kgf/cm <sup>2</sup> )
50psi (35mca) a 70psi (49mca)	46psi (3,2kgf/cm <sup>2</sup> )
60psi (42mca) a 80psi (56mca)	55psi (3,9kgf/cm <sup>2</sup> )

(Fonte: Catálogo JACCUZI, 2008).

Da tabela cima pode-se verificar a existência da relação entre as pressões de arranque para cada faixa de pressão de operação do sistema com a pressão do ar que o reservatório deve possuir. uma vez determinada a pressão de arranque da bomba, a pressão da pré-carga requerida do reservatório hidropneumático pode ser ajustada aproximadamente para 90 % da pressão de arranque da primeira electrobomba. Pelo que,

$$P_0 = 0.9 \times P_{\min} \quad (1.14)$$

$P_0$  – Pressão do ar no reservatório hidropneumático para uma determinada faixa de operação.

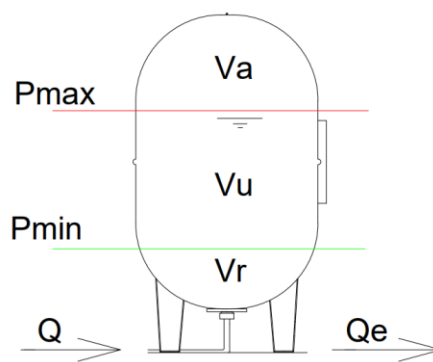
O reservatório hidropneumático tem uma função tripla:

– Servir de reserva, absorvendo o excesso de caudal ( $Q_{\text{consumo}} < Q_{\text{bombado}}$ ) ou complementado a insuficiência do caudal bombeado ( $Q_{\text{consumo}} > Q_{\text{bombado}}$ ), nas zonas em que o caudal não é garantido pelas bombas;

- Assegurar a manutenção de pressão na instalação durante os períodos de paragem da bomba, permitindo a compensação de fugas e de pequenos consumos;
- Absorver as flutuações bruscas de pressão e de caudal durante a abertura e o fecho dos equipamentos de consumo (trata-se, contudo, de uma função secundária que não justifica por si só a presença do Depósito).

Para o cálculo do volume do reservatório hidropneumático a que ter em conta as seguintes variáveis conforme a figura abaixo.

**Figura 16:** Reservatório hidropneumático de membrana



Fonte: MACNTYRE,1998.

$P_{min}$  – Pressão absoluta de partida da bomba, igual a pressão manométrica (mca);

$P_{max}$  – Pressão absoluta de parada da bomba (mca);

$V_r$  – Volume morto ou residual ( $m^3/s$ ), correspondente a 20% do volume total, isto é,

$$V_r = 0,20V_T$$

$V_T$  – Volume total do reservatório hidropneumático ( $m^3$ );

$V_m$  – Volume de ar correspondente a pressão máxima  $P_{max}$  ( $m^3$ );

$V_n$  – Volume de ar correspondente a pressão mínima  $P_{min}$  ( $m^3$ );

$V_u$  – Volume útil de água no reservatório, compreendido entre os níveis de  $P_{min}$  e  $P_{max}$ .

O princípio de funcionamento dos reservatórios hidropneumáticos baseia-se na Lei de Boyle Mariotte, que se pode enunciar como:

" À mesma temperatura, o volume ocupado por um gás varia na razão inversa da pressão que se encontra submetido".

$$P \times V = C^t \quad (1.15)$$

$P$  – Corresponde à pressão absoluta.

Portanto, tendo em atenção a fig. 16, a expressão (1.15) fica:

$$(P_{max} + 1) \times V_m = (P_{min} + 1) \times V_n = (P_{max} + 1) \times V_m \times (V_m + V_u) \quad (1.16)$$

Explicitando a equação (1.16) para  $V_n$  pode se escrever a seguinte expressão:

$$V_u = V_n \times \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}} \quad (1.17)$$

Admitindo que  $V_n + V_u = 80\%$  do volume total do reservatório, pois considera-se um volume de reserva  $V_r = 20\%$  da capacidade total, o volume total  $V$  ( $m^3$ ) do reservatório vem dado pela seguinte expressão:

$$V_n = 0.8 \times V_T \quad (1.18)$$

e teremos

$$V_u = 0.8 \times V_T \times \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}} \quad (1.19)$$

O cálculo do volume total é feito através da aplicação de fórmulas empíricas, deduzidas por diversos autores como resultado de estudos teórico-experimentais tais como:

a) Fórmula proposta por Harold Nickelsporn

$$V_T = 10 \times Q_{max} \quad (1.20)$$

Em que:

$V_T$  – Volume total em litros/minuto;

$Q_{max}$  – Consumo máximo provável do edifício expresso em galões;

b) Fórmula deduzida por Ângelo Gallizio

$$V_T = 30 \times \frac{Q}{N} \times \frac{P_{max}}{P_{max} - P_{min}} \quad (1.21)$$

$Q_{max}$  – Consumo máximo provável do edifício expresso em  $\frac{l}{min}$ ;

$N$  – Numero de ligações da electrobomba em cada período de uma hora.

Para MACINTYRE (1980), o valor de  $N$  pode-se adoptar consoante a envergadura da instalação, podendo ser estes:

- a) 6 a 10 – Para instalações industriais e ou edifícios de grande porte;
- b) 10 a 15 – Para instalações industriais e ou edifícios de médio porte;
- c) 15 a 25 – para instalações pequenas.

Para LEITE (2008), é importante assegurar que não seja ultrapassada a frequência máxima de arranques das electrobombas, pois uma frequência muito elevada pode queimar motores, e

contribuir para o desgaste do equipamento, portanto a duração de um ciclo deve ser tanto mais importante quanto mais elevada for a Potência dos motores.

O valor de N costuma-se ser dado pelos fabricantes em função da potencia dos motores

Conforme a tabela abaixo:

**Tabela 2:** Número de partidas dos motores

Potência (KW)	1	2	3	4	5	6	8	10
N	96	72	56	48	42	36	28	24

(Fonte: LEITE, 2005).

