IFSP – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

ANDRÉ MARCELO DIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

SÃO PAULO 2013

ANDRÉ MARCELO DIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

Dissertação apresentada ao Institut o Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Automação & Controle de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto

SÃO PAULO 2013 AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

| D530 | DIAS, André Marcelo. Análise comparativa da eficiência energética entre sistemas de abastecimento de água prediais – 2013. 123 f.: il.; 30 cm |
|--------|---|
| | Orientador: Prof. Dr. Enio Carlos Segatto |
| | Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2013. |
| | Eficiência Energética Motobombas Bombas DIAS, André Marcelo II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo Título |
| CDU 68 | 1.0 |

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO *CAMPUS* SÃO PAULO

DIRETORIA GERAL DO CAMPUS SÃO PAULO Coordenadoria de Registros Escolares de Pós-Graduação

ATA DE EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Programa: **Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos** Nome do(a) Aluno(a) : André Marcelo Dias Nome do Orientador: Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto Nome do Co-orientador: Título do Trabalho: "ÁNALISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAL"

Abaixo o resultado de cada participante da Banca Examinadora

| Nome completo dos Participantes Titulares da Banca | Sigla da Instituição | Aprovado / Não Aprovado |
|--|-------------------------|----------------------------|
| Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto – Orientador | IFSP – SPO | APROVADO |
| Prof. Dr. Alexandre Simião Caporali | IFSP – SPO | Aprovado |
| Prof. Dr. Claudionor Francisco do Nascimento | UFABC | APROVADO |
| Nome completo do Participante Suplente da Banca | Sigla da Instituição | Aprovado / Não Aprovado |
| Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo | IFSP – SPO | |
| Prof. Dr. Edmarcio Antonio Belati | UFABC | |

Considerando-o:

INSTITUTO FEDERAL

SÃO PAULO Campus São Paulo

[] APROVADO[] NÃO APROVADO

Assinaturas

São Paulo, 24 de abril de 2013

Presidente da Banca

Mémbro Interno

Membro Externo

Observações:

A minha esposa "Cica" e aos meus filhos Giovanni, Thaisa e Victor, pela paciência e compreensão.

Aos meus pais pelos alicerces que me propiciaram chegar até este trabalho.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto, pela paciência e simplicidade na condução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alexandre Caporalli pelas valiosas dicas nas simulações computacionais necessárias.

Aos meus amigos e colegas da Wilo, juntos aos fornecedores e clientes dessa empresa, que sempre tiveram interesse e incentivaram a busca dos resultados finais da pesquisa.

À Cecília Andrade Dias, minha esposa, pelo incentivo, apoio e compreensão.

Sobretudo e, maiormente, a Deus por ter dado condições para realização deste trabalho.

"Mais fácil me foi encontrar as leis com que se movem os corpos celestes, que estão a milhões de quilômetros, do que definir as leis do movimento da água que escoa frente aos meus olhos"

Resumo

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o consumo entre os sistemas de abastecimento de água predial aplicáveis no Brasil, definindo qual deles se apresenta como o mais eficiente. Assim, para realização da análise, foi delimitado um universo de 9 edifícios, dentre os mais comuns no Brasil, dotados de 8, 12 ou 16 pavimentos que, por sua vez, continham 4, 8 ou 12 unidades habitacionais em cada um. Cada edifício teve suas instalações hidráulicas dimensionadas de acordo com a norma NBR5626:1998 para posterior simulação através do software Matlab/Simulink, considerando as características de operação diária de cada edificação. Com os resultados obtidos na simulação, o consumo energético necessário para operação de cada sistema pôde ser definido. Assim, como resultado, o sistema de abastecimento predial dotado apenas de reservatório inferior e com a prumada de abastecimento dividida em zonas de pressão apresentou o menor consumo energético por metro cúbico de água elevado. Já o sistema dotado com reservatórios inferior e superior e o sistema com reservatório inferior, mas com única prumada de abastecimento, obtiveram resultados muito próximos entre si, porém, apresentaram-se menos eficiente que o primeiro. Os resultados do estudo remetem ao fato de que a divisão da prumada do abastecimento predial em segmentos faz com que o consumo de energia ocorra apenas para a elevação da água até o pavimento mais alto de cada zona de pressão abastecida. Em contrapartida, os sistemas com dois reservatórios ou com reservatório inferior e única prumada de abastecimento necessitam de mais energia porque devem elevar a água até o último pavimento da edificação. Essa característica comum justifica os resultados bastante próximos obtidos pelos dois sistemas durante as simulações realizadas.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento prediais. Eficiência energética. Bombas. Motobombas.

Abstract

COMPARATIVE ANALYSIS ABOUT ENERGETIC EFFICIENCY BETWEEN WATER SUPPLY SYSTEMS IN BUILDINGS

The main objective of this job is to analyze the energy consumption between water supply systems that can be applied in the Brazilian buildings to define what is the most efficient between them. To do the analysis, a group with 9 buildings was defined. These buildings have 8, 12 or 16 floors with 4, 8 or 12 apartments each one. The hydraulic installation of each building was dimensioned according the Brazilian standard NBR5626:1998 and it was simulated trough Matlab/Simulink software, considering the daily operation characteristics. With the simulation results and considering the characteristic of operation, the needed energy consumption can be defined. Then, the system endowed of only lower reservoir with pipe line divided in pressure zones presented as the most efficient relationship between energy consumption and amount of pumped water. The other systems analyzed presented near results between them but with efficiency lower than the first system. The results show that with the division of pipe line in segments, the energetic consumption is destined only to pump water up to top floor of each supplied pressure zone. By another way, systems that have only one pipe line should pump water up to highest floor of the building. This common characteristic justifies the close results obtained by both systems during the simulation.

Key words: Water supply systems. Energetic efficiency. Pumps. Motor pumps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| Figura 2-1 - Roda d'água chinesa | 21 |
|---|-----|
| Figura 2-2 - Roda d'água de Leupold | 22 |
| Figura 2-3 - Rosca de Arquimedes | 22 |
| Figura 2-4 - Partes do conjunto moto-bomba | 25 |
| Figura 2-5 - Curva de desempenho de bomba | 25 |
| Figura 2-6 - Curva de eficiência da bomba | 27 |
| Figura 2-7 - Definição de perda de carga | 30 |
| Figura 2-8 - Curva característica do sistema | 34 |
| Figura 2-9 - Ponto de operação do sistema | 35 |
| Figura 2-10 - Alteração do ponto de operação pela manobra da válvula | 36 |
| Figura 2-11 - Esquema de instalação com by pass | 37 |
| Figura 2-12 - Alteração do ponto de operação pela instalação de by pass | 37 |
| Figura 2-13 - Ajuste do ponto de operação por redução do diâmetro do rotor | 39 |
| Figura 2-14 - Variação no rendimento devido variação do rotor | 40 |
| Figura 2-15 - Variação no rendimento devido à variação de velocidade | 42 |
| Figura 3-1 - Sistema de abastecimento direto sem bombeamento | 46 |
| Figura 3-2 - Sistema de abastecimento direto com bombeamento | 47 |
| Figura 3-3 – Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento | 49 |
| Figura 3-4 - Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento | 50 |
| Figura 3-5 - Sistema de abastecimento indireto RI-RS, | 51 |
| Figura 3-6 - Sistema RI | 52 |
| Figura 3-7 - Sistemas diretos - síntese | 54 |
| Figura 3-8 - Sistemas indiretos – síntese | 55 |
| Figura 3-9 - Perfil de consumo residencial horário | 60 |
| Figura 3-10 - Edificação com sistema RI dividido em zonas de pressão | 62 |
| Figura 4-1 – Curva e equação da bomba MVI403 obtida através do Matlab | 74 |
| Figura 4-2 - Ponto de operação corrigido para a edificação com 8 pavimentos | e 4 |
| apartamentos cada | 78 |
| Figura 4-3 - Limites para a variação de velocidade | 80 |
| Figura 4-4 – Esquema em blocos simplificado para simulação do sistema RI-RS | 88 |
| Figura 4-5 - Esquema em blocos simplificado para simulação do sistema RI | 88 |
| Figura 5-1 - Consumo energético no sistema RI-RS | 92 |

| 96 | Figura 5-2 - Consumo energético no sistema RI com zona única. |
|---------------------|---|
| n zonas de pressão | -igura 5-3 - Consumo energético no sistema RI com divisão e |
| 106 | |
| imo das edificações | Figura 6-1 - Resultado comparativo entre as médias de consu |
| 107 | |

LISTA DE TABELAS

| Tabela 2-1- Coeficientes "C" de Hazen-Williams | 32 |
|---|----|
| Tabela 3-1 - Consumo per capita de água | 57 |
| Tabela 3-2 - Definição da população do edifício | 57 |
| Tabela 3-3 - Pesos relativos | 59 |
| Tabela 4-1 - Pontos de consumo previstos para o modelo | 64 |
| Tabela 4-2 - Consumo diário das edificações analisadas | 65 |
| Tabela 4-3 - Altura manométrica necessária - sistema RI-RS | 69 |
| Tabela 4-4 - Altura manométrica necessária - sistema RI | 70 |
| Tabela 4-5 - Altura manométrica necessária - sistema RI com zonas de pressão | 70 |
| Tabela 4-6 - Vazão da moto-bomba nas edificações com sistema RI-RS | 71 |
| Tabela 4-7 - Pontos hidráulicos instalados no prédio com 8 pavimentos com | 4 |
| apartamentos cada | 71 |
| Tabela 4-8 - Máxima vazão instantânea - Sistema RI sem zoneamento de pressão | 72 |
| Tabela 4-9 - Máxima vazão instantânea por zona de pressão no sistema RI | 72 |
| Tabela 4-10 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI-RS | 74 |
| Tabela 4-11 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI | 75 |
| Tabela 4-12 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI co | ст |
| zonas de pressão | 76 |
| Tabela 4-13 - Pontos de operação corrigidos | 79 |
| Tabela 4-14 - Divisão do abastecimento em faixas de operações | 81 |
| Tabela 4-15 - Exemplo de operação diária da moto-bomba no sistema RI | 83 |
| Tabela 4-16 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI-RS | 85 |
| Tabela 4-17 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única | 86 |
| Tabela 4-18 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única | 87 |
| Tabela 5-1 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos dotados | de |
| sistema RI-RS | 89 |
| Tabela 5-2 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos dotados | de |
| sistema RI-RS | 90 |
| Tabela 5-3 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos dotados | de |
| sistema RI-RS | 91 |
| Tabela 5-4 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos e sistema | RI |
| com zona única | 93 |

Tabela 5-5 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos e sistema RI com zona única......94 Tabela 5-6 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos e sistema RI com zona única......95 Tabela 5-7 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão......97 Tabela 5-8 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 8 Tabela 5-9 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 12 Tabela 5-10 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão......100 Tabela 5-11 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão......101 Tabela 5-12 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão......102 Tabela 5-13 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão......103 Tabela 5-14 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão......104 Tabela 5-15 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão......105

LISTA DE ABREVIAÇÕES

| Ph | Potência Hidráulica |
|-------------------|---|
| Q | Vazão |
| ρ | Densidade |
| Н | Altura manométrica ou de elevação |
| g | Aceleração Gravitacional |
| ηp | Rendimento da bomba |
| <i>B.E.P</i> . | Best Efficiency Point (ponto de melhor eficiência) |
| Ν | Rotação |
| F | Frequência |
| Р | Potência |
| S | Escorregamento |
| <i>P1</i> | Potência elétrica consumida |
| P2 | Potência mecânica no eixo |
| ηт | Rendimento do motor |
| D | Diâmetro |
| V _{max} | Velocidade máxima do fluído |
| V | Velocidade do fluído |
| hf | Perdas de carga total |
| J | Perdas de carga unitária |
| С | Coeficiente adimensional para cálculo das perdas de carga |
| H_{geo} | Altura geométrica |
| Pm | Potência motriz |
| H _{cons} | Pressão no ponto de consumo |
| Κ | Constante |