Refira-se que a potência é dada por:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta} \quad (1.22)$$

onde:

P – Corresponde à potência (kW),

$\gamma$  – Peso volúmico da água (kN/m<sup>3</sup>),

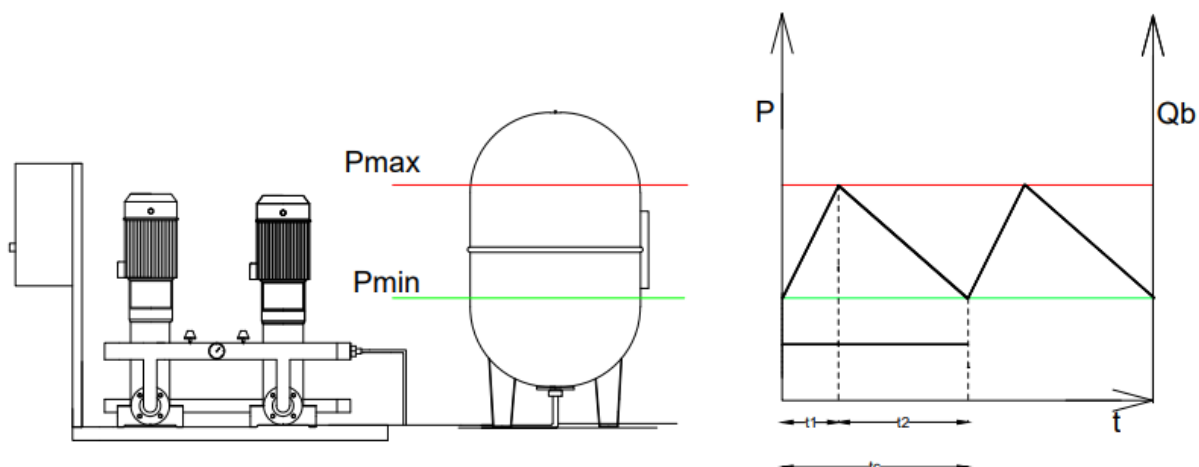
Q – Caudal bombado (m<sup>3</sup> /s),

H – Altura manométrica em (m),

$\eta$  – Rendimento do grupo de bombagem (entre 60% a 70%)

Para se aferir a frequência de arranques das electrobombas é necessário ter em conta a variação do caudal bombado, visto que à medida que a água vai entrando no reservatório a pressão no seu interior vai aumentando, o que leva à diminuição do caudal. Quando se atinge a pressão máxima, as bombas desligam. Havendo consumo de água, a saída desta permite a expansão do ar e, conseqüentemente, a diminuição da pressão no interior do reservatório de ar comprimido (RAC). Quando se atinge o valor mínimo pré-estabelecido, é emitido um sinal que faz a bomba arrancar novamente

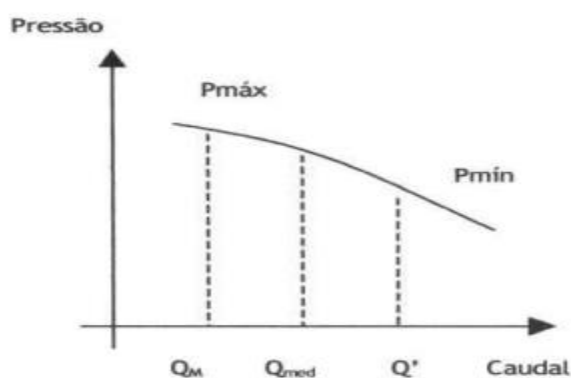
**Figura 17:** Relação do caudal e pressão no interior do reservatório



**Fonte:** AUTOR, 2023.

Como o caudal vai variando ao longo deste ciclo, nos cálculos será considerado um caudal médio ( $Q_{med}$ ), como se pode ver pela figura abaixo.

**Figura 18:** Curva característica da electrobomba



**Fonte:** LEITE, 2008.

Onde:

$Q_M$  – Caudal bombado correspondente à pressão máxima,

$Q'$  - Caudal correspondente à pressão mínima.

Para o cálculo do volume útil é necessário conhecer o tempo de enchimento e de esvaziamento do RAC. Como  $Q > Q_e$ , o esvaziamento do RAC só ocorre quando os grupos de bombagem estão parados, pelo que, o tempo de esvaziamento é dado por:

$$T_{esv} = \frac{V_u}{Q_e} \quad (1.23)$$

Já o tempo de enchimento é dado por:

$$T_{\text{enchimento}} = \frac{V_u}{Q_{\text{med}} - Q_e} \quad (1.24)$$

O período de enchimento-esvaziamento é dado pela soma de cada um desses tempos, conforme ilustra a figura 17, pelo que:

$$T = \frac{V_u}{Q_e} + \frac{V_u}{Q_{\text{med}} - Q_e} \quad (1.25)$$

Interessa conhecer a frequência máxima do arranque dos grupos, a qual está associada ao período mínimo. Derivando T em ordem a facilmente se verifica que esse mínimo ocorre para  $Q_e = Q_{\text{med}}/2$ . Introduzindo este resultado na equação obtém-se:

$$T = \frac{2V_u}{Q_{\text{med}}} + \frac{2V_u}{Q_{\text{med}}} \quad (1.26)$$

Que resulta que,

$$T = \frac{4V_u}{Q_{\text{med}}} \quad (1.27)$$

Isto é, o período mínimo, T (segundos) é uma função do volume útil,  $V_u$  e do caudal médio  $Q_{\text{med}}$ . Com este período podemos determinar o número máximo de arranques por hora, como se poderá ver na expressão seguinte:

$$N = \frac{3600}{T} \quad (1.28)$$

Substituindo T pela equação (1.27), resulta que:

$$N = \frac{900 \times Q_{\text{med}}}{V_u} \quad (1.29)$$

No chamado “método Gallizio” considera-se que:

$$Q_{\text{med}} = 1.6 \times Q_M \quad (1.30)$$

sendo o caudal  $Q_M$  correspondente à pressão máxima. Substituindo em (1.29) fica

$$N = \frac{1440 \times Q_M}{V_u} \quad (1.31)$$

## **CAPÍTULO III – METODOLOGIA**

De acordo GERHARDT & SILVEIRA (2009), na sua análise sob o conceito metodologia, define-o como sendo o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência. Etimologicamente, significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para fazer uma pesquisa científica. Esta obedeceu orientações que satisfazem os objectivos da mesma e buscar possíveis soluções para o problema verificado, tal que, analise dos materiais bibliográficos que prevalece no decurso deste trabalho por meio de citações assim como as referências.

### **3.1. TIPO DE PESQUISA**

#### **3.1.1. QUANTO À ABORDAGEM**

Pretende-se com a pesquisa analisar a frequência de arranques horária das bombas nas centrais de pressurização hidropneumática, portanto foi utilizada a pesquisa mista. Os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenómeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente (FONSECA 2002) citado por (GERHARDT, 2009).

#### **3.1.2. QUANTO À NATUREZA**

Quanto à natureza foi utilizada pesquisa aplicada, que visa gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais. (GERHARDT *et al.*, 2009).

#### **3.1.3. QUANTO AOS OBJETIVOS**

Este trabalho é descritivo, uma vez que é baseada em assuntos teórico, livros trabalhos científicos e artigos.

### **3.1.4. QUANTO AOS PROCEDIMENTOS TÉCNICOS**

O estudo de caso foi o procedimento utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, onde foram feitas o levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e electrónicos, como livros, artigos científicos. Segundo (GIL, 2008).

## **3.2. POPULAÇÃO E AMOSTRA**

### **3.2.1. POPULAÇÃO**

Segundo GIL (2008), população é o conjunto de elementos que possuem as características que serão objecto do estudo. População não se refere apenas a inteira população, mas também a um conjunto de objectos, eventos, observações ou outras coisas que podem ser agregáveis e sobre as quais estamos interessados em generalizar.

A pesquisa foi feita nos sistemas de pressurização hidropneumática de seis edifícios residenciais da cidade da Maputo e foram ainda entrevistados oito operadores de sistemas de bombagens, duas empresas de comercialização e manutenção de centrais hidropneumáticas.