SUMÁRIO

| Agr | adecime | ntos | 6 |
|------|---------|--|----|
| Rest | umo | | 8 |
| Abs | tract | | 9 |
| 1 | Introdu | ção | 18 |
| 1.1 | Objet | ivos | 19 |
| | 1.1.1 | Objetivo geral | 19 |
| | 1.1.2 | Objetivos específicos | 19 |
| 1.2 | Estru | tura e conteúdo do trabalho | 19 |
| 2 | Sistema | as de bombeamento | 21 |
| 2.1 | Princ | ípios dos sistemas de bombeamento | 21 |
| 2.2 | Bomł | pas e sistemas de bombeamento | 23 |
| 2.3 | Moto | -bombas Centrífugas | 24 |
| | 2.3.1 | Curva de desempenho das bombas | 25 |
| | 2.3.2 | Eficiência hidráulica de uma bomba | 26 |
| | 2.3.3 | Curva vazão x eficiência | 27 |
| | 2.3.4 | Motores para acionamento das bombas | 28 |
| 2.4 | Conjı | into tubulação e conexões | 29 |
| | 2.4.1 | Dimensionamento do diâmetro da tubulação | 29 |
| | 2.4.2 | Velocidade | 29 |
| | 2.4.3 | Perdas de carga | 30 |
| | 2.4.4 | O método empírico e a multiplicidade de fórmulas | 31 |
| | 2.4.5 | Fórmula de Hazen-Williams | 32 |
| | 2.4.6 | Fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao | 33 |
| | 2.4.7 | Perdas de carga localizadas | 33 |
| 2.5 | Curva | as características de sistemas de bombeamento | 34 |
| | 2.5.1 | Controle de desempenho das bombas | 35 |

| 3 | Sistemas prediais de abastecimento de água fria | | |
|-----|---|--|----|
| 3.1 | Defin | nição | 44 |
| 3.2 | Tipo | logias de sistemas de abastecimento prediais | 45 |
| | 3.2.1 | Sistema de abastecimento direto | 45 |
| | 3.2.2 | Sistema de abastecimento indireto | 48 |
| 3.3 | Esco | lha do sistema a ser utilizado | 53 |
| | 3.3.1 | Sistemas adequados para aplicações Brasileiras | 53 |
| 3.4 | Variá | áveis dos sistemas prediais de abastecimento | 55 |
| | 3.4.1 | Vazão de consumo | 55 |
| | 3.4.2 | Dimensionamento dos reservatórios | 58 |
| | 3.4.3 | Dimensionamento da vazão instantânea máxima provável. | 58 |
| | 3.4.4 | Distribuição horo-sazonal do consumo de água nas edificações | 60 |
| | 3.4.5 | Pressão dinâmica e estática nas instalações prediais | 60 |
| | 3.4.6 | Divisão da prumada em zonas de pressão | 61 |
| 3.5 | sinte | se das etapas de elaboração de projetos | 62 |
| 4 | Dimen | sionamento dos sistemas modelos | 63 |
| 4.1 | Perfi | l do modelo adotado para o estudo | 63 |
| 4.2 | Rese | rva mínima e consumo diário | 64 |
| 4.3 | Altur | a manométrica para o sistema de bombeamento | 65 |
| | 4.3.1 | Pressão na sucção da bomba | 65 |
| | 4.3.2 | Pressões nos pontos de consumo | 65 |
| | 4.3.3 | Perdas de carga | 66 |
| | 4.3.4 | Divisão da edificação em zonas de pressão | 66 |
| | 4.3.5 | Dimensionando a altura manométrica | 67 |
| 4.4 | Vazã | o de abastecimento | 70 |
| 4.5 | Divis | são do consumo diário em horas | 72 |
| 4.6 | Seleç | ção das moto-bombas | 73 |

| 4.7 | Parti | cularidades do sistema RI-RS | 77 |
|------|---------|---|-----|
| 4.8 | Parti | cularidades do sistema RI | 79 |
| | 4.8.1 | Frequência mínima de operação | 79 |
| | 4.8.2 | Operação da bomba (divisão sazonal) | 80 |
| 4.9 | Dime | ensionamentos dos tubos hidráulicos | 84 |
| 4.10 |) Sir | nulações | 88 |
| 5 | Resulta | ados das simulações | 89 |
| 5.1 | Siste | ma RI-RS | 89 |
| | 5.1.1 | Edificios com 8 pavimentos | 89 |
| | 5.1.2 | Edificios com 12 pavimentos | 90 |
| | 5.1.3 | Edificios com 16 pavimentos | 91 |
| | 5.1.4 | Síntese dos resultados - sistema RI-RS | 92 |
| 5.2 | Siste | ma RI com zona de pressão única | 93 |
| | 5.2.1 | Edificios com 8 pavimentos | 93 |
| | 5.2.2 | Edificios com 12 pavimentos | 94 |
| | 5.2.3 | Edificios com 16 pavimentos | 95 |
| | 5.2.4 | Síntese dos resultados – sistema RI sem divisão em zonas de pressão | 95 |
| 5.3 | Siste | ma RI dividido em zonas de pressão | 96 |
| | 5.3.1 | Edificações com 8 pavimentos. | 96 |
| | 5.3.2 | Edificações com 12 pavimentos. | 100 |
| | 5.3.3 | Edificações com 16 pavimentos. | 103 |
| | 5.3.4 | Síntese dos resultados – sistema RI com divisão em zonas de pressão | 106 |
| 6 | Anális | e conclusiva e comentários | 107 |
| 6.1 | Reco | mendações para estudos futuros | 108 |
| 7 | Referê | ncias bibliográficas | 109 |
| Ane | xo I | | 112 |
| Ane | xo II | | 114 |
| Ane | xo III | | 116 |

1 INTRODUÇÃO

A água potável é um nutriente essencial que não possui substituto. No entanto, para que as pessoas possam fazer um bom uso dela, é necessário que chegue aos pontos de consumo em quantidade suficiente e dentro de valores pré-determinados de pressão.

Isso implica que os projetos de instalações prediais de água devem garantir que, mesmo nos pontos hidráulicos mais desfavoráveis, existam condições plenas de consumo. Essa necessidade, aliada à tendência de verticalização das edificações, tem feito dos sistemas de bombeamento um item cada vez mais comum nos edifícios de todos os níveis sociais.

Esses sistemas podem ser concebidos de maneiras diferentes, entretanto, todas elas passam pela necessidade da aplicação das moto-bombas. Assim, segundo Almeida (2007), é justamente nesse ponto onde se encontram os maiores problemas: estima-se que 2/3 das moto-bombas instaladas estão consumindo até 60% mais energia do que o necessário.

De acordo com Chaguri Junior (2009), discussões em torno de usos finais de energia são válidas e devem ser ampliadas, porém, elas devem ser feitas incorporando análises sobre os projetos de construção da infraestrutura que vão determinar as características do uso final da edificação ao longo se sua vida útil.

Os erros conceituais no projeto, o desconhecimento dos critérios eficientes para seleção dos dispositivos, a não aplicação das tecnologias adequadas para cada perfil de edificação ou até mesmo as especificações que visam exclusivamente os custos iniciais de instalação do sistema causam os problemas operacionais que, por sua vez, trazem o desperdício de energia.

Gomes (2005) comenta que deve ser procurado o uso eficiente de energia elétrica nos sistemas elevatórios de água, enfatizando que as perdas de energia ocorrem, principalmente, por conta da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, por procedimentos operacionais inadequados e/ou por falhas na concepção de projetos.

De acordo com Haestad (2003), os problemas operacionais mais comumente encontrados nos sistemas de bombeamento, são:

- a. moto-bombas operando em pontos hidráulicos diferentes daqueles previstos no projeto;
- b. operação contínua de moto-bombas ao invés de funcionamento intermitente com ciclos de tempo planejados; e

 c. sistemas com moto-bombas de velocidade variável operando em pontos de baixa eficiência energética.

O usuário, por sua vez, por desconhecimento do projeto, processo e dos conceitos agregados aos sistemas, não possui embasamento técnico para discutir e buscar soluções, ficando refém do sistema instalado e arcando com os custos de operação e manutenção.

Portanto, considerando que os sistemas de bombeamento contribuem para uma parcela significativa do consumo energético dos edificios, a aplicação da tecnologia correta para cada perfil predial aliada ao dimensionamento correto do conjunto moto-bomba são requisitos indispensáveis para sistemas eficientes de bombeamento de água em edifícios com finalidades residenciais, comerciais ou industriais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa é contribuir para a racionalização energética auxiliando na análise do custo do abastecimento de água nas edificações através da comparação do consumo energético dos sistemas de abastecimento de água aplicáveis nos edifícios brasileiros. Para isso, leva-se em consideração a energia mecânica necessária na movimentação das bombas aplicadas em cada um desses sistemas.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar qual sistema de abastecimento predial, dentre os aplicáveis no Brasil é o mais eficiente.

Sugerir modificações nos projetos e procedimentos de operação dos sistemas hidráulicos prediais com vistas para a melhoria da eficiência energética.

1.2 ESTRUTURA E CONTEÚDO DO TRABALHO

Há muitas variações na concepção, dimensionamento, aplicação ou operação dos sistemas de abastecimento prediais. Entretanto, as análises realizadas sempre vão considerar as configurações mais elementares desses sistemas, sem deixar de atender, integralmente, as normas técnicas brasileiras que regem o setor.

Essa dissertação é organizada em 6 capítulos. Após o capítulo introdutório, o Capítulo 2 mostra os sistemas de bombeamento e suas partes, compreendendo as bombas com suas características funcionais e representações gráficas; também apresenta o conjunto de

tubulação e seus acessórios, com os cálculos das perdas de carga geral e localizada e, finalmente, os meios para determinação da curva teórica e controle do desempenho dos sistemas.

O Capítulo 3 é focado nas tecnologias disponíveis para os sistemas prediais com suas características e aplicabilidade à realidade brasileira, mas também apresenta os pontos principais para dimensionamento de uma instalação de acordo com a norma *NBR5626:1998 - Instalação Predial de Água Fria*.

As premissas adotadas para a simulação dos sistemas, bem com o dimensionamento dos modelos utilizados são apresentados no Capítulo 4.

No Capítulo 5 estão presentes os resultados obtidos nas simulações realizadas através do *software Matlab* e *Simulink*, divididos de acordo com as características das edificações estudadas.

Finalmente, uma análise conclusiva é apresentada no capítulo 6, juntamente com algumas sugestões de oportunidades de otimização da operação do sistema e algumas recomendações para estudos futuros.

2 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo Wilo (2005), ao pensar em bombas e sua história, observa-se que, desde os tempos mais remotos, o homem tem procurado meios técnicos de bombeamento de fluidos, particularmente a água, para um nível superior. Isso foi usado tanto para irrigar campos como para preencher os fossos que cercavam as cidades e os castelos.

Com o passar dos tempos, os costumes e a atividade humana em geral mudaram e, com isso, a necessidade da elevação ou da movimentação dos fluídos aumentou. Entretanto, segundo Girdhar (2005), os princípios fundamentais da operação das bombas resistiram à evolução dos tempos.

2.1 PRINCÍPIOS DOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

De acordo com Chesterton (2000) e Wilo (2005), nossos ancestrais pré-históricos criaram uma roda d'água com vasos de barro fixos na sua periferia. Pessoas ou animais aplicavam energia para movimentar o conjunto e, então, elevava-se água. Esses sistemas foram usados no Egito e na China por volta de 1000 a.C., partes deles foram encontradas em escavações arqueológicas realizadas no século passado.

A figura 2-1 apresenta uma representação simplificada do funcionamento de uma roda chinesa com vasos de barro.



Figura 2-1 - Roda d'água chinesa Fonte: Wilo (2005)

Wilo (2005) afirma que a melhoria mais considerável realizada neste conceito foi concebida em 1724 por Jacob Leupold (1674-1727), que construiu tubos curvos fixos à roda d'água que, quando girava, transportava a água para a metade superior dela própria, assim, a

energia cinética do fluxo de água de um rio, por exemplo, servia como agente movimentador do conjunto. A figura 2-2 representa esse modelo:



Figura 2-2 - Roda d'água de Leupold Fonte: Wilo (2005)

Uma característica particular e notável deste projeto é a forma dos tubos dobrados. Ela é bastante parecida à forma dos impulsores das bombas centrífugas atuais.

Segundo Wilo (2005), Arquimedes (287-212 a.C.), projetou a rosca que mais tarde levaria o seu nome, em 250 a.C., ele transportou água girando uma rosca sem fim dentro de um tubo.

Essas roscas transportadoras foram operadas com ângulo de inclinação entre 37° e 45° e podiam transportar água a uma altura entre 2 e 6 metros com vazões máximas de cerca de 10m³/h.

Como resultado, uma relação foi observada: quanto maior a inclinação do parafuso, maior a elevação, porém, menor a quantidade de água transportada. Na figura 2-3, pode-se verificar uma representação simplificada do sistema criado por Arquimedes.



Figura 2-3 - Rosca de Arquimedes Fonte: Wilo (2005)

De acordo com Girdhar (2005), o comportamento operacional da rosca de Arquimedes também é notavelmente semelhante às bombas centrífugas de hoje: a curva da bomba que, naturalmente, era um conceito desconhecido na época, mostra a mesma relação à altura máxima a bombear e a quantidade de água transportada.

As bombas centrífugas foram idealizadas muito antes de poderem ser realizadas, pois faltava aos cientistas e construtores uma fonte de energia com alta velocidade de rotação. Conforme Girdhar (2005), os modelos de moto-bombas centrífugas que conhecemos hoje tiveram a origem durante os séculos XVII e XVIII.

Naquela época, segundo Girdhar (2005), o engenheiro britânico Thomas Savery, o físico francês Denis Papin, e o ferreiro e inventor britânico Thomas Newcomen foram os principais responsáveis pelo desenvolvimento de uma bomba d'água que usava vapor para movimentar pistões, que por sua vez, girava os rotores para impulsionar a água.

Estava inaugurada, portanto, a era das bombas centrífugas cujos princípios construtivos prevalecem até nossos dias.

2.2 BOMBAS E SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

As normas e especificações do *Hydraulic Institute of U.S.A.* estabelecem quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de êmbolo e de poço profundo, no entanto, Netto (1998) afirma que as instalações de água e esgotos são geralmente equipadas com bombas centrífugas.

Segundo Wilo (2005), as bombas possuem duas funções principais:

- a. Transferir o líquido de um lugar para outro (por exemplo, a partir de um reservatório para outro reservatório mais elevado);
- b. Circular líquido em um sistema fechado (por exemplo, nos sistemas de aquecimento solar).

Em toda e qualquer aplicação, a bomba encontra-se inserida em um contexto que possui outros componentes cuja maioria influencia a eficiência energética do sistema como um todo. Conforme descrito por Netto (1998), em síntese, pode-se dividir um sistema de abastecimento predial em quatro partes básicas: estação de bombeamento, reservatórios, tubulação e válvulas.