### **3.2.2. AMOSTRA**

GIL (2008), considera amostra um subconjunto do universo ou da população, por meio do qual se estabelecem ou se estimam as características desse universo ou população. Nesta vertente, foram escolhidos três edifícios, quatro operadores de sistemas, e uma empresa de comercialização e manutenção como parte representativa do universo.

## **3.3. INSTRUMENTOS E TÉCNICAS DE RECOLHA DE DADOS**

A recolha de dados foi feita no condomínio *Deco Residence*, onde:

Foram colectadas as medidas do traçado linear das tubagens abastecida pela central hidropneumática, as medidas foram obtidas através de uma fita métrica.

Identificou-se o tempo de enchimento e esvaziamento do RAC através de um cronómetro, a colecta foi feita nas primeiras horas do dia onde o consumo é muito maior;

Identificou-se e colectou-se as especificações das bombas existentes as informações foram obtidas através da chapa característica;

Colectou-se através da leitura do manómetro as pressões mínimas e máximas calibradas nos pressóstatos para o accionamento das bombas;

Quantificou-se a pressão do ar dentro reservatório hidropneumático, através de um compressor onde procedeu-se primeiro na drenagem total da água dentro do tanque, depois foi removida a tampa da válvula de ar e por fim foi conectada o bico do compressor com a válvula e através do manómetro foi lida a pressão do ar.

### **3.4. PROCEDIMENTOS PARA PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS**

Para a análise de dados recorreu-se ao auxilio de métodos estatísticos, e através da implementação de softwares de cálculo como é o caso da plataforma *Microsoft Excel* para e gráficos

## CAPÍTULO IV- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE CONSUMO DO EDIFÍCIO ( $Q_M$ )

Tabela 3: Cálculo do consumo por piso

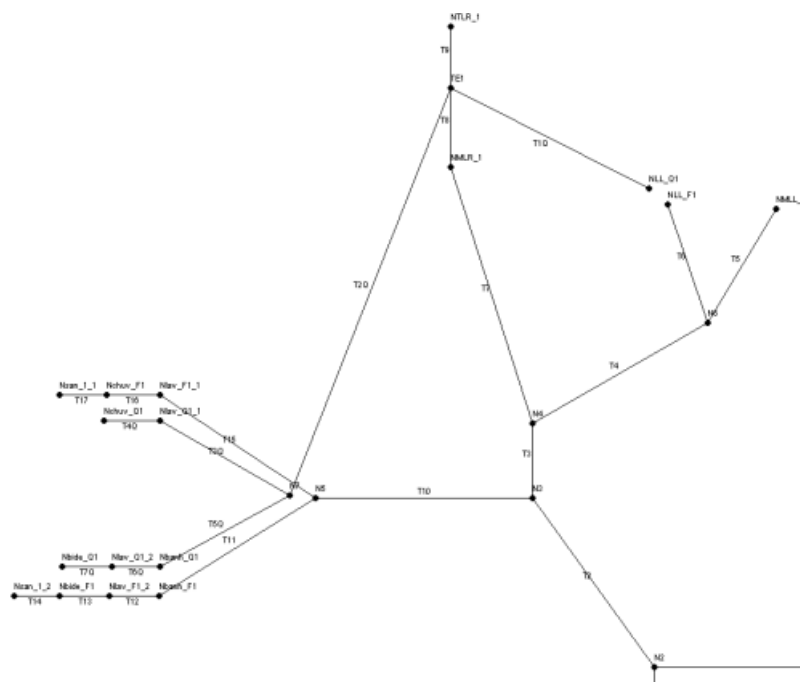
Dispositivos	Caudal mínimo $\frac{l}{s}$	Número de dispositivos por piso	Caudal Acumulado por Piso $\frac{l}{s}$
Lavatório individual	0.10	4	0.40
Lavatório por bica	0.05	0	0
Bidé	0.10	2	0.20
Banheira	0.25	4	1.0
Chuveiro individual	0.15	4	0.60
Pia de despejo com torneira de 15mm	0.15	0	0
Autoclismo de bacia de retrete	0.10	3	0.3
Mictório com torneira individual	0.15	0	0
Pia lava-louça	0.20	4	0.80
Bebedouro	0.10	0	0
Máquina de lavar louça	0.15	2	0.30
Máquina ou tanque de lavar roupa	0.20	0	0
Bacia de retrete com fluxómetro	0.15	0	0
Mictório com fluxómetro	0.50	0	0
Boca de rega com 15mm	0.30	0	0
Idem com 20mm	0.45	0	0
			$\Sigma Q_a = 3.6$

O caudal de cálculo da rede de distribuição baseou-se nos caudais instantâneos mínimos correspondentes aos diferentes dispositivos de utilização, empregando-se as curvas de caudais de cálculo para um nível médio de conforto, conforme se viu no Capítulo II.

Foi preenchida as células do número total de dispositivos em cada piso em cinzento consoante o número de dispositivos por andar do edifício e com base nesses determinou-se o caudal

acumulado. O caudal acumulado de cada utilização foi determinado multiplicando-se o caudal mínimo de cada utilização por número de dispositivos de cada piso o qual resultou em  $79.2 \frac{l}{s}$ . O número de dispositivos de utilização foi obtido na rede de distribuição de cada piso conforme a figura abaixo:

**Figura 19:** Representação da rede de abastecimento em cada apartamento.



Para os nós referentes a cada uma das utilizações foi utilizada uma notação que permitisse distinguir a sua função, tipo de água utilizada e a quantidade existente em cada uma das habitações. Nos restantes nós que permitem a bifurcação das várias tubagens, foram apenas numerados, tendo o cuidado de seguir a ordem de cada uma das habitações utilizadas para a notação dos nós das utilizações. Com o traçado da rede de abastecimento de água, foi possível aferir os respectivos caudais, diâmetros, pressões e as velocidades recomendadas. Conforme pode-se observar na tabela abaixo:

**Tabela 4:** Comportamento hidráulico dos tubos da rede do último piso.

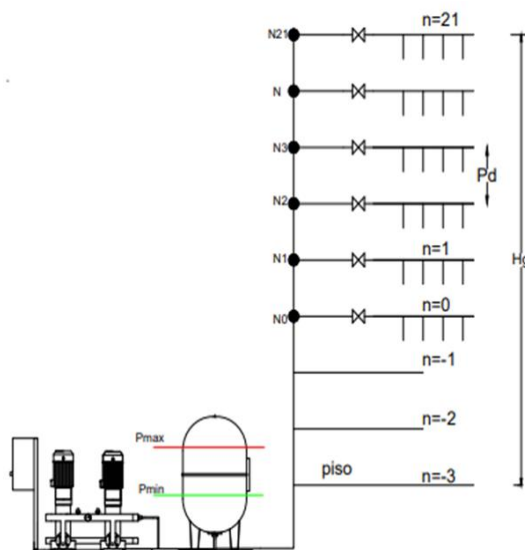
Troço	Caudal de cálculo (l/s)	Diâmetro comercial interno. (mm)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)	K Perdas localizada	Perdas de carga total (m)
T0	1.8	36.66	1.0	1.30	0.0	0.23
T1	1.3	42	3.1	0.94	3.8	0.77
T2	0.90	33.20	0.1	1.04	0.6	1.80
T3	0.75	26.60	1.6	1.35	0.6	0.35
T4	0.35	21.20	0.1	0.99	0.6	0.27
T5	0.15	13,20	2.6	1.10	2.4	0.58
T6	0.20	13.20	5.6	1.46	3.2	0.36
T7	0.65	26.60	7.3	1.17	3.0	0.23
T8	0.60	26.60	0.2	1.08	0.6	0.69
T9	0.20	13.20	0.4	1.46	1.4	1.51
T10	0.55	26.60	5.0	0.99	0.8	0.27
T11	0.45	21.20	4.2	1.27	3.0	0.27
T12	0.30	16.60	1.3	1.39	0.6	0.18
T13	0.20	13.20	2.6	1.46	1.6	2.38
T14	0.10	13.20	0.6	0.73	1.4	1.74
T15	0.90	21.20	2.1	0.99	0.6	0.38
T16	0.75	16.60	1.4	1.16	3.2	0.95
T17	0.35	13.20	1.7	0.73	3.2	1.97

**Tabela 5:** Pressões no último piso

Nó	Cota (m)	Pressão (mca)	Nó	Cota (m)	Pressão (mca)
N1		22.03	N14		22.03
N2		21.78	N18		21.78
N8		21.51	N15		21.51
N11		21.33	Nlav-F3		21.33
N9		21.25	Nbanh-F3		21.25
N3		21.74	Nsan-3		21.74
N4		21.53	Nbide-F3		21.53
N5		21.37	N16		21.37
N6		21.50	NMLL-3		21.50
NTLR-1		20.57	NLL_F3		20.57
TE1		20.75	NMLR_3		20.75
NMLR-1		20.80	NTLR-3		20.80
NLL-F1		19.66	TE3		19.66
NMLL-1		20.94	N19		20.94
NLav-F1-1		21.07	N21		21.07
Nchuv-F1		20.85	NLL-F4		20.85
NSan-1-1		20.68	N20		20.68
Nbanh-F1		20.59	NMLL-4		20.59
Nlav-F1-2		20.30	NMLR-4		20.30
Nbide-F1		19.47	NTLR-4		19.47
NSan-1-2		19.41	N22		19.41
N10		21.22	Nlav_F4_2 2		21.22
NMLL_2		20.33	Nsan-4-2		20.33
NLL_F2		19.89	Nchuv-F4		19.89
TE2		20.52	Nbanh-F4		20.52
NMR_2		20.48	Nsan-4-1		20.48
NTLR_2		20.23	Nbide-F4		20.23
Nbanh_F2		20.69	Nlav-F4_1		20.69
Nlav_F2_2		20.44	NLL-Q1		20.44
Nbide_F2		19.60	N7		19.60
Nsan_2_2		19.53	Nlav-Q1-1		19.53
Nlav_F2_1		21.11	Nchuv-Q1		21.11
Nchuv_F2		20.93	Nbanh-Q1		20.93
Nsan_2_1		20.75	Nlav-Q1-2		20.75
N13		20.76	Nbide-Q1		20.76

**Tabela 6:** Continuação das pressões no último piso

Nó	Cota (m)	Pressão (mca)	Nó	Cota (m)	Pressão (mca)
NLL-Q2		19.73	Nlav-Q3		19.73
N12		18.72	Nbanh-Q3		18.72
Nlav-Q2-1		18.38	NLL-Q4		18.38
Nchuv-Q2		18.10	N23		18.10
Nbanh-Q2		18.14	Nlav-Q4_2		18.14
Nlav-Q2-2		17.79	Nchuv-Q4		17.79
Nbide-Q2		17.56	Nlav-Q4-1		17.56
NLL-Q3		18.36	Nbide-Q4		18.36
N17		17.53	Nbanh-Q4		17.53
Nbide-Q3		17.26	NTE4		17.26

**Figura 20:** Representação da rede da coluna a montante do edifício em estudo.

Fonte: Autor, 2023.

Para a obtenção das velocidades em cada trecho do tubo, procedeu-se com o cálculo dos respectivos diâmetros de acordo com o procedimento descrito no capítulo 3. Este

dimensionamento foi realizado através duma folha de cálculo elaborada pelo autor deste trabalho. A tabela abaixo ilustra a distribuição do caudal acumulado nos respectivos trechos

**Tabela 7:** Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos

Tubo	Caudal Acumulado $\frac{l}{s}$	Nó	Caudais no Nó $\frac{l}{s}$	Tubo	Caudal Acumulado $\frac{l}{s}$	Nó	Caudais no Nó $\frac{l}{s}$
T21	3.6	N21	3.6	T10	43.2	N10	3.6
T20	7.2	N20	3.6	T9	46.8	N9	3.6
T19	10.8	N19	3.6	T8	50.4	N8	3.6
T18	14.4	N18	3.6	T7	54	N7	3.6
T17	18	N17	3.6	T6	57.6	N6	3.6
T16	21.6	N16	3.6	T5	61.2	N5	3.6
T15	25.2	N15	3.6	T4	64.8	N4	3.6
T14	28.8	N14	3.6	T3	68.4	N3	3.6
T13	32.4	N13	3.6	T2	72	N2	3.6
T12	36	N12	3.6	T1	75.6	N1	3.6
T11	39.6	N11	3.6	T0	79.2	N0	3.6

**Tabela 8:** Folha de cálculo para o dimensionamento dos tubos da coluna a montante

Tubo	Nó	Caudal acumulado (l/s)	Caudal de cálculo (l/s)	D cálculo (mm)	Diâmetro comercial interno. (mm)	Velocidade (m/s)
T21	N21	3.6	1.04	29.71	36,66	1.0
T20	N20	7.2	1.51	35.8	36.66	1.43
T19	N19	10.8	1.80	39.1	42,76	1.25
T18	N18	14.4	2.21	43.3	54,76	0.94
T17	N17	18	2.46	45.70	54,76	1.05
T16	N16	21.6	2.72	48.05	54,76	1.15
T15	N15	25.2	2.92	49.79	54,76	1.24

T14	N14	28.8	3.23	52.36	54,76	1.37
T13	N13	32.4	3.53	54.74	54,76	1.50
T12	N12	36	3.83	57.03	66,90	1.10
T11	N11	39.6	4.12	59.14	66,90	1.17
T10	N10	43.2	4.40	61.11	66,90	1.25
T9	N9	46.8	4.67	62.96	66,90	1.33
T8	N8	50.4	4.94	64.75	66,90	1.41
T7	N7	54	5.21	66.50	66,90	1.48
T6	N6	57.6	5.47	68.14	82,80	1.02
T5	N5	61.2	5.73	69.74	82,80	1.06
T4	N4	64.8	5.98	71.25	82,80	1.11
T3	N3	68.4	6.23	72.72	82,80	1.16
T2	N2	72	6.48	74.16	82,80	1.20
T1	N1	75.6	6.72	75.52	82,80	1.25
T0	N0	79.2	6.96	76.86	82,80	1.30

Com a introdução dos respectivos caudais acumulados nos seus respectivos tubos, a folha de cálculo irá determinar os respectivos caudais de cálculo e os diâmetros do tubo. Para a determinação dos respectivos caudais de cálculo dos respectivos tubo o procedimento deve observar o que está descrito no capítulo 3 no ponto 1.3.