Já segundo Tsutiya (2006) um sistema de bombeamento elevatório é o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores necessários para transportar certa vazão de um reservatório inferior para um reservatório superior, sendo composto por três partes:

- a. Tubulação de sucção: canalização que liga o reservatório inferior á bomba;
- b. Conjunto elevatório: constituído por uma ou mais bombas e respectivos motores;
- c. Tubulação de recalque: canalização que liga a bomba ao reservatório superior.

2.3 MOTO-BOMBAS CENTRÍFUGAS

Conforme descrito por Girdhar (2005), uma bomba centrífuga trabalha transferindo energia cinética para o fluído e transformando-a em energia potencial no bocal de descarga da bomba. Esta ação é realizada empregando os conceitos do Princípio de Bernoulli.

O fluído presente no bocal de sucção entra em uma cavidade de diâmetro menor no centro do rotor que, movimentado pelo eixo rotativo, lança o fluído em alta velocidade em direção à periferia através dos canais formados entre as palhetas do rotor.

Ao encontrar-se com as partes estáticas, a parcela de energia cinética é convertida em energia potencial, gerando-se, então, uma pressão diferencial entre os bocais de sucção e recalque da bomba.

Quando acoplados, motor e bomba formam o chamado conjunto moto-bomba. O motor elétrico assíncrono nas versões monofásico e trifásico é o dispositivo mais aplicado na movimentação das bombas, entretanto, em algumas aplicações especiais, podem-se encontrar motores a combustão.

Ainda de acordo com Girdhar (2005) e demonstradas na figura 2-4, o conjunto motobomba centrífugo é composto por quatro partes principais:

- Máquina motriz: responsável pelo fornecimento de energia mecânica ao conjunto;
- b. Acoplamento: com a função de conectar a máquina motriz ao conjunto hidráulico, transmitindo a energia mecânica do primeiro ao segundo;
- c. Componentes hidráulicos, ou a bomba centrífuga propriamente dita;
- d. Placa base sendo o ponto de fixação dos componentes acima, além de proporcionar a fixação do conjunto na fundação.



Figura 2-4 - Partes do conjunto moto-bomba

2.3.1 Curva de desempenho das bombas

Conforme Chesterton (2000) e Girdhar (2005), a curva de desempenho da bomba identifica seu modo de operação, ou seja, indica a relação entre a altura manométrica diferencial entre as conexões da bomba conforme a demanda por vazão.

Chamada simplesmente de "curva da bomba" essa representação gráfica é obtida através de ensaios laboratoriais estabelecidos por normas internacionais, sendo a mais usual, a ISO9906.

Os fabricantes usualmente informam em seus catálogos as curvas referentes às bombas de cada conjunto comercializado, conforme mostra a figura 2-5.



Figura 2-5 - Curva de desempenho de bomba

2.3.2 Eficiência hidráulica de uma bomba

A bomba não converte totalmente a energia cinética em energia potencial em forma de pressão, e, consequentemente, não adiciona ao fluído toda a energia mecânica recebida por intermédio do movimento rotativo do motor elétrico.

Segundo Alé (2010), nas partes internas da bomba existem três grandes grupos de perdas onde essa energia não convertida em trabalho é dissipada:

- Perdas hidráulicas: inclui as perdas pelo atrito do liquido com os rotores (que é função da geometria e velocidade dos impulsores) além das perdas pelas rápidas mudanças de direção do fluído sobre os rotores e a voluta.
- b. Perdas por recirculação nos anéis de desgaste, buchas entre estágios, entre outras;
- c. Perdas mecânicas por atrito no selo mecânico, gaxetas, rolamentos e outros dispositivos mecânicos.

É possível determinar a eficiência hidráulica de uma bomba através de testes laboratoriais com o cálculo da razão entre a potência teórica adicionada ao fluído e a potência mecânica motriz presente na transmissão entre o motor e a bomba.

Segundo Alé (2010), a potência teórica adicionada por uma bomba ao fluído pode ser determinada matematicamente através da equação 1.

$$Ph = Q x \rho x g x H \tag{1}$$

onde:

Ph = Potência hidráulica teórica [W];

Q = Vazão do sistema [m³/s];

 ρ = Densidade do liquido na temperatura de bombeamento [kg/m³];

H = Altura manométrica diferencial [m];

g = Aceleração gravitacional (adota-se 9,8) [m/s²].

Portanto, para determinar-se a potência motriz necessária para a realização do trabalho hidráulico desejado, divide-se a potência hidráulica pela eficiência da bomba, conforme representado na equação 2:

$$P2 = \frac{Ph}{\eta p}$$
(2)

onde:

P2 = Potência motriz necessária [KW];

Ph = Potência hidráulica teórica [KW];

 ηp = Rendimento da bomba.

2.3.3 Curva vazão x eficiência

A curva vazão versus eficiência, ou simplesmente "curva da eficiência" de uma bomba tem a forma de uma parábola e, através dela, é possível encontrar a região para operação ideal, sempre localizada no topo da curva.

O melhor ponto para operação da bomba é conhecido, em inglês, por *Best Efficiency Point* ou, simplesmente, BEP. Ele indica que a saída (vazão x altura manométrica) da bomba está em sua melhor condição em relação à entrada de potência mecânica da bomba.

De acordo com Chesterton (2000), embora todas as bombas sejam projetadas para operar sobre uma faixa de vazão e altura manométrica, deve-se sempre procurar selecionar a bomba para operação mais próxima do ponto de melhor rendimento, pois nesse ponto as forças hidráulicas internas da bomba estão balanceadas.





Figura 2-6 - Curva de eficiência da bomba

Conforme Chesterton (2000) a operação em pontos afastados do BEP gera o desbalanceamento das forças internas, podendo causar avarias mecânicas à bomba, como, por exemplo, a deflexão do eixo, impactando diretamente na confiabilidade do conjunto.

2.3.4 Motores para acionamento das bombas

Os motores para acionamento de bombas centrífugas, na sua grande maioria são os motores assíncronos a indução com rotor tipo gaiola de esquilo.

Conforme Gurgel (2006), o motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, ficando caracterizado pela alimentação elétrica somente no estator. O rotor não é alimentado, somente as correntes induzidas eletromagneticamente circulam por ele, razão pela qual é chamado de motor de indução.

Segundo a Weg (2009), a relação entre a rotação, a frequência de alimentação o numero de polos e o escorregamento de um motor de indução, obedece a relação representada na equação 3:

$$N = \frac{120 F}{P} . (1 - S)$$
(3)

onde:

N = Velocidade de rotação mecânica [RPM];

F = Frequência fundamental da alimentação [Hz];

P = Número de polos;

S = Escorregamento %.

Ainda conforme a Weg (2009) e analogamente às bombas, os motores também possuem duas potências, sendo a relação entre elas determinado pelo rendimento elétrico do motor, conforme demonstrado na equação 4:

$$P1 = \frac{P2}{\eta m}$$
(4)

onde:

P1 = Potência absorvida da rede elétrica [W];

P2 = Potência mecânica fornecida pelo motor no eixo [W];

 η = Rendimento do motor.

2.4 CONJUNTO TUBULAÇÃO E CONEXÕES

No projeto de uma tubulação, a questão é determinar a quantidade de energia necessária para "empurrar" a quantidade de água desejada entre um ponto e outro dessa tubulação. (NETTO, 1998)

O correto dimensionamento das tubulações e conexões é importante para garantir ao sistema de bombeamento a operação eficiente e segura, buscando diminuir as perdas de cargas geradas pelo deslocamento do fluído dentro das tubulações.

Assim, as subseções a seguir descrevem os parâmetros que necessitam ser considerados no projeto de sistemas de bombeamento, com vistas para a eficiência energética.

2.4.1 Dimensionamento do diâmetro da tubulação

Segundo Ilha (1994), para o dimensionamento do diâmetro da tubulação, pode ser aplicada a equação da continuidade representada na equação 5:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \, V_{max}}} \tag{5}$$

onde:

D = Diâmetro mínimo da tubulação [m]

 $Q = Vazão [m^3/s]$

 V_{max} = Velocidade máxima do fluído na tubulação [m/s]

Ainda de acordo com Ilha (1994), a equação da continuidade é um prédimensionamento e, como tal, deve-se observar quando na finalização do projeto, se as perdas de carga estão dentro de valores aceitáveis.

2.4.2 Velocidade

Quando o fluído desloca por dentro das tubulações são geradas vibrações nas suas paredes. Caso a velocidade de deslocamento seja muito alta, essas vibrações produzirão ruídos.

Assim, de acordo com a norma NBR5626:1998 as tubulações devem ser dimensionadas de modo que a velocidade da água em qualquer trecho da tubulação não atinja valores superiores a 3m/s.

A equação 6 representa o meio matemático para determinação da velocidade do fluído na tubulação prevista pela NBR5626:1998.

$$V = 4 \cdot 10^3 \cdot 0 \cdot \pi^{-1} \cdot D^{-2} \tag{6}$$

onde:

V = Velocidade do fluído na tubulação (m/s);

Q = Vazão (l/s);

D = Diâmetro interno da tubulação (mm);

2.4.3 Perdas de carga

Conforme Basso (2006) quando, por exemplo, um líquido flui de (1) para (2) na canalização indicada na figura 2-7, parte da energia inicial se dissipa sob a forma de calor.

Pelo teorema de Bernoulli, a soma das três cargas em (2) não se equivale à carga total em (1). A diferença *hf*, que se denomina perda de carga, é de grande importância nos problemas de engenharia e, por isso, tem sido objeto de muitas investigações.



Figura 2-7 - Definição de perda de carga Fonte: Basso(2006)

Ainda de acordo com Basso (2006), na prática as canalizações não são constituídas exclusivamente por tubos retilíneos e de mesmo diâmetro. Usualmente, outras peças e conexões fazem parte do conjunto e, pelas suas formas e disposições, elevam a turbulência do fluído, provocando maior atrito e causando o choque de partículas, fatos que aumentam as perdas de carga.

Além disso, outras singularidades apresentam-se nas canalizações, tais como válvulas, registros e medidores que também são responsáveis por perdas da mesma natureza.

É relevante, portanto, considerar as perdas apresentadas a seguir:

- a. Perdas ao longo dos condutos, por resistência, ocasionadas pelo movimento da água na própria tubulação. Admite-se que essa perda seja uniforme em qualquer trecho de uma canalização de dimensões constantes, independente da posição da canalização. Por isso também podem ser chamadas de perdas contínuas;
- b. Perdas locais, localizadas ou acidentais, provocadas pelas peças especiais e demais singularidades de uma instalação. Essas perdas são relativamente importantes no caso de canalizações curtas com peças especiais. Nas canalizações longas, o seu valor normalmente é desprezível, comparado aos das perdas pela resistência ao longo dos condutos.

Em um projeto hidráulico eficiente, é imprescindível observar componentes e/ou outros fatores que influenciam nos valores das perdas de carga, pois, perdas de carga significam dissipação energética nos condutos e conexões.

2.4.4 O método empírico e a multiplicidade de fórmulas

Segundo Netto (1998), diversos pesquisadores buscaram meios para encontrar uma fórmula prática que permitisse a solução dos cálculos em relação à máxima perda de carga admissível.

Assim, a fórmula de Hazen-Williams é adotada pela maioria dos engenheiros e pesquisadores pela tradição de bons resultados e simplicidade de uso, embora alguns autores, como Ilha (1994), não sugerem a aplicação de fórmulas empíricas para determinação da perda de carga nas tubulações.

Outros autores como Karassik (1986) também sugerem que a fórmula de Hazen-Williams é a mais utilizada, sendo teoricamente correta e aplicada satisfatoriamente para qualquer tipo de conduto e de material dentro dos limites de aplicação da fórmula, aplicandose para tubos com diâmetros internos entre 50 e 300mm.

De acordo Netto (1998), para tubos menores outra fórmula empírica, desenvolvida pelos pesquisadores Fair-Whipple-Hsiao, tem se mostrado igualmente eficiente, sendo adotado por muitos projetistas.

2.4.5 Fórmula de Hazen-Williams

Assim, de acordo com Netto (1998), a fórmula empírica de Hazen-Williams pode ser representada através da equação 7:

$$J = 10,643 . Q^{1,85} . C^{-1,85} . D^{-4,87}$$
⁽⁷⁾

onde:

J = Perda de carga unitária [m/m]

 $Q = Vazão [m^3/s];$

D = Diâmetro [m];

C = Coeficiente adimensional que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos conforme tabela 2-1.

| Tabela 2-1- Coeficientes | "C" de Hazen-Williams |
|--------------------------|-----------------------|
| Fonte: Netto | (1998) p.150 |

| PERDAS DE CARGA | | | | | |
|---|-----|---|-----|--|--|
| VALORES COEFICIENTE C DE HAZEN-WILLIAMS | | | | | |
| MATERIAL C MATERIAL | | | | | |
| Aço corrugado (chapa ondulada) | 60 | Concreto, acabamento comum | 120 | | |
| Aço com junta lock-bar, novos | 130 | Ferro fundido, novo | 130 | | |
| Aço com junta lock-bar, em serviço | 90 | Ferro fundido, em uso | 90 | | |
| Aço galvanizado (novos e em uso) | 125 | Ferro fundido, revestido com cimento | 130 | | |
| Aço rebitado, novo | 110 | Ferro fundido (FoFo) após 15-20 anos | 100 | | |
| Aço rebitado, em uso | 85 | Grés cerâmico vitrificado (manilhas) | 130 | | |
| Aço soldado, novo | 120 | Latão | 120 | | |
| Aço soldado, em uso | 90 | Tijolos, condutos bem executados | 100 | | |
| Aço soldado com revestimento especial | 130 | Vidro | 140 | | |
| Chumbo | 130 | Plásticos | 140 | | |
| Cimento-amianto | 140 | | | | |
| Cobre | 130 | | | | |
| Concreto com bom acabamento | 130 | | | | |

2.4.6 Fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao

De acordo com Netto (1998) a fórmula de Hazen-Williams é mais comumente aplicável para tubulações de 50 mm de diâmetro ou maiores.

Para tubos de diâmetros pequenos (1/2 a 2 polegadas), os pesquisadores Fair, Whipple e Hsiao propuseram, em 1930, fórmulas especiais que têm sido aceitas e recomendadas como as mais satisfatórias.

Sendo assim, a norma NBR5626:1998 recomenda a aplicação das fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao para determinação das perdas de carga nas seguintes condições, conforme representado nas equações 8 e 9:

a. Para tubos hidraulicamente rugosos (tubos de aço carbono):

$$I = 19.8 . 10^6 . Q^{1,88} . D^{-4,88}$$
(8)

b. Para tubos hidraulicamente lisos (plástico, cobre ou ligas de cobre)

$$J = 8,63 . 10^6 . Q^{1,75} . D^{-4,75}$$
(9)

Em ambas as equações, têm-se:

J = Perda de carga unitária [Kpa/m]

Q = Vazão [l/s]

D = Diâmetro [m]

2.4.7 Perdas de carga localizadas

Segundo Ilha (1994), para se determinar a perda de carga total de um sistema de tubulação deve-se encontrar, primeiramente, o comprimento equivalente das conexões.

A somatória dos comprimentos equivalentes das conexões com os comprimentos reais dos trechos lineares da tubulação gera o valor de comprimento total com o qual se determina a perda de carga do sistema, aplicando-se as fórmulas de Hazen-Williams ou Fair-Whipple-Hsiao.

Os valores dos comprimentos equivalentes máximos das conexões são determinados por norma, entretanto, cada fabricante define seus próprios valores, de acordo com suas características próprias.

O Anexo I deste trabalho mostra um exemplo de tabela para determinar o comprimento equivalente de acessórios para a rede de tubulações de sistemas prediais.

2.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo Alé (2010), podem-se representar as características de um sistema de bombeamento através de uma curva característica que é formada pela contribuição da altura estática de elevação (H_{geo}), determinada pela contribuição da altura estática da sucção da bomba mais a altura estática de recalque. Pode-se ainda considerar juntamente nesse fator, quando for o caso, pressão necessária nos pontos de consumo (H_{con}).

Já a componente dinâmica da curva é função da perda de carga da tubulação que, por sua vez, é proporcional ao quadrado da velocidade e, consequentemente, proporcional ao quadrado da vazão (Q^2) .

Graficamente, pode-se representar a curva do sistema e suas componentes, conforme figura 2-8:



Figura 2-8 - Curva característica do sistema

Desta forma, conforme Alé (2010), a curva característica do sistema pode ser representada matematicamente através da equação 10

$$H = (H_{geo} + H_{con}) + kQ^2 \tag{10}$$

onde:

H = Altura manométrica necessária para elevar o liquido [m];

H_{geo} = Altura geométrica estática [m];

H_{con} = Pressão no ponto de consumo [m]

k = Constante da instalação referente à perda de carga; e

Q = Vazão do sistema [m³/h]

2.5.1 Controle de desempenho das bombas

O ponto de operação de um sistema é dado pela intersecção da curva da bomba com a curva do sistema. De acordo com Alé (2010), pode-se ajustar o ponto de operação, modificando-se a curva da bomba ou a curva do sistema.

A curva do sistema pode ser modificada através da alteração da resistência do escoamento, por exemplo, alterando a posição de uma válvula (abrindo ou fechando o registro), instalando um sistema de recirculação da vazão (*by pass*), modificando ou trocando o diâmetro da tubulação ou até mesmo, naturalmente, pelo próprio envelhecimento da tubulação.

Já a curva da bomba pode ser modificada pela alteração do diâmetro do rotor, ativando ou desativando uma bomba em um conjunto de bombas em série ou em paralelo. Também pode ser modificada a curva da bomba pela alteração da rotação do motor, procedimento no qual a vazão, altura manométrica e potência também são alteradas.

A figura 2-9 mostra o ponto de operação de um sistema:



Figura 2-9 - Ponto de operação do sistema Fonte: Alé (2010)

2.5.1.1 Controle do sistema por regulação da válvula

De acordo com Alé (2010) o controle da vazão pode ser realizado por regulação de uma válvula de registro a fim de ajustar a vazão para uma nova condição de operação.

Portanto, quando uma bomba opera em um determinado ponto e há a necessidade de diminuir a vazão, basta fechar gradativamente a válvula do registro para que a vazão requerida seja atingida.

Essa obstrução do escoamento produz um aumento da perda de carga que modifica a curva do sistema original deslocando o ponto de operação até a intersecção da curva da bomba com a curva do sistema modificada.

Alé (2010) afirma que essa saída não é eficiente, uma vez que o aumento da perda de carga se traduz em energia dissipada em forma de calor, ocorrendo o aumento do consumo de potência para compensar a dissipação. Neste caso a curva da bomba se mantém a mesma, somente o ponto de operação "moveu-se" para outro local, não obtendo qualquer alteração de na bomba ou no seu funcionamento, conforme é demonstrado na figura 2-10.



Figura 2-10 - Alteração do ponto de operação pela manobra da válvula Fonte: Alé (2010)

2.5.1.2 Controle do sistema de utilização de uma linha de recirculação (by pass)

Conforme esquematizado por Alé (2010), pode-se controlar a vazão abrindo um registro que permite por uma linha de recirculação do fluído. Entretanto, esse consumo adicional, é devolvido ao tanque de sucção da moto-bomba.
Desta forma, aumenta-se a vazão da moto-bomba, deslocando o ponto de operação para a direita, diminuindo assim, a altura manométrica fornecida pela bomba.

Em alguns casos essa solução pode ser aplicada com razoável eficiência, especialmente quando é possível levar a bomba a operar na área de melhor rendimento.

A figura 2-11 representa essa instalação:



Figura 2-11 - Esquema de instalação com by pass Fonte: Alé (2010)

A figura 2-12 representa o efeito da instalação de *by pass* no ponto operacional do sistema.



Figura 2-12 - Alteração do ponto de operação pela instalação de by pass Fonte: Alé (2010)

Nas edificações, entretanto, a instalação de sistemas com *by pass* não é muito aplicada em virtude de possibilitarem soluções mais eficientes.

2.5.1.3 Controle do sistema por mudança no diâmetro do rotor

De acordo com Alé (2010) e Girdhar (2005) a curva da bomba pode ser modificada trocando ou reduzindo o diâmetro do rotor original, ambos os procedimentos permitem adequar o desempenho da bomba para um determinado ponto de operação.

Esta solução é aplicável em alguns tipos de bombas, por exemplo, para as normalizadas, bipartidas e outros modelos cujos rotores são fundidos ou injetados.

Para alguns tipos de bombas cujos rotores são estampados, não é possível realizar a usinagem do rotor, não também sendo possível esse tipo de ajuste no sistema.

De acordo com Bachus (2003), quando o diâmetro é reduzido, a vazão reduz proporcionalmente, sendo que a pressão reduz com a mesma variação elevada ao quadrado e o consumo energético é reduzido com a variação elevada ao cubo.

As equações 11,12 e 13 representam matematicamente essa variação:

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{D1}{D2} \tag{11}$$

onde:

- Ql = Vazão nominal com o rotor original [m³/h];
- Q2= Vazão nominal com o rotor reduzido [m³/h];
- *D1*= Diâmetro do rotor original [mm];
- *D2*= Diâmetro do rotor reduzido [mm].

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{D1}{D2}\right)^2 \tag{12}$$

onde:

- *H1*= Altura manométrica nominal com o rotor original [m];
- *H2*= Altura manométrica com o rotor reduzido [m];

D1= Diâmetro do rotor original [mm];

D2= Diâmetro do rotor reduzido [mm].

$$\frac{Pm1}{Pm2} = \left(\frac{D1}{D2}\right)^3 \tag{13}$$

onde:

Pm1= Potencia motriz necessária com o rotor original [W];

Pm2= Potência motriz necessária com o rotor reduzido [W];

D1= Diâmetro do rotor original [mm];

D2= Diâmetro do rotor reduzido[mm].

O gráfico da figura 2-13 demonstra o deslocamento do ponto de operação do sistema quando na usinagem do rotor:



Figura 2-13 - Ajuste do ponto de operação por redução do diâmetro do rotor Fonte: Alé (2010)

Alé (2010) afirma que a redução do diâmetro do rotor provoca uma redução no rendimento da bomba. Esse fenômeno fica ainda mais acentuado quando a curva do sistema é mais plana.

A figura 2-14 a seguir demonstra os efeitos da redução do diâmetro do rotor na eficiência da bomba.



Figura 2-14 - Variação no rendimento devido variação do rotor Fonte: Alé (2010)

2.5.1.4 Controle do sistema por ajuste de rotação

Esse controle é o mais flexível de todos os apresentados, pois, com a aplicação dos conversores de frequência, é simples e rápida a alteração dos valores da rotação do motor, e por consequência, da bomba.

De acordo com a Wilo (2008), através das leis da similaridade, é possível verificar que uma determinada bomba pode apresentar diferentes curvas quando sua rotação é modificada.

Desta forma, conhecendo as condições de operação para uma determinada rotação (N1), pode-se determinar as novas condições para uma nova rotação (N2) sendo que a variação da vazão é diretamente proporcional à variação da rotação.

Por sua vez, a altura manométrica varia proporcionalmente ao quadrado da variação da rotação e a potência varia proporcionalmente ao cubo da variação da rotação.

Conforme Alé (2010), por exemplo, para uma redução de 50% da rotação a bomba fornece metade da vazão, uma altura manométrica de 25% do valor original e absorve 12,5% da potência.

As equações 14,15 e 16 representam matematicamente essa variação:

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{N1}{N2} \tag{14}$$

onde:

- Q1= Vazão nominal com o rotor original [m³/h];
- Q2= Vazão nominal com o rotor reduzido [m³/h];
- N1= Rotação original [R.P.M.];
- N2= Rotação alterada [R.P.M.].

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2 \tag{15}$$

onde:

- H1= Altura manométrica nominal com o rotor original [m];
- H2= Altura manométrica com o rotor reduzido [m];
- N1= Rotação original [R.P.M.];
- N2= Rotação alterada [R.P.M.];

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{P1}{P2}\right)^3 \tag{16}$$

onde:

P1= Potencia motriz necessária com o rotor original [W];

P2= Potência motriz necessária com o rotor reduzido [W];

N1= Rotação original [R.P.M.];

N2= Rotação alterada [R.P.M.].

Segundo Alé (2010) de maneira similar ao comportamento quando nos casos de usinagem do rotor, quanto maiores os valores da altura estática, maior a variação no rendimento hidráulico.

Esse fenômeno ocorre pelo fato das perdas de cargas se tornarem menos relevantes na determinação matemática da altura manométrica total, levando a curva de sistemas ser mais plana nos pontos de variação de velocidade, conforme se vê no gráfico da figura 2-15.



Figura 2-15 - Variação no rendimento devido à variação de velocidade Fonte: Alé (2010)

2.5.1.5 Aplicação dos conversores de frequência nos sistemas hidráulicos

Como apresentado, existem diferentes maneiras de alterar o ponto de operação de um sistema, através da alteração das características do sistema: pelo estrangulamento da válvula ou pela aplicação do *by pass*. Nestes casos, a rotação da bomba fica inalterada e a potência consumida aumenta para suprir o aumento de carga (DUTRA, 2005)

As outras maneiras já apresentadas para alteração do ponto de operação é através da alteração do diâmetro do rotor ou variando a rotação da bomba. Alterar o diâmetro do rotor envolve a usinagem do mesmo, sendo uma solução adotada quando ainda em fase de projeto, não apresentando, portanto, qualquer flexibilidade na operação do dia a dia.

Os sistemas de bombeamento prediais operam valores de vazões diferentes ao longo do dia, dependente do consumo predial, levando a operação em diferentes pontos na curva de sistema.

Essa situação remete ao fato da necessidade de obter acionamentos que se adaptem dinamicamente às características dos sistemas. Assim, a variação de velocidade do conjunto moto-bomba, ajustando o ponto de operação através das leis da similaridade torna-se o meio a ser aplicado para os sistemas prediais.

Conforme Tsutiya (2006) o conversor de frequência é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação nos valores de frequência elétrica que alimenta o motor promovendo uma variação de sua rotação.

Coura (2007) afirma que há outras vantagens associadas ao uso do variador de frequência como a manutenção do fator de potência próximo de um, eliminando a necessidade de correção de fator de potência por meio de capacitores e a limitação da corrente de partida do motor.

Assim, a aplicação dos conversores de frequência nos sistemas de bombeamento é bastante comum, especialmente nos casos quando há a necessidade de abastecimento diretamente aos pontos de consumo da edificação.

3 SISTEMAS PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA

3.1 DEFINIÇÃO

De acordo com Netto (1998), define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

Sob a questão legal, a norma NBR 5626:1998 "Instalação Predial de água fria" estabelece que:

5.1.2.1 As instalações prediais de água fria devem ser projetadas de modo que, durante a vida útil do edifício que as contém, atendam aos seguintes requisitos:

a) preservar a potabilidade da água;

b) garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes;

c) promover economia de água e de energia;

(...)

f) proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo as demais exigências do usuário.