Verificou-se que em nenhuma conduta existe uma velocidade superior a 1,5 m/s, cumprindo assim o disposto no regulamento.

O caudal a ser bombado pela central é o caudal acumulado total, pelo que, resulta em:

**Tabela 9:** Caudais de dimensionamento da Central hidropneumática.

Caudal de cálculo a bombear (l/s)	
Caudal Acumulado Total ( $Q_a$ )	79.2
$Q_c = 0.2525Q_a^{0.7587}$	$500 \geq Q_a > 25 \frac{l}{s}$
Caudal Acumulado de Cálculo ( $Q_c$ )	6.96
Caudal Máximo Bombado (l/s)	
$1.15 \times Q_c \leq Q_M \leq 1.25Q_c$	
Factor majorativo [1.15;1.25].	1.2
Caudal Máximo Bombado $Q_M$	8.352

O caudal máximo bombado será o caudal acumulado de cálculo total acrescida de fator majorativo que varia de [1.15;1.25]. Assumiu-se o valor médio de majoração, que resulta em, [1.2].

O caudal a fornecer pelos grupos corresponde ao caudal de cálculo da rede com uma majoração de 20%.

**Tabela 10:** Comportamento hidráulico dos tubos da coluna a montante.

Troço	Caudal de cálculo (l/s)	Diâmetro comercial interno. (mm)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)	Re	f	J (m/m)	J x L (m)
T21	1.04	36.66	3.0	1	35941	0.3868	0.538	1.668
T20	1.51	36.66	3.0	1.43	51396	0.3790	0.978	2.342
T19	1.8	42.76	3.0	1.25	52402	0.3788	0.705	2.186
T18	2.21	54.76	3.0	0.94	50465	0.3793	0.3134	0.972
T17	2.46	54.76	3.0	1.05	56371	0.3772	0.387	1.200
T16	2.72	54.76	3.0	1.15	61739	0.3753	0.4618	1.432
T15	2.92	54.76	3.0	1.24	66571	0.3737	0.5341	1.656
T14	3.23	54.76	3.0	1.37	73550	0.3716	0.6492	1.013
T13	3.53	54.76	3.0	1.5	80529	0.3699	0.3346	1.401
T12	3.83	66.9	3.0	1.1	72147	0.3719	0.3445	1.068
T11	4.12	66.9	3.0	1.17	76738	0.3709	0.3868	1.199
T10	4.4	66.9	3.0	1.25	81985	0.3694	0.4396	1.363
T9	4.67	66.9	3.0	1.33	87232	0.3684	0.497	1.541
T8	4.94	66.9	3.0	1.41	92479	0.3671	0.556	1.724
T7	5.21	66.9	3.0	1.48	97071	0.3661	0.6109	1.894
T6	5.47	82.8	3.0	1.02	82800	0.3694	0.2365	0.733
T5	5.73	82.8	3.0	1.06	86047	0.3686	0.2549	0.790
T4	5.98	82.8	3.0	1.11	90106	0.3676	0.2788	0.864
T3	6.23	82.8	3.0	1.16	94165	0.3669	0.3038	0.942
T2	6.48	82.8	3.0	1.2	97412	0.3661	0.3244	1.006
T1	6.72	82.8	3.0	1.25	101471	0.3654	0.3514	0.989
T0	6.96	82.8	9.0	1.3	105529	0.3647	0.3793	3.527

**Tabela 11:** Pressões na coluna montante.

Nó	Cota (m)	Perda de carga no troço (m)	Pressão (mca)	Nó	Cota (m)	Perda de carga no troço (m)	Pressão (mca)
N21	72	1.668	22.03	N10	39	1.363	51.04
N20	69	3.342	26.698	N9	36	1.541	52.436
N19	66	2.186	29.698	N8	33	1.724	54.036
N18	63	0.972	32.02	N7	30	1.894	58.636
N17	60	1.200	35.04	N6	27	0.733	61.43
N16	57	1.432	39.14	N5	24	0.790	63.236
N15	54	1.656	40.84	N4	21	0.864	65.836
N14	51	2.013	42.005	N3	18	0.942	73.536
N13	48	2.401	45.005	N2	15	1.006	76.336
N12	45	1.068	46.073	N1	12	1.089	79.136
N11	42	1.199	49.073	N0	9	3.527	80.93

A pressão necessária para vencer o desnível geométrico e garantir 15 mca no dispositivo mais afastado é de 80.93 mca (designada por pressão estática).

**Tabela 12:** Pressão de funcionamento da Central hidropneumática

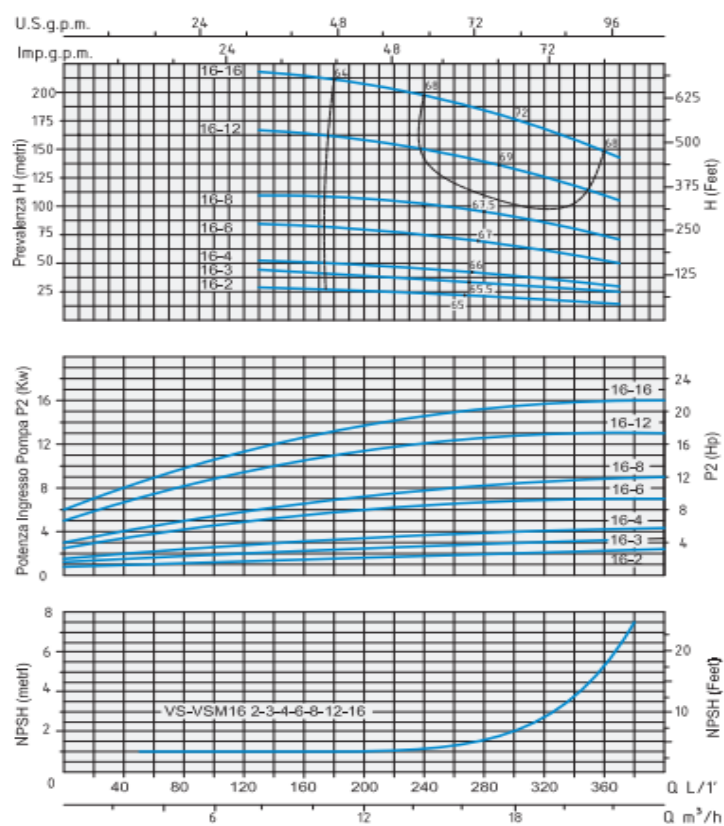
Pressões a ser garantida pela Central hidropneumática	
Variação entre a pressão mínima e máxima $10 \leq \Delta P \leq 15$ mca	
Pressão mínima ( $P_{\min}$ )	80.93
Pressão máxima ( $P_{\max}$ )	95.93
Pressão da pré-carga no interior do reservatório $P_0 = 0.9 \times P_{\min}$	
( $P_0$ )	85.5

Considerou-se um diferencial de 15 mca, isto é, uma pressão máxima absoluta de 95.93 mca. No edifício em estudo considerou-se como pressão mínima um valor de 80 mca e pressão máxima de 100 mca valor que excede o limite da variação para um serviço aceitável no interior do reservatório hidropneumático.