Portanto, é imprescindível sistemas de abastecimento prediais que garantam a potabilidade da água, o conforto do usuário final e que ainda promovam a economia de água e de energia.

Regras e procedimentos são estabelecidos por normas técnicas para que tais aspectos sejam respeitados, sendo que o projetista deve ter vistas para os equipamentos que serão instalados, o perfil do empreendimento, bem como a altura da edificação a ser abastecida.

Este capítulo expõe pontos importantes para o correto dimensionamento dos sistemas prediais de abastecimento de água fria.

3.2 TIPOLOGIAS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PREDIAIS

Os sistemas de abastecimentos de água prediais podem ser configurados como diretos ou indiretos de acordo com a interligação das redes de abastecimento predial e pública.

Não existe uma obrigatoriedade de adoção, por parte das normas técnicas ou autarquias de forma a obrigar os projetistas de sistemas a adotarem um ou outro sistema de abastecimento, entretanto, algumas dessas configurações não se adaptam às realidades do sistema de abastecimento público no Brasil e, portanto, suas aplicações não são recomendadas ou, em casos mais específicos, até proibidas.

Baseando-se nas características da edificação, quer sejam sociais, físicas, de localização e/ou técnicas, os projetistas definem em conjunto com o empreendedor, qual tipologia de sistema de abastecimento deverá ser aplicado.

3.2.1 Sistema de abastecimento direto

No sistema de abastecimento direto, as peças de utilização do edifício estão ligadas diretamente aos elementos que constituem o abastecimento, ou seja, a instalação é a própria rede de distribuição (ILHA, 1994).

Conforme as condições de pressão e vazão da rede pública e com vistas às solicitações da edificação, o sistema de abastecimento direto pode conter um sistema de bombeamento para garantir as pressões necessárias nos pontos de consumo mais desfavoráveis.

Segundo a norma alemã DIN1988, os sistemas de abastecimento direto são os mais adequados para a garantia da potabilidade da água, não devendo, portanto, existir qualquer tipo de reserva de água potável na edificação, uma vez que a mesma é propícia a para contaminação do líquido.

3.2.1.1 Sistema de abastecimento direto sem bombeamento

No sistema de abastecimento direto sem bombeamento, a rede de distribuição do edifício é conectada diretamente à rede publica, devendo esta última oferecer as condições de pressão e vazão esperadas para o desempenho da instalação.

Esse tipo de abastecimento é comumente utilizado em prédios baixos como residências e pequenos estabelecimentos comerciais. Para prédios com vários pavimentos, a variação da pressão de abastecimento da rede pública em determinados horários do dia ocasiona prejuízo em relação ao conforto dos usuários.

Válvulas de retenção devem ser instaladas na edificação com o objetivo de impedir que a água retorne para a rede pública quando a pressão estiver baixa ou quando ocorrer desabastecimento. Desta forma, elimina-se o risco de contaminação da rede pública por conta de algum problema interno na rede da edificação.

A figura 3-1 representa o sistema de abastecimento direto sem bombeamento:



Figura 3-1 - Sistema de abastecimento direto sem bombeamento

3.2.1.2 Sistema de abastecimento direto com bombeamento

Nesse tipo de instalação, a rede do edifício também é conectada diretamente à rede pública de abastecimento.

Entretanto, devido a rede pública não oferecer condições de abastecimento com pressões suficientes, um sistema de bombeamento é instalado, a fim de aumentar a pressão e obter condições satisfatórias nos pontos mais elevados do edifício

A maior parte das autarquias responsáveis pelo abastecimento dos municípios brasileiros não permite a conexão de sistemas de bombeamento diretamente á rede pública por considerar que esses dispositivos podem causar variações de pressão na mesma. Desta forma, a aplicação do sistema de abastecimento direto com bombeamento raramente é aplicada em nosso país.

A figura 3-2 representa o sistema de abastecimento direto com bombeamento:



Figura 3-2 - Sistema de abastecimento direto com bombeamento

Segundo Ilha (1994), os sistemas diretos apresentam as seguintes vantagens:

- a. Dispensam reservatórios;
- B. Reduzem os custos estruturais da edificação em função da diminuição das cargas pela não existência de reservatórios;
- Permitem o aproveitamento dos espaços que seriam utilizados pelos reservatórios;
- d. Garantem uma melhor qualidade da água pelo fato de não existir armazenamento.

Por outro lado, apresentam também algumas desvantagens:

- a. Ficam inoperantes quando ocorre falha no abastecimento público;
- b. Necessitam de dispositivos de retenção para evitar a contaminação da rede pública;
- c. Exigem as vazões necessárias para o abastecimento predial diretamente da rede pública; podendo provocar variações de pressão na mesma, especialmente quando ocorre a partida e a parada das moto-bombas.

- d. Ocasionam o aumento dos reservatórios públicos, uma vez que os mesmos devem garantir o abastecimento nos momentos de consumo de pico da edificação;
- e. Em caso de falha do equipamento de retenção ou quando na realização de manutenção, há possibilidade de contaminação da rede pública.
- f. Devido à necessidade de operação contínua, a instalação de geradores de eletricidade para suprimento nos casos de falta de energia elétrica é necessária.

3.2.2 Sistema de abastecimento indireto

O sistema de abastecimento indireto é aquele onde, através de um conjunto de suprimento e reserva, alimenta-se a rede de distribuição (ILHA, 1994). Logo, sempre haverá ao menos um ponto para reserva de água na edificação.

De acordo com a localização dos reservatórios na edificação, os pontos de consumo podem ser pressurizados pela gravidade (reservatório sobre o edifício) ou por sistema de bombeamento (a partir de reservatórios inferiores).

Assim, o sistema de abastecimento indireto pode ser configurado de quatro maneiras diferentes:

- a. Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento;
- b. Sistema indireto com reservatório superior com bombeamento;
- c. Sistema com reservatórios inferior e superior, simplesmente chamado por "sistema RI-RS";
- d. Sistema indireto sem reservatório superior, simplesmente chamado por "sistema RI".

Os tópicos a seguir apresentam as principais características físicas de cada uma das configurações:

3.2.2.1 Sistema de abastecimento indireto com reservatório superior sem bombeamento

De acordo com Ilha (1994), o sistema de abastecimento indireto com reservatório superior e sem bombeamento é composto por um alimentador predial com válvula e bóia, um reservatório superior e uma rede de distribuição.

Quando há consumo no prédio, ocorrea diminuição do nível da água no reservatório superior que tem a bóia aberta parcial ou totalmente, provocando o reabastecimento

diretamente através da rede pública. A pressurização para os pontos de consumo é feita pela própria gravidade.

Para que esse sistema garanta o abastecimento da edificação, o abastecimento público deve ser feito com pressão e vazão suficientes e estáveis, de forma garantir o abastecimento do reservatório superior.

Esse tipo de abastecimento é usualmente aplicado nas residências unifamiliares, mas não é comum no abastecimento predial devido à instabilidade das redes públicas brasileiras.

A figura 3-3 representa o sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento:



Figura 3-3 – Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento

3.2.2.2 Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento

Quando o sistema público de abastecimento não possui pressão suficiente para a elevação da água até o reservatório superior, origina-se a necessidade da instalação de um sistema de bombeamento.

Nesta configuração o sistema fica constituído por um sistema de bombeamento, alimentador predial com válvula-boia, reservatório superior e pela rede de distribuição. A pressurização para os pontos de consumo também é feita pela própria gravidade.

Um limitante para esse tipo de aplicação é a perturbação na pressão da rede pública que a partida e operação do sistema de bombeamento pode causar, portanto, a maioria das autarquias não permite a aplicação desse sistema.

O sistema de bombeamento deve ser provido de um sistema para operação da motobomba considerando o nível de água no reservatório superior e também um dispositivo para proteção contra operação por falta d'água.

A figura 3-4 representa o sistema indireto RS com bombeamento.



Figura 3-4 - Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento

3.2.2.3 Sistema de abastecimento indireto com reservatórios superior e inferior

O sistema de abastecimento com reservatórios inferior e superior (RI-RS) é composto pelos próprios reservatórios juntamente com o sistema de bombeamento, alimentador predial com válvula-boia e rede de distribuição.

Para o bom funcionamento desse sistema, deve existir uma chave-boia elétrica no reservatório superior. Quando o volume de água atinge o nível mínimo ajustado, o comando para ligar o sistema de bombeamento é acionado.

Durante o funcionamento do sistema de bombeamento o nível do reservatório inferior vai diminuindo, provocando a abertura da válvula-boia do reservatório inferior para abastecimento pela rede pública. Como nos casos anteriores, a pressurização para os pontos de consumo é feita pela própria gravidade.

Quando o reservatório superior tem sua capacidade máxima atingida, a válvula-boia superior fecha e um comando para desligamento do sistema de bombeamento é emitido pela chave-boia elétrica.

O reservatório inferior também deve ser dotado de uma chave-boia elétrica que impede a operação do sistema de bombeamento sem que exista um nível mínimo de água destinado para o recalque.

A figura 3-5 representa o sistema de abastecimento indireto RI-RS:



Figura 3-5 - Sistema de abastecimento indireto RI-RS,

3.2.2.4 Sistema de abastecimento indireto sem reservatório superior

Análogo ao sistema direto com bombeamento, o sistema de abastecimento indireto sem reservatório superior, ou sistema RI, é composto por um sistema de bombeamento com recursos para controle de pressão (usualmente realizados através de transmissor de pressão e conversores de frequência), reservatório inferior e rede de distribuição.

Para operação do mesmo, deve-se realizar o ajuste da pressão de saída do sistema de bombeamento que, através do controle da velocidade da moto-bomba, busca manter o valor ajustado independentemente da vazão que está sendo bombeada.

O sistema de bombeamento deve ser especificado para atendimento à vazão máxima de projeto, considerando os picos de demanda, uma vez que não há reservatórios para suprimento nos momentos mais críticos do consumo.

Do ponto de vista da pressão, deve-se dimensionar de forma que possa garantir o abastecimento confortável ao pavimento mais elevado da edificação, mas, concomitantemente, não ultrapassar o limite máximo de pressão nos pavimentos inferiores.

O reservatório inferior deve ser dotado de uma chave-boia elétrica que impede a operação do sistema de bombeamento sem se tenha um nível mínimo de água destinado para o recalque.

A figura 3-6 a seguir representa esquematicamente o sistema indireto RI sem reservatório superior.



Figura 3-6 - Sistema RI

3.2.2.5 Vantagens dos sistemas indiretos

Segundo Ilha (1994), os sistemas indiretos apresentam as seguintes vantagens:

a. Rede predial menos exposta às falhas da rede pública, uma vez que possuem reservatórios que garantem por algum tempo o abastecimento;

Em contrapartida possuem as seguintes desvantagens:

- a. Possibilidade de contaminação da água pelo armazenamento nos reservatórios;
- b. Nos casos onde existam os reservatórios superiores, a estruturação deve ser prevista a fim de suportar a massa dos reservatórios cheios d'água;
- c. Perca de espaço útil no empreendimento devido ao volume ocupado pelos reservatórios;

- d. No caso do sistema RI, a aplicação de geradores de eletricidade é imprescindível para manutenção do sistema de bombeamento em funcionamento quando na falta de energia elétrica.
- e. No sistema RI, há sistemas eletrônicos de controle do funcionamento das motobombas, fazendo-se necessário a utilização de pessoal qualificado para os serviços de manutenção no conjunto, sempre difícil de encontrar no ramo da construção civil.

3.3 ESCOLHA DO SISTEMA A SER UTILIZADO

Para a implantação de um sistema de pressurização de água, faz-se necessária a elaboração de estudos e projetos com vistas à definição das edificações a serem atendidas, devendo-se determinar sua capacidade para as necessidades atuais e considerar as alterações futuras.

Com essa visão, a norma NBR12211:1992 estabelece os elementos e atividades necessárias para os Estudos para concepção de sistemas públicos de abastecimento de água:

- a. Definição do objetivo;
- b. Definição do grau de detalhamento e de precisão geral das partes do sistema;
- c. Aspectos e condições econômicas e financeiras condicionantes;
- d. Definição das condições e parâmetros locais.

3.3.1 Sistemas adequados para aplicações Brasileiras

De acordo com a NBR5626:1998 todas as edificações devem possuir reserva de água suficiente para atendimento mínimo da edificação durante 24h ininterruptas, considerando o consumo normal da edificação e descontando-se o necessário para combate a incêndio.

Onde houver dados disponíveis, deve-se levar em conta ainda, interrupções ou falta de abastecimento por baixa pressão do abastecimento público por períodos maiores, aumentando a reserva de água de tal maneira a garantir um período maior de autonomia por ocasião da falta de água, estabelecendo valores acima do recomendado pela norma NBR5626:1998.

Devido à incapacidade de um fornecimento estável e ininterrupto e segundo a norma NBR5626:1998 os abastecimentos por sistema direto estão exclusos das aplicações em território nacional. Ressalta-se, no entanto, que as aplicações diretas são fortemente recomendadas em todo o mundo, chegando a ser mandatória em alguns países como Alemanha, Holanda, Suíça, Bélgica e Coréia do Sul.

Considera-se ainda que é proibido pela maioria das agências regulatórias ou autarquias de todo o Brasil a conexão de bombas ou sistemas de bombeamento diretamente na rede pública, como por exemplo, proíbe a Deliberação n°106 emitida em 13/11/2009 pela ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo) no artigo 43 :

Art. 43. É vedado o emprego de bombas de sucção ligadas diretamente nas instalações prediais de água, sob pena de sanções previstas nesta Deliberação.

Assim, em síntese, os esquemas das figuras 3.7 e 3.8, a seguir mostram os sistemas de abastecimento predial, suas principais características e viabilidade de instalação no Brasil.



Figura 3-7 - Sistemas diretos - síntese



Figura 3-8 - Sistemas indiretos - síntese

Portanto, conforme apresentado em síntese e devido aos fatos da obrigatoriedade de armazenamento de água e da proibição da conexão da bomba diretamente à rede pública, os sistemas de abastecimento RI-RS e RI são os adequados para as instalações prediais brasileiras.

3.4 VARIÁVEIS DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ABASTECIMENTO

3.4.1 Vazão de consumo

Segundo Netto (1998), o consumo de água nas edificações é diretamente influenciado por todos os fatores característicos da edificação. Os principais fatores que influenciam o consumo de água numa localidade podem ser assim resumidos:

- a. Clima;
- b. Padrão de vida da população;
- c. Hábitos da população;
- d. Sistema de fornecimento e cobrança (medido ou não);
- e. Qualidade da água fornecida;
- f. Custo da água (tarifa);

- g. Pressão disponível;
- h. Natureza do consumo (comercial residencial, industrial);
- i. Existência da rede de esgotos;
- j. Perdas no sistema.

Por outro lado, como já apresentado, um dos principais requisitos para o bom desempenho dos sistemas prediais de água fria é a existência de água na quantidade adequada em todos os pontos de utilização, sempre que necessário.

Segundo Ilha (1994), durante a fase de projeto do sistema predial, pode-se definir a vazão considerando duas maneiras diferentes:

- a. Funcionamento simultâneo de todos os pontos de consumo, ou
- b. Adoção de métodos empíricos ou probabilísticos para determinação de uma vazão de abastecimento, considerando a demanda por água de acordo com a natureza da instalação, o número de pessoas envolvidas e a ocorrência do uso simultâneo de diferentes pontos do sistema.

Verifica-se, portanto, que a primeira hipótese pode trazer custos desnecessários para a instalação inicial, entretanto, em alguns casos, como por exemplo, escolas e estádios de futebol, ela se consolida como a mais adequada.

Portanto, dentre possibilidades apresentadas por Ilha (1994) o consumo de água pode ser estimado através da equação 17:

$$C_d = C \cdot P \tag{17}$$

onde:

Cd = Consumo diário da edificação [L];

C = Consumo diário per capita [L];

P = População do edifício [número de pessoas].

Ainda de acordo com Ilha (1994), o consumo per capita de água pode ser adotado como sendo o demonstrado na tabela 3-1 a seguir:

| EDIFÍCIO | CONSUMO (L/DIA) | | | |
|--|--------------------------------|--|--|--|
| Alojamento provisório | 80 "per capita" | | | |
| Apartamento | 200 "per capita" | | | |
| Asilo, Orfanato | 150 "per capita" | | | |
| Cinema e teatro | 2 por lugar | | | |
| Edifício público, comercial ou com escritórios | 50 "per capita" | | | |
| Escola – externato | 50 "per capita" | | | |
| Escola – internato | 150 "per capita" | | | |
| Escola – semi-internato | 100 "per capita" | | | |
| Garagem | 50 por automóvel | | | |
| Hospital | 250 por leito | | | |
| Hotel (sem cozinha e sem lavanderia) | 120 por hóspede | | | |
| Jardim | 1,5 por m ² de área | | | |
| Lavanderia | 30 por kg de roupa seca | | | |
| Mercado | 5 por m ² de área | | | |
| Quartel | 150 "per capita" | | | |
| Residência popular ou rural | 120 "per capita" | | | |
| Residência | 150 "per capita" | | | |
| Restaurante e similares | 25 por refeição | | | |

Tabela 3-1 - Consumo per capita de água Fonte: Ilha (1994) p.33

A população P é definida a partir do projeto arquitetônico, sendo usualmente aplicados os valores apresentados na tabela 3-2:

Tabela 3-2 - Definição da população do edifício Fonte: Ilha (1994) p.33

| / | ~ |
|--------------------------|--|
| EDIFICIO | POPULAÇAO |
| | , |
| Escritório | $1 \text{ pessoa} / 9\text{m}^2$ |
| | i pessea / yiii |
| Loia | $1 \operatorname{pesson} / 3 \mathrm{m}^2$ |
| LOJa | 1 pcss0a / 5111 |
| Ustal | 1 maggag / 15m ² |
| Hotel | 1 pessoa / 15m² |
| | 4 |
| Hospital | 1 pessoa / 15m ² |
| - | - |
| Apartamento / Residência | 2NDS + NDE (**) ou 5 pessoas/unidade |
| | 21.22 1.22 () 54 c pessous, and a |

(**) NDS = Número de dormitórios sociais / NDE = Número de dormitórios de serviço

3.4.2 Dimensionamento dos reservatórios

Como apresentado anteriormente, nos sistemas indiretos a norma NBR5626:1998 recomenda que cada edificação possua uma reserva de água para abastecimento durante um dia de consumo.

De acordo com Netto (1998), nos sistemas RI-RS o reservatório inferior é o de maior capacidade e usualmente armazena 1/5 a 2/5 do consumo diário, sendo que a relação de consumo mais usual é a de 60% para o reservatório inferior e 40% para o superior.

O sistema RI, conforme descrito anteriormente, somente possui reserva de água na parte inferior da edificação.

3.4.3 Dimensionamento da vazão instantânea máxima provável.

Para dimensionamento da tubulação da prumada de abastecimento principal da edificação e para determinar a vazão para abastecimento do sistema RI, é necessário conhecer vazão instantânea máxima provável da edificação.

Embora que como visto na subseção 3.4.1, o consumo de água e, consequentemente a vazão dos sistemas de abastecimento predial são influenciados por diferentes fatores, a norma NBR5626:1998 estabelece a mínima vazão por dispositivo sanitário bem como o método dos pesos para a determinação das vazões na tubulação.

No método dos pesos, a quantidade de cada dispositivo é multiplicada pelos correspondentes pesos relativos. A partir da somatória dos pesos relativos, pode-se encontrar, portanto, a vazão instantânea máxima provável da tubulação, conforme demonstrado na equação 18, a seguir:

$$Qp = 0.3\sqrt{\Sigma P} \tag{18}$$

onde:

Qp = Vazão máxima instantânea provável [L]

P = Peso relativo dos dispositivos sanitários

A tabela abaixo, reproduzida a partir da norma NBR5626:1998 apresenta os valores dos pesos relativos para cada dispositivo sanitário.

| | | 1 | | |
|------------------------------------|-------------------------|--|----------------------------|---------------|
| APAF SANI | relho Tário | PEÇA DE UTILIZAÇÃO | VAZÃO DE PROJETO (l/s) | PESO RELATIVO |
| | | Caixa de descarga | 0,15 | 0,3 |
| Bacia S | Sanitária | Válvula de descarga | 1,70 | 32 |
| Ban | heira | Misturador (água fria) | 0,30 | 1,0 |
| Bebe | edouro | Registro de pressão | 0,10 | 0,1 |
| В | idê | Misturador (água fria) | 0,10 | 0,1 |
| Chuveiro | ou ducha | Misturador (água fria) | 0,20 | 0,4 |
| Chuveir | o elétrico | Registro de pressão | 0,10 | 0,1 |
| Lavadora de pratos ou de roupas | | Registro de pressão | 0,30 | 1,0 |
| | Com sifão integrado | Válvula de descarga | 0,50 | 2,8 |
| Mictório cerâmico | Sem sifão integrado | Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório | 0,15 | 0,3 |
| Mictório | tipo calha | Caixa de descarga ou registro de pressão | 0,15 por metro de calha | 0,3 |
| Pia | | Torneira ou misturador (água fria) | 0,25 | 0,7 |
| | | Torneira elétrica | 0,10 | 0,1 |
| Tar | nque | Torneira | 0,25 | 0,7 |
| Torneira d lavagem | e jardim ou em geral | Torneira | 0,20 | 0,4 |

Tabela 3-3 - Pesos relativos Fonte: NBR5626:1998 tabela A1 - p.28

3.4.4 Distribuição horo-sazonal do consumo de água nas edificações

Para a realização de algumas análises nos sistemas prediais e nos sistemas públicos de abastecimento, é necessária a adoção de um perfil de consumo diário para as edificações.

Barreto(2008) realizou um estudo na cidade de São Paulo, monitorando sete residências distribuídos em três bairros. Os endereços monitorados foram estabelecidos por meio de critério estatístico de amostragem, considerando o conjunto de variáveis envolvidas.

Desta maneira, Barreto (2008), concluiu um perfil de consumo dentre as residências estudadas, sendo os resultados apresentados graficamente na figura 3-9:



Figura 3-9 - Perfil de consumo residencial horário Fonte: Barreto (2008)

3.4.5 Pressão dinâmica e estática nas instalações prediais

Com o objetivo de garantir a segurança das instalações, mas também o conforto do usuário final, valores mínimos e máximos de pressão dinâmica são estabelecidos pela NBR5626:1998 conforme segue:

"5.3.5.1 Em condições dinâmicas (com escoamento), a pressão da água nos pontos de utilização deve ser estabelecida de modo a garantir a vazão de projeto indicada na tabela 1 e o bom funcionamento da peça de utilização e de aparelho sanitário. Em qualquer caso, a pressão não deve ser inferior a 10 kPa, com exceção do ponto da caixa de descarga onde a pressão pode ser menor do que este valor, até um mínimo de 5 kPa, e do ponto da válvula de descarga para bacia sanitária onde a pressão não deve ser inferior a 15 kPa.

5.3.5.2 Em qualquer ponto da rede predial de distribuição, a pressão da água em condições dinâmicas (com escoamento) não deve ser inferior a 5 kPa.

5.3.5.3 Em condições estáticas (sem escoamento), a pressão da água em qualquer ponto de utilização da rede predial de distribuição não deve ser superior a 400 kPa."

3.4.6 Divisão da prumada em zonas de pressão

Os pavimentos mais baixos da edificação sempre possuem maior pressão de água, independentemente do sistema de bombeamento aplicado na edificação. Para que essa pressão não se torne excessiva, é comum a instalação de válvulas para redução de pressão nesses pavimentos.

Entretanto, quando o sistema RI é aplicado em uma edificação, prumadas diferentes podem ser projetadas e construídas, cada uma delas abrangendo certo número de pavimentos, com o objetivo principal de reduzir a aplicação ou definitivamente eliminar as válvulas redutoras de pressão.

Como cada prumada deve possuir sua própria unidade de bombeamento, há um aumento no número de moto-bombas em operação.

No entanto, essas moto-bombas possuem tamanhos reduzidos, tornando o controle da pressão mais preciso e, consequentemente, levando mais conforto ao usuário final.

Outra característica importante do sistema RI dividido em zonas de pressão é operação sem a necessidade de ter-se altas pressões nas conexões principais dos ramais dos pavimentos mais baixos.

O critério de divisão dos pavimentos que farão parte de uma zona de pressão é prerrogativa do projetista que poderá ter vistas à eliminação total ou parcial das válvulas de redução de pressão ou ainda ao número de sistemas de bombeamento a serem instalados na edificação.

A figura 3-10 ilustra uma edificação com 8 pavimentos com a prumada de abastecimento dividida em duas zonas de pressão:



Figura 3-10 - Edificação com sistema RI dividido em zonas de pressão

3.5 SINTESE DAS ETAPAS DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS

Conforme apresentado neste capítulo, as fases para as definições técnicas, análise e/ou desenvolvimento de um projeto de sistema predial de abastecimento de água compreendem:

- a. Definição da tipologia do sistema a ser adotada, considerando as características da edificação (localização, concessionária de abastecimento de água, perfil social, entre outros)
- b. Cálculo do consumo diário da edificação;
- c. Definição do tamanho dos reservatórios;
- d. Definição e dimensionamento do sistema de bombeamento, junto aos seus acessórios de comando, controle e proteções elétricas e hidráulicas;
- e. Cálculo da vazão máxima instantânea para dimensionamento das tubulações;
- f. Cálculo das pressões dinâmicas e estáticas presentes na instalação, respeitando os limites estabelecidos pela norma, e
- g. Divisão das prumadas em zonas de pressão, se for o caso.

4 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS MODELOS

O tamanho e a disposição interna das unidades residenciais são variáveis no mundo todo, de tal maneira que se pode encontrar desde aquelas destinadas para moradia de uma única pessoa até os apartamentos de luxo com centenas de metros quadrados de área privativa.

Até mesmo em uma mesma edificação se encontram tamanhos e disposições diferentes com vistas ao atendimento de perfis diferentes de pessoas e famílias, fomentando, desta maneira, as vendas daquele empreendimento.

O tamanho das unidades prediais bem como a quantidade de habitantes previstas para cada uma delas são fatores que influenciam diretamente no dimensionamento do abastecimento de água, sendo assim, pode-se dizer que a análise do abastecimento de água em todas as variações prediais seria trabalho para alguns anos.

Na impossibilidade de fazê-la, alguns perfis de edificações foram destacados de forma empírica para análise neste trabalho; buscando abranger as características comuns encontradas no mercado imobiliário brasileiro.