**Tabela 13:** Características da electrobomba da central hidropneumática em estudo .

Característica da electrobomba	
Caudal (l/min)	417.6
Altura total	80.93
Peso volúmico da água (kN/m <sup>3</sup> )	9.8
Rendimento	60 %
Potência (kW)	7.5
Número máximo de arranques por hora	
Potência (kW)	N
7.5	28

Com o caudal máximo de consumo e altura manométrica máxima obteve-se 2 grupos electrobombas de 7.5 kW cada. As electrobombas escolhidas no edifício em estudo são da marca Speroni do tipo VS 16-8.

**Figura 21:** Curva característica da electrobomba VS 16-8.

**Fonte:** Catálogo Speroni, 2020.

**Tabela 14:** Características do reservatório hidropneumático

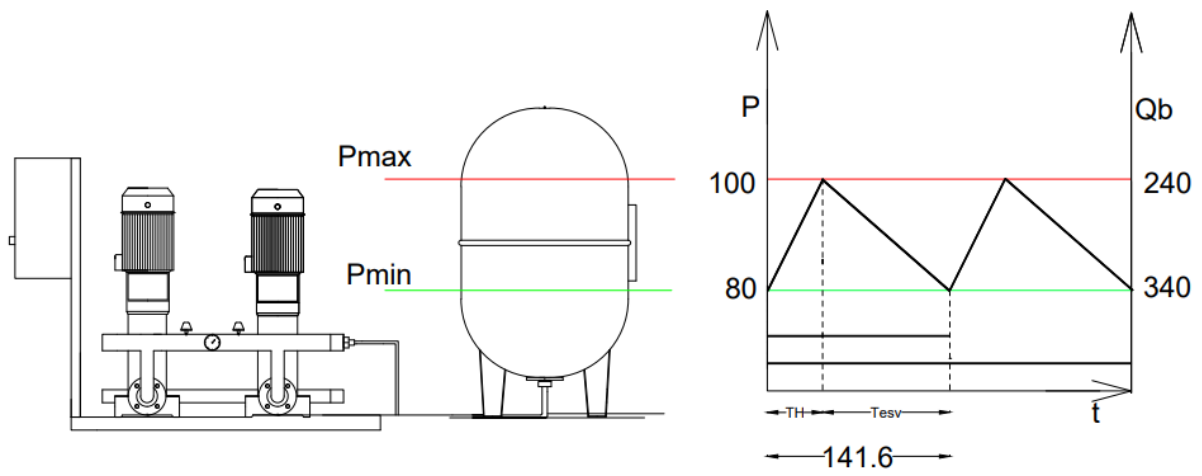
Características do Reservatório Hidropneumático	
Caudal (l/min)	417.6
Pressão mínima ( $P_{\min}$ )	80.93
Pressão máxima ( $P_{\max}$ )	95.93
Número de arranques (N)	28
Volume total (L)	4840.56
Volume útil (L)	456.39
Volume útil comercial (L)	500

Da tabela acima pode se aferir que o volume adaptado no edifício em questão é relativamente inferior ao verificado. Póis, o intervalo de pressão estabelecida conduz a um reservatório de 456.396 litros de capacidade aproximando para volume comercial de 500L. para o cálculo validou-se a proposta adoptada por Ângelo Gallizio uma vez que considera a pressão de operação do sistema e o número de arranques em função da potência do motor. Uma vez que se aproximou para o volume comercial, foi necessário fazer-se uma verificação em termos dos arranques que esta ira proporcionar o sistema de abastecimento de água. Conforme tabela abaixo:

**Tabela 15:** Verificação do número máximo de arranques das electrobombas

Verificação do número máximo de arranques electrobombas Por hora	
Caudal (l/min)	417.6
$Q_{\text{med}} = 1.6 \times Q_M$	668.16
Volume útil (L)	500
Duração de um Ciclo (s)	141.6
N	26

Os arranques resultaram em 26 por hora para o volume de 500L o que comparado com a tabela proposta pela MACINTYRE é satisfatório para a capacidade dos motores das bombas.

**Figura 22:** Representação gráfica do comportamento do reservatório hidropneumático

## CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. CONCLUSÃO

O Presente trabalho buscou analisar a frequência de arranques das electrobombas nas Centrais hidropneumáticas, pois todos objectivos específicos foram alcançados e com eles pôde se chegar a conclusão de que:

- O volume do reservatório hidropneumático é muito inferior relativamente a quantidade de água consumida no edifício, sobretudo na hora de maior consumo.
- O volume do reservatório é muito inferior para o intervalo da pressão regulada nas chaves pressostáticas, para a pressão  $P_{\min} = 80$  mca e  $P_{\max} = 100$  mca, pois para a pressão calibrada nas chaves pressostáticas resultou num 456.396 litros de volume útil que pode ser aproximado para um volume comercial igual a 500 litros.
- A pré-carga do reservatório hidropneumático não foi calibrada em função do intervalo de pressão de arranque do sistema, o que contribui significativamente, uma vez que, se a pressão do ar for muito inferior a 90% da pressão de arranque as bombas arrancam com muita frequência.
- A duração do ciclo é mais curta quanto a reserva de água for reduzida, ou seja, o volume total do reservatório reduzido, ou um pequeno diferencial da pressão de arranque e paragem das bombas.

De acordo com referido acima pode se afirmar que a hipóteses H1 e H3 são verdadeiras

### 5.2. RECOMENDAÇÕES

Após o termino na intervenção dos sistemas hidropneumáticos recomenda-se que:

- Se troque o volume do reservatório 300L para um volume 456.396L aproximando para um volume comercial de 500L.
- Que se instale temporizadores com a finalidade de retardar a paragem ou arranque de cada bomba embora seja uma solução parcial na medida que a temporização permite que o ponto de funcionamento ultrapasse os limites da gama da pressão estabelecida.
- uma pequena bomba para assegurar a manutenção da pressão na rede do sistema, quando as bombas principais estiverem paradas a sua função está limitada em satisfazer as necessidades de período nocturno onde o consumo é reduzido, tais como as fugas de caudal de instalação.
- Se verifique a pressão do ar no interior do reservatório hidropneumático de três em três meses.
- Que se adquira uma outra central e divida-se o edifício em dois sectores, sendo estes em 12 fogos cada para cada grupo e assim reduziria o volume de reservatório hidropneumático de cada sector.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÉ, J. A. V. *Sistemas Fluido mecânicos*. Porto Alegre, PUC-RS.2010
- ANGELO, Gallizio. *Impianti Sanitari*.1ªedição, 1961.
- CARVALHO JÚNIOR, Roberto. *Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos*. 1ª Edição, São Paulo, Blucher, 2014.
- MARINA Catálogo, 2021.
- DE MATTOS, EDSON E., DE FALCO, REINALDO, *Bombas Industriais*. 2ª Edição, Rio de Janeiro, Interciência 1998.
- DECRETO-REGULAMENTAR N.º 23/95. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Lisboa, Diário da República n.º 194, Série I-B. 23 de agosto de 1995.
- FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Universidade Estadual do Ceará, 2002.
- GIL, António Carlos. *Como elaborar projectos de pesquisa*. 4ª Edição, são Paulo, Atlas, 2002
- GERHARDT, T.E. e SILVEIRA, D.T. *Métodos de pesquisa*. 1ªedição, Universidade Federal do Rio Grande do SUL, UFRGS editora, 2009.
- ILHA, M.S.D.O.; GONÇALVES, O.M. *Sistemas Prediais de Água Fria*. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1994.
- JACCUZI Catálogo, 2008.
- Leite, S.O. (2008). Abastecimento de água de edifícios altos. Dissertação de Mestrado, FEUP
- Lencastre, A. *Hidráulica Geral*. 1996.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. *Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais*.4ª Edição, Rio de Janeiro, LTC. 2017.
- NEVES, M.J.V. *Centrais hidropneumáticas – Apontamentos aulas Sistemas de Abastecimento Água*, FEUP
- NETTO, A. *Manual de Hidráulica*. São Paulo, Blucher. 1998
- Paixão, M.A. *Águas e Esgotos em Urbanizações e Instalações Prediais*. Edições Orion. 1999.
- Pedroso, V. *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas*. Lisboa LNEC. 2000.
- PEREIRA, L.G; ILHA, M.S.O. Medição Individualizada em Edificações Verticais de Interesse social: Avaliação comparativa das Soluções Utilizadas
- PIENTA, G. (2015). Pumps and Pump Systems II. American Society of Plumbing Engineers AS
- RAMISIO, P. *Sistemas de Pressurização*, in Bombas GRUNFOS Portugal, S.A. 2005.

TSUTIYA, M.T. *Abastecimento de água*. 3ª Edição, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SPERONI Catálogo, 2020.

SEGATTO, E.C.; DIAS, A.M. *Análise comparativa da eficiência energética entre sistemas prediais de abastecimento de água*. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2011.

KARMOUCHE, A. R. *Análise da eficiência energética em compressores a pistão em sistemas de ar comprimido*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

## APÊNDICES

### APÊNDICE I: Localização do caso de estudo



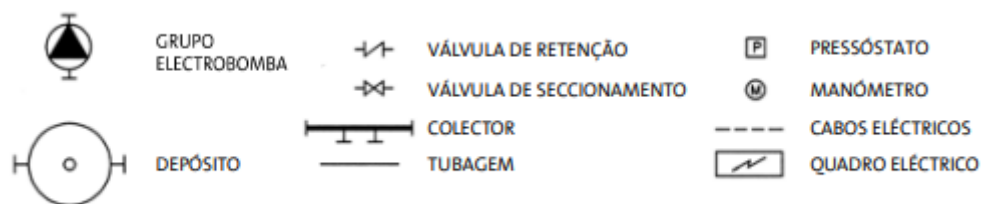
### APÊNDICE II: Bombas verticais



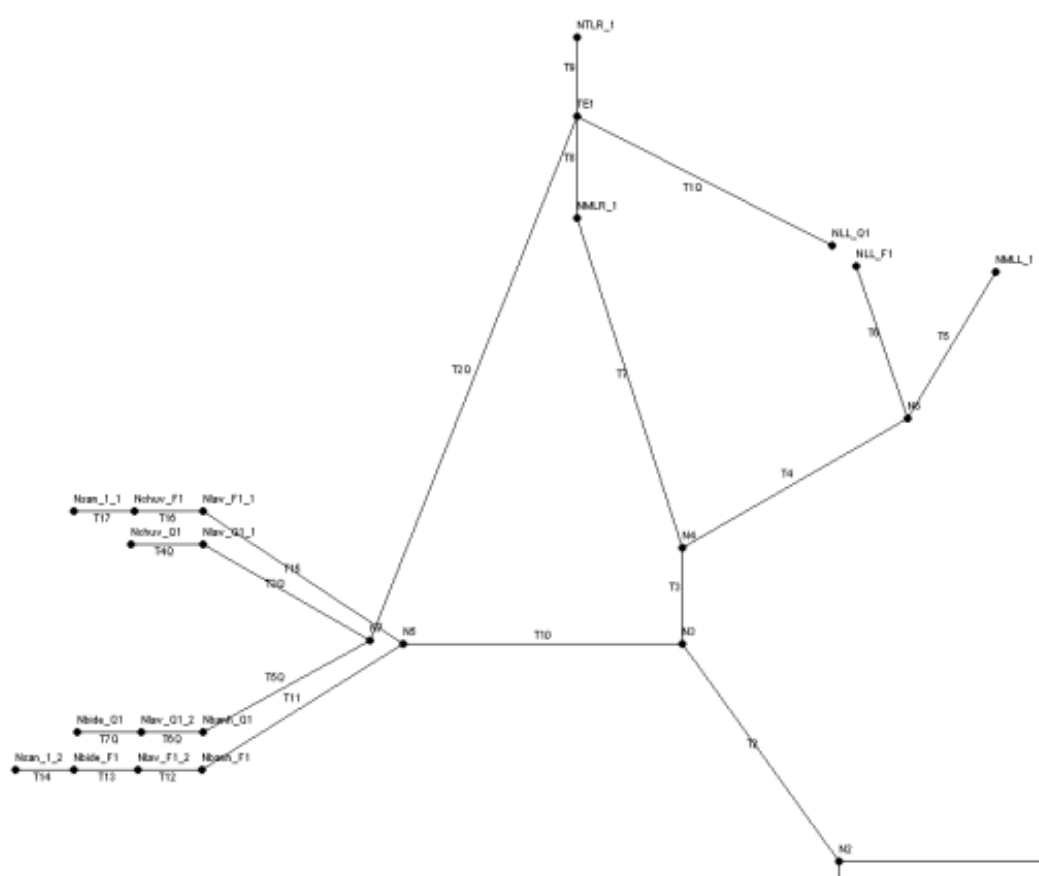
### APÊNDICE III: Bombas com o Reservatório



## APÊNDICE IV: Simbologia.



## APÊNDICE V: Rede de abastecimento de água no último piso



## ANEXOS

## ANEXO I: Caudais mínimos nos dispositivos hidráulicos

Caudais Instantâneos	
Dispositivos de utilização	Caudais mínimos (l/s)
Lavatório individual	0,10
Lavatório colectivo (por bica)	0,5
Bidé	0,10
Banheira	0,25
Chuveiro individual	0,15
Pia de despejo com torneira de $\varnothing$ 15 mm	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	0,10
Urinol com torneira individual	0,15
Pia lava-louça	0,20
Bebedouro	0,10
Máquina de lavar louça	0,15
Máquina de lavar roupa	0,20
Tanque de lavar roupa	0,20
Bacia de retrete com fluxómetro	0,15
Urinol com fluxómetro	0,50
Boca de rega ou lavagem de $\varnothing$ 15 mm	0,30
Boca de rega ou lavagem de $\varnothing$ 20 mm	0,45
Máquinas industriais e outros aparelhos	Em conformidade com as instruções do fabricante

Fonte: Decreto Regulamentar n.º 23/95 (1995).