A partir do estudo do comportamento dos sistemas de abastecimentos para estes modelos elegidos, será possível projetar como será o consumo energético nas edificações mais altas ou baixas e/ou com unidades maiores ou menores.

4.1 PERFIL DO MODELO ADOTADO PARA O ESTUDO

Para comparar o consumo energético entre os diferentes sistemas de abastecimento predial, um modelo único de apartamento foi definido como padrão de análise. Este apartamento padrão é composto por 3 dormitórios, 3 sanitários, sala, cozinha e área de serviço tendo sua área útil privativa estimada em cerca de 100m².

Considerou-se que a altura do pé direito de cada pavimento é de 3 metros e que o sistema de bombeamento, sempre estará instalado no pavimento térreo, junto ao reservatório inferior.

O reservatório superior, onde aplicado, sempre estará localizado sobre o último pavimento, com sua conexão hidráulica de entrada em uma cota de 3 metros em relação ao piso onde está instalado.

Adotou-se também que a análise será realizada sob um universo de edificações com 8, 12 ou 16 pavimentos, simulando a existência de 4, 8 ou 12 apartamentos padrão em cada um desses pavimentos

Da mesma maneira, estima-se que 5 pessoas habitem cada um destes apartamentos, fazendo uso dos dispositivos hidráulicos instalados nos sanitários, cozinha e área de serviço dispostos em quantidade tipicamente encontrada em apartamentos com este perfil, conforme demonstrado na tabela 4-1 a seguir:

| | Torneira pia | Maquina de lavar louças | Ponto para filtro | Torneira tanque | Máquina de lavar | Lavatório | Caixa acoplada | Ducha Higiênica | Chuveiro | Ducha |
|-------------|--------------|----------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------|----------------|-----------------|----------|-------|
| Sanitário 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Sanitário 2 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Sanitário 3 | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| Cozinha | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| A. Serviço | | | | 2 | 1 | | | | | |

Tabela 4-1 - Pontos de consumo previstos para o modelo

4.2 RESERVA MÍNIMA E CONSUMO DIÁRIO

Conforme já apresentado no item 3.4.2, a norma brasileira NBR5626:1998 determina que o volume de água reservado deva ser, no mínimo, o necessário para 24h de consumo normal do edifício, sem considerar o volume de água para combate a incêndio.

Considerando ainda o consumo padrão estabelecido por Ilha (1994) representado na tabela 3-1 e fazendo-se uso da equação 17, o Cd - consumo diário da edificação e, consequentemente a reserva mínima podem ser determinado para o prédio com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um:

 $C_d = C \cdot P$ $C_d = 200 \cdot (5 \cdot 8 \cdot 4)$ $C_d = 32000 [l]$ Aplicando-se o mesmo procedimento para as demais edificações da análise, encontram-se os resultados apresentados na tabela 4-2, a seguir:

| Pavimentos | 8 | | | | 12 | | | 16 | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--|
| Aptos. / pavimento | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | |
| Habitantes / Apto. | | 5 | | | | | | | | |
| População total | 160 | 320 | 480 | 240 | 480 | 720 | 320 | 640 | 960 | |
| Consumo / hab. [L] | 200 | | | | | | | | | |
| Consumo diário [L] | 32000 | 64000 | 96000 | 48000 | 96000 | 144000 | 64000 | 128000 | 192000 | |

Tabela 4-2 - Consumo diário das edificações analisadas

4.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA O SISTEMA DE BOMBEAMENTO

Vários fatores influenciam no dimensionamento da altura manométrica que a motobomba deve incrementar ao sistema de pressurização.

Desta maneira, se fez necessário o estabelecimento de valores que equalizassem a análise entre os sistemas de bombeamento, respeitando, no entanto os parâmetros mínimos estabelecidos pela norma NBR5626:1998.

Assim, as subseções 4.3.1 a 4.3.4 demonstram os critérios levados em consideração para a determinação desses valores.

4.3.1 Pressão na sucção da bomba

O nível do reservatório inferior influencia diretamente o valor da pressão presente no flange de sucção da bomba que, por sua vez, altera a necessidade do valor da altura manométrica que a bomba incrementa ao sistema de pressurização.

Para não existir essa influência no resultado da análise deste trabalho, definiu-se que a pressão no bocal de sucção da bomba é nula para todas as análises.

4.3.2 Pressões nos pontos de consumo

Considerando os valores mínimos previstos na NBR5626:1998 e os valores empiricamente aplicados pelos projetistas de sistemas hidráulicos prediais, para se determinar a altura manométrica necessária na moto-bomba, adotou-se os seguintes critérios:

- a. No caso do sistema RI-RS, a pressão mínima na válvula boia instalada na conexão de entrada do reservatório superior deve ser, no mínimo, 3 metros de coluna d'água; e
- b. Para o abastecimento através do sistema RI, a pressão mínima na conexão da prumada do último pavimento seja, no mínimo, 10 metros de coluna d'água.

4.3.3 Perdas de carga

Através das vazões de cada instalação juntamente com os diâmetros das tubulações definidos, as perdas de carga poderiam ser determinadas para cada uma das instalações. Para isso, bastaria definir um trajeto padrão para a tubulação nas edificações e então calcular as perdas localizadas e o comprimento total equivalente da tubulação através das fórmulas de Fair-Wipple-Hsiao ou Hazen-Williams, conforme já apresentado no Capítulo 2.

Contudo, ainda que os trajetos sejam similares, a diferença na velocidade do fluído dentro da tubulação traria valores de perdas de carga diferentes para cada edificação que, por sua vez, influenciaria diretamente na análise do consumo energético.

Assim, para suprir as perdas de carga na tubulação, considera-se reservar 10% sobre a altura manométrica projetada em todos os casos analisados neste trabalho.

4.3.4 Divisão da edificação em zonas de pressão

A análise do sistema de abastecimento dividido em zonas de pressão também está incluída neste trabalho.

O principal critério para essa divisão foi a eliminação de todas as válvulas redutoras de pressão instalados nos pavimentos com a manutenção da pressão de abastecimento entre os valores máximo, estabelecidos pela NBR5626:1998, e mínimo, conforme assumido na subseção 4.3.2.

Assim, considerando que a altura do pé direito de cada pavimento é sempre 3 metros, empiricamente, adotou-se que cada zona de pressão será composta por 4 pavimentos. A divisão feita desta maneira faz com que o desnível geométrico entre o pavimento mais alto e o mais baixo de cada zona de pressão seja sempre 12 m.

Como a pressão mínima na conexão da prumada do pavimento mais alto de cada zona de pressão deve ser 10 metros de coluna d'água, logo, a pressão no pavimento mais baixo será de 22 m, desconsiderando-se as influências das perdas de pressão.

4.3.5 Dimensionando a altura manométrica

Diante do exposto nos tópicos anteriores, para se determinar a altura manométrica necessária no conjunto moto-bomba, pode-se aplicar a seguinte equação:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1 \qquad [m]$$
⁽¹⁹⁾

onde:

H = é a altura manométrica total a ser fornecida pela bomba [m];

 H_{geo} = é o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 $H_{cons} = \acute{e}$ a pressão necessária nos pontos de consumo, no sistema RI ou na válvula boia, no sistema RI-RS [m];

1,1 = é o coeficiente adotado para suprir as perdas de carga na tubulação.

No sistema RI-RS, para determinar o desnível geométrico H_{geo}, aplicou-se a seguinte equação:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) + H_{boia} \right] [m]$$
⁽²⁰⁾

onde:

 H_{geo} = é o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 N_{pav} = é o número de pavimentos que a prumada deve percorrer;

 $H_{pav} =$ é a altura do pé direito individual dos pavimentos [m];

H _{boia} = é a cota de instalação da válvula boia em relação ao piso onde o RS está instalado [m].

1,1 = é o coeficiente adotado para suprir as perdas de carga na tubulação.

Como o sistema RI não possui reservatório superior tampouco boia, o H_{geo} foi determinado simplesmente por:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) \right] \ [m] \tag{21}$$

onde:

 $H_{geo} = \acute{e}$ o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 N_{pav} = número de pavimentos que a prumada deve percorrer;

 H_{pav} = é a altura do pé direito individual dos pavimentos [m].

Aplicando-se, então, as equações 19, 20 e 21 para a edificação com 8 pavimentos com 4 apartamentos cada um, tem-se:

a) Sistema RI-RS:

Determinando H_{geo}:

$$H_{geo} = [(N_{pav} \cdot H_{pav}) + H_{boia}] \cdot 1,1 \ [m]$$
$$H_{geo} = [(9 \cdot 3) + 3] = 30 \ m$$

```
Para calcular-se H, tem-se:

H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1

H = (30 + 3).1,1

H = 36,30 \text{ m. c. a.}
```

 b) Sistema RI com 1 zona de pressão: Determinando H_{geo}:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) \right]$$
$$H_{geo} = \left[\left(8 \cdot 3 \right) \right]$$
$$H_{geo} = 24 m$$

Para calcular-se H, tem-se:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$$
$$H = (24 + 10).1,1$$
$$H = 37,4 m. c. a.$$

c) Sistema RI com 2 zonas de pressão – zona mais baixa
 Determinando H_{geo}:

 $H_{geo} = [(N_{pav} \cdot H_{pav})]$ $H_{geo} = [(4 \cdot 3)]$ $H_{aeo} = 12 m$

Para calcular-se H, tem-se:

 $H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$ H = (12 + 10).1,1 $H = 24,2 \ m.c.a.$

 d) Sistema RI com 2 zonas de pressão – zona 2 (mais alta) Determinando H_{geo}:
 H_{geo} = [(N_{pav} . H_{pav})]

 $H_{geo} = [(N_{pav} \cdot H_{pav})]$ $H_{geo} = [(8 \cdot 3)]$ $H_{geo} = 12 m$

Para calcular-se H, tem-se:

 $H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$ H = (24 + 10).1,1H = 37,4 m.c.a.

Repetindo-se o mesmo para as demais edificações com sistema RI-RS, obtêm-se os resultados apresentados na tabela 4-3 a seguir:

| N _{pav} | 8 | 12 | 16 | |
|-----------------------|-------|-------|-------|--|
| H _{geo} [m] | 30,00 | 42,00 | 54,00 | |
| H _{cons} [m] | 3,00 | 3,00 | 3,00 | |
| H [m.c.a] | 36,30 | 49,50 | 62,70 | |

Tabela 4-3 - Altura manométrica necessária - sistema RI-RS

Analogamente, a tabela 4-4 mostra os resultados para as edificações com sistema RI em zona única

| N _{pav} | 8 | 12 | 16 |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| H _{geo} [m] | 24,00 | 36,00 | 48,00 |
| H _{cons} [m] | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| H [m.c.a] | 37,40 | 50,60 | 63,80 |

Tabela 4-4 - Altura manométrica necessária - sistema RI

Finalmente, a tabela 4-5 representa a altura manométrica para as edificações com sistema RI divido em zonas de pressão, sendo a zona 1 sempre a mais baixa da edificação:

| N _{pav} | 8 | 8 12 16 | | | | | | | |
|-----------------------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Zona de pressão | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| H _{geo} [m] | 2 | 24 | 12 | 24 | 36 | 12 | 24 | 36 | 48 |
| H _{cons} [m] | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| H [m.c.a] | 24,2 | 37,4 | 24,2 | 37,4 | 50,6 | 24,2 | 37,4 | 50,6 | 63,8 |

Tabela 4-5 - Altura manométrica necessária - sistema RI com zonas de pressão

4.4 VAZÃO DE ABASTECIMENTO

Conforme apresentado nas subseções 3.4.3 e 3.4.4, o dimensionamento da vazão da moto-bomba é feito baseado em princípios diferentes para os sistemas RI-RS e RI.

Assim, aplicando-se a premissa do abastecimento de grandes reservatórios em até 6 horas diárias, conforme previsto na norma NBR5626:1998, a tabela 4-3 abaixo mostra a vazão calculada para as moto-bombas quando as edificações estudadas são dotadas de sistemas RI-RS:

| Pavimentos | 8 | | | | 12 | | | 16 | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--|
| Aptos. / pavimento | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | |
| Reserva [L] | 32000 | 64000 | 96000 | 48000 | 96000 | 144000 | 64000 | 128000 | 192000 | |
| Tempo de abastecimento [H] | | 6 | | | | | | | | |
| Vazão da moto- bomba [m³/h] | 5,33 | 10,67 | 16,00 | 8,00 | 16,00 | 24,00 | 10,67 | 21,33 | 32,00 | |

Tabela 4-6 - Vazão da moto-bomba nas edificações com sistema RI-RS

Para a determinação das vazões máximas previstas no abastecimento das edificações modelos dotadas com sistema RI, fez-se, primeiramente, o levantamento dos pontos hidráulicos instalados em cada uma delas para posterior aplicação do método dos pesos, conforme estabelecido pela NBR5626:1998.