## ANEXO II: Rugosidade absoluta (mm) em tubulações indústrias

MATERIAL	Rugosidade equivalente (mm)
Aço, revestimento asfalto quente	0,3 a 0,9
Aço, revestimento esmalte centrifugado	0,01 a 0,06
Aço enferrujado ligeiramente	0,15 a 0,3
Aço enferrujado	0,4 a 0,6
Aço muito enferrujado	0,9 a 2,4
Ferro galvanizado novo, com costura	0,15 a 0,2
Ferro galvanizado novo, sem costura	0,06 a 0,15
Ferro fundido revest. asfalto	0,12 a 0,20
Ferro fundido com crostas	1,5 a 3,0
PVC e COBRE	0,015
Cimento-amianto, novo	0,05 a 0,10

Fonte: MACINTYRE, 1997.

**ANEXO III:** Coeficiente de perda de carga de acessórios

Tipo de Acessório	<i>k</i>	Tipo de Acessório	<i>k</i>
Ampliação Gradual	0,20*	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor venturi	2,5
Comporta aberta	1,00	Redução gradual	0,15
Controlador de vazão	2,50	Registro de ângulo aberto	5,0
Cotovelo 90 <sup>o</sup>	0,9	Registro de gaveta aberto	0,20
Cotovelo 45 <sup>o</sup>	0,4	Registro de globo aberto	10,0
Crivo	0,75	Saída de canalização	1,00
Curva 90	0,4	Tê passagem direta	0,6
Curva 45	0,20	Tê saída de lado	1,30
Curva 22,5	0,10	Tê saída bilateral	1,80
Entrada normal em canalização	0,50	Válvula de pé	1,75
Entrada de borda	1,0	Válvula de retenção	2,50
Existência de pequena derivação	0,03	Velocidade	1,0

Fonte: ALÉ,2011.

**ANEXO IV:** Especificações dos motores das bombas

TIPO TYPE		POTENZA NOMINALE NOMINAL POWER		AMPERE	
Monofase Single-phase	Trifase Three-phase	P2		Monofase Single-phase	Trifase Three-phase
		HP	kW		
VSM 16-2	VS 16-2	3	2,2	13,5	4,7
	VS 16-3	4	3		6,1
	VS 16-4	5,5	4		8
	VS 16-6	7,5	5,5		10,7
	VS 16-8	10	7,5		14,5
	VS 16-12	15	11		19,4
	VS 16-16	20	15		26

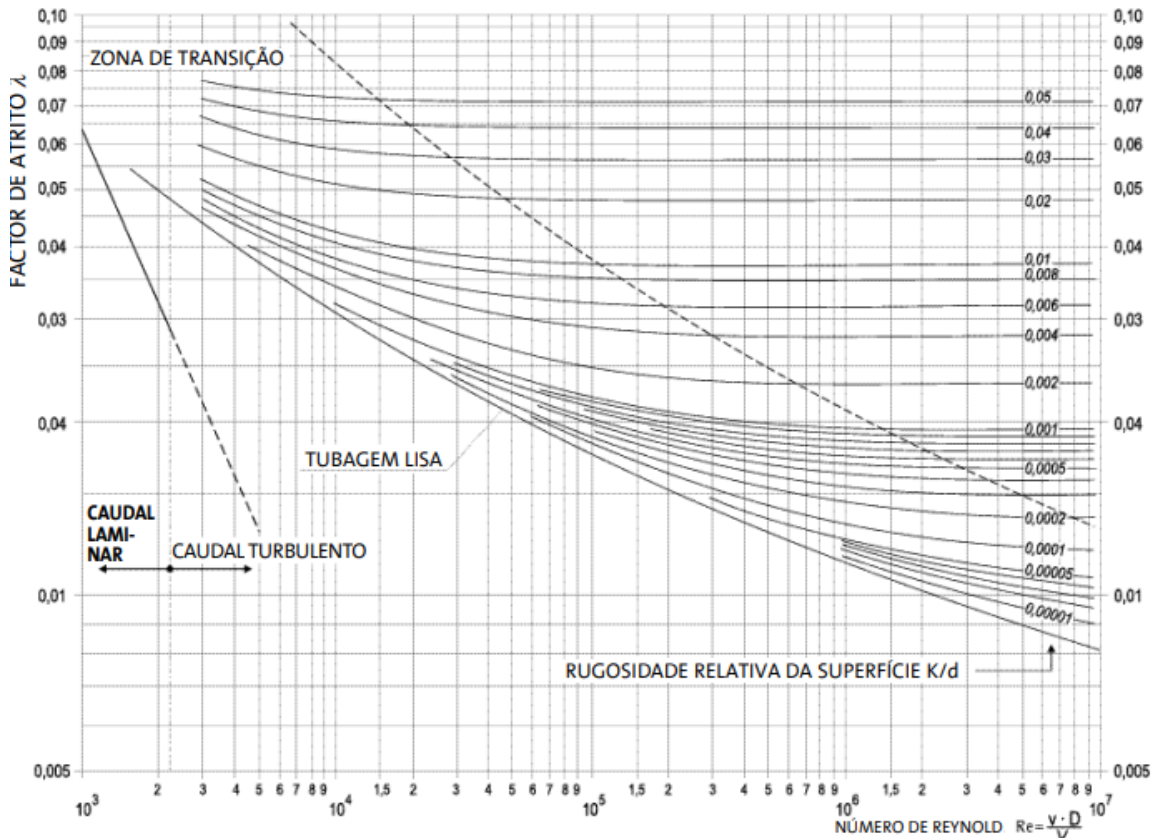
Fonte: Catálogo SPERONI, 2020.

## ANEXO V: Propriedades da água

Temperatura (°C)	Massa Específica $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Viscosidade Dinâmica $\mu$ (Pa.s) ou (N.s/m <sup>2</sup> )	Viscosidade Cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	1000	9.81	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	1000	9.81	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	1000	9.81	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	1000	9.81	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	998	9.79	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	997	9.78	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	996	9.77	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	994	9.75	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	992	9.73	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	990	9.71	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	988	9.69	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	986	9.67	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	984	9.65	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	981	9.62	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	978	9.59	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	975	9.56	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	971	9.53	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	968	9.50	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	965	9.47	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	962	9.44	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	958	9.40	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

Fonte: ALÉ, 2011.

## ANEXO VI: Diagrama de Moody.



Fonte: ALÉ, 2011.