Considerando o modelo com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles a tabela 4-7 demonstra, abaixo, a quantidade e localização desses pontos de consumo, com os respectivos valores dos pesos relativos:

| | Torneira pia | Maquina de lavar louças | Ponto para filtro | Tomeira tanque | Máquina de lavar | Lavatório | Caixa acoplada | Ducha Higiênica | Chuveiro | Ducha |
|---------------|--------------|----------------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------|----------------|-----------------|----------|-------|
| Vazão [l/s] | 0,25 | 0,3 | 0,1 | 0,25 | 0,3 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Peso relativo | 0,7 | 1 | 0,1 | 0,7 | 1 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |
| W.C 1 | | | | | | 32 | 32 | 32 | 32 | |
| W.C 2 | | | | | | 32 | 32 | 32 | 32 | |
| W.C.3 | | | | | | 32 | 32 | 32 | | 32 |
| Cozinha | 32 | 32 | 32 | | | | | | | |
| A. Serviço | | | | 64 | 32 | | | | | |
| TOTAL | 32 | 32 | 32 | 64 | 32 | 96 | 96 | 96 | 64 | 32 |
| Pesos | 22,4 | 32 | 3,2 | 44,8 | 32 | 28,8 | 28,8 | 9,6 | 6,4 | 12,8 |
| | - | | | | | | Total do | s pesos | - | 220,8 |

Tabela 4-7 - Pontos hidráulicos instalados no prédio com 8 pavimentos com 4 apartamentos cada

Assim, para determinação da vazão máxima da mesma edificação, aplica-se a equação 18 já apresentada anteriormente:

$$Q_{max} = 0,3\sqrt{\Sigma P}$$
$$Q_{max} = 0,3\sqrt{220,8}$$
$$Q_{max} = 4,45 \ l/S$$

Aplicando-se os mesmos procedimentos para as demais edificações sem a divisão por zonas de pressão, podem-se encontrar os resultados conforme demonstrados na tabela 4-8 a seguir:

| Pavimentos | 8 | | | | 12 | | | 16 | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
| Ap / pavimento | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | |
| \sum pesos | 220,8 | 441,6 | 662,4 | 331,2 | 662,4 | 993,6 | 441,6 | 883,2 | 1324,8 | |
| Q_{max} [l/S] | 4,45 | 6,30 | 7,72 | 5,46 | 7,62 | 9,456 | 6,304 | 8,916 | 10,919 | |

Tabela 4-8 - Máxima vazão instantânea - Sistema RI sem zoneamento de pressão

Como as zonas de pressão abrangem sempre 4 pavimentos, observa-se que a somatória dos pesos é resultante apenas do número de apartamentos por pavimento.

Assim, a tabela 4-9 a seguir demonstra os valores da máxima vazão instantânea por zona de pressão.

| Ap / pavimento | 4 | 8 | 12 |
|-----------------|-------|-------|-------|
| \sum pesos | 110,4 | 220,8 | 331,2 |
| Q_{max} [l/S] | 3,152 | 4,458 | 5,46 |

Tabela 4-9 - Máxima vazão instantânea por zona de pressão no sistema RI

4.5 DIVISÃO DO CONSUMO DIÁRIO EM HORAS

Apesar de já se conhecer os valores máximos instantâneos para dimensionamento da moto-bomba e tubulações, para análise do consumo energético se faz necessário saber como o consumo divide-se ao longo de um dia.
Desta maneira, adotou-se a divisão sazonal diária proposta por Barreto (2008) conforme já apresentado na figura 3-9.

4.6 SELEÇÃO DAS MOTO-BOMBAS

Uma vez que a vazão e a altura manométrica necessária para cada sistema são conhecidas, é possível realizar a seleção das moto-bombas que irão operar em cada um deles.

Os fabricantes de moto-bombas usualmente oferecem diversos meios para seleção dos seus equipamentos, tais como: catálogos, planilhas e *softwares*.

A seleção de moto-bombas provenientes de um ou outro fabricante não apresentaria alterações significativas no resultado final deste trabalho, considerando que, ainda que existam particularidades entre equipamentos de diferentes fabricantes, a análise realizada nesse trabalho é comparativa entre os sistemas e não entre equipamentos.

Para este trabalho, portanto, adotou-se selecionar os equipamentos da linha MVI do fabricante Wilo, pela disponibilidade de dados e aplicabilidade dos produtos nas edificações estudadas.

A partir da seleção realizada no *software*, buscou-se levantar os dados técnicos obtidos em testes reais realizados nos produtos para posterior declaração compulsória ao Instituto Nacional de metrologia – INMETRO.

Para coleta dos dados operacionais de cada equipamento aplicado nesse trabalho, as Planilhas de Especificações Técnicas – PETs, declaradas pelo fabricante aos órgãos públicos de fiscalização técnica foram utilizadas como base de dados. Os dados obtidos foram, então, inseridos no *software Matlab* para geração da curva e equação polinomial resultante para posterior análise.

Assim, a figura 4-2, a seguir, mostra a representação gráfica obtida através do *Matlab* referente à curva da moto-bomba MVI403 com o ponto de operação teórico para abastecimento da edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles.



Figura 4-1 – Curva e equação da bomba MVI403 obtida através do Matlab

Aplicando-se o mesmo critério para as demais edificações com sistema RI-RS, podese obter o resultado demonstrado na tabela 4-10 a seguir:

| Pavimentos | Ap/Pav | H(m.c.a) | Q (m³/h) | Modelo moto-bomba |
|------------|--------|----------|----------|-------------------|
| | 4 | 36,30 | 5,33 | MVI403 |
| 8 | 8 | 36,30 | 10,67 | MVI803 |
| | 12 | 36,30 | 16,00 | MVI1603-6 |
| | 4 | 49,50 | 8,00 | MVI406 |
| 12 | 8 | 49,50 | 16,00 | MVI1604-6 |
| | 12 | 49,50 | 24,00 | MVI1606-6 |
| | 4 | 62,70 | 10,67 | MVI1605-6 |
| 16 | 8 | 62,70 | 21,33 | MVI1604 |
| | 12 | 62,70 | 32,00 | MVI3203 |

Tabela 4-10 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI-RS

De forma análoga, a tabela 4-11 a seguir mostra as moto-bombas selecionadas para as edificações com sistema RI sem divisão em zonas de pressão:

| Pavimentos | Ap/Pav | H(m.c.a) | Q (m³/h) | Modelo moto-bomba |
|------------|--------|----------|----------|-------------------|
| | 4 | 37,40 | 16,05 | MVI1603-6 |
| 8 | 8 | 37,40 | 22,70 | MVI1604-6 |
| | 12 | 37,40 | 27,80 | MVI3202 |
| | 4 | 50,60 | 19,65 | MVI1605-6 |
| 12 | 8 | 50,60 | 27,80 | MVI5202 |
| | 12 | 50,60 | 34,04 | MVI3203 |
| | 4 | 63,80 | 22,70 | MVI1604 |
| 16 | 8 | 63,80 | 32,10 | MVI3203 |
| | 12 | 63,80 | 39,31 | MVI5203 |

Tabela 4-11 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI

Finalmente, a tabela 4-12 mostra as moto-bombas selecionadas para o sistema RI divididas em zonas de pressão:

| Pavimentos | Ap/Pav | Zona | H(m.c.a) | Q (m ³ /h) | Modelo moto-bomba |
|------------|--------|------|----------|-----------------------|-------------------|
| | Δ | 1 | 24,20 | 11.35 | MVI1602-6 |
| | | 2 | 37,20 | 11,55 | MVI1603-6 |
| 8 | 8 | 1 | 24,20 | 16.05 | MVI1602-6 |
| 0 | 0 | 2 | 37,20 | 10,05 | MVI1603-6 |
| | 12 | 1 | 24,20 | 19.65 | MVI1603-6 |
| | 12 | 2 | 37,20 | 17,05 | MVI1604-6 |
| | | 1 | 24,20 | | MVI1602-6 |
| | 4 | 2 | 37,20 | 11,35 | MVI1603-6 |
| | | 3 | 50,60 | - | MVI1604-6 |
| | | 1 | 24,20 | | MVI1602-6 |
| 12 | 8 | 2 | 37,20 | 16,05 | MVI1603-6 |
| | | 3 | 50,60 | | MVI1604-6 |
| | 12 | 1 | 24,20 | 19,65 | MVI1603-6 |
| | | 2 | 37,20 | | MVI1604-6 |
| | | 3 | 50,60 | | MVI1605-6 |
| | | 1 | 24,20 | | MVI1602-6 |
| | 4 | 2 | 37,20 | 11.25 | MVI1603-6 |
| | 4 | 3 | 50,60 | 11,55 | MVI1604-6 |
| | | 4 | 63,80 | | MVI1605-6 |
| | | 1 | 24,20 | | MVI1602-6 |
| | 0 | 2 | 37,20 | 16.05 | MVI1603-6 |
| 16 | δ | 3 | 50,60 | 10,05 | MVI1604-6 |
| | | 4 | 63,80 | | MVI1605-6 |
| | | 1 | 24,20 | | MVI1603-6 |
| | 10 | 2 | 37,20 | | MVI1604-6 |
| | 12 | 3 | 50,60 | 19,65 | MVI1605-6 |
| | | 4 | 63,80 | | MVI1606-6 |
| | | | | | |

Tabela 4-12 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI com zonas de pressão

4.7 PARTICULARIDADES DO SISTEMA RI-RS

Como se verifica na figura 4-2, durante a seleção de moto-bombas para as edificações dotadas de sistemas RI-RS, os pontos de operação teóricos estabelecidos não coincidem com a curva da bomba.

Assim, o ponto de operação real do sistema, é, na verdade, a interseção da curva de sistema com a curva da bomba.

Para localizar esse ponto para a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles, tem-se:

Aplicando-se os valores calculados na equação 10:

 $H = (H_{geo} + H_{con}) + kQ^{2}$ $36,3 = (30 + 3) + k.5,33^{2}$ 36,3 = 33,00 + k.28,40k = 0,1162

Assim, pode-se definir a equação da curva do sistema:

 $H = 33,00 + 0,1162Q^2$

Como o ponto de operação real do sistema é a intersecção da curva do sistema com a curva da bomba, pode-se definir através da igualdade entre as respectivas equações:

 $-0,03493Q^{3} + 0,1108Q^{2} - 1,054Q + 48,51 = 33,00 + 0,1162Q^{2}$ $-0,03493Q^{3} - 0,0054Q^{2} - 1,054Q + 15,51 = 0$

As raízes dessa nova equação são, portanto: -*3,2198 + 7,7641j* -*3,2198 - 7,7641j 6,2851* Assumindo-se, portanto, que a vazão corrigida é 6,2851 m³/h e substituindo esse valor na equação de sistema, pode-se determinar também a altura manométrica corrigida:

 $H = 33,00 + 0,1162 \cdot 6,2851^2$

 $H = 37,59 \ m. c. a$





Figura 4-2 - Ponto de operação corrigido para a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos cada

A correção do ponto operacional do sistema traz uma redução no tempo diário de operação da moto-bomba, podendo ser determinado pela razão entre o volume a ser abastecido diariamente e a vazão de operação real da moto-bomba.

Assim, a tabela 4-13 a seguir representa os pontos de operação teóricos corrigidos para cada edificação no sistema RI-RS, incluindo o novo cálculo do tempo de operação diária da moto-bomba.

| Pav. | A n/Dov | Teórico | | Modelo | Corr | Tempo de | |
|------|---------|----------|-----------------------|------------|----------|-----------------------|------------|
| | Apriav | H(m.c.a) | Q (m ³ /h) | moto-bomba | H(m.c.a) | Q (m ³ /h) | diária (h) |
| | 4 | 36,30 | 5,33 | MVI403 | 37,59 | 6,280 | 5,091 |
| 8 | 8 | 36,30 | 10,67 | MVI803 | 37,06 | 11,830 | 5,408 |
| | 12 | 36,30 | 16,00 | MVI1603-6 | 38,17 | 20,020 | 4,794 |
| | 4 | 49,50 | 8,00 | MVI406 | 50,27 | 8,6567 | 5,545 |
| 12 | 8 | 49,50 | 16,00 | MVI1604-6 | 50,77 | 18,125 | 5,297 |
| | 12 | 49,50 | 24,00 | MVI1606-6 | 50,01 | 25,328 | 5,685 |
| 16 | 4 | 62,70 | 10,67 | MVI1605-6 | 71,10 | 16,778 | 3,814 |
| | 8 | 62,70 | 21,33 | MVI1604 | 64,24 | 24,036 | 5,325 |
| | 12 | 62,70 | 32,00 | MVI3203 | 63,32 | 33,707 | 5,696 |

Tabela 4-13 - Pontos de operação corrigidos

4.8 PARTICULARIDADES DO SISTEMA RI

4.8.1 Frequência mínima de operação

Se para o sistema RI-RS há a necessidade de ajustar o ponto de operação porque a moto-bomba não possui variação de velocidade; no sistema RI a moto-bomba varia continuamente a velocidade com o objetivo de manter a pressão constante.

Entretanto, para cada sistema há uma velocidade mínima para que a pressão ajustada seja garantida. Pode-se determinar o valor dessa velocidade através das leis da similaridade, como visto no capítulo 2, tomando como base o valor da altura manométrica quando tem-se vazão nula no sistema.

Como exemplo considera-se a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um, sem divisão de pressão:

| Altura manométrica no shut-off | = | 49,88 m |
|----------------------------------|---|----------|
| Altura manométrica para operação | = | 37,4 m |
| Velocidade no shut-off | = | 3500 RPM |

Através das leis da similaridade, tem-se:

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2$$
$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2$$
$$\frac{49,88}{37,40} = \left(\frac{3500}{N2}\right)^2$$
$$\sqrt{1,33} = \frac{3500}{N2}$$
$$N2 = 3031 RPM$$

Desta forma, para que seja garantido o conforto dos usuários do prédio, a bomba jamais poderá operar com velocidade menor que 3031 RPM. A figura 4-3 ilustra a condição representada:



Figura 4-3 - Limites para a variação de velocidade

4.8.2 Operação da bomba (divisão sazonal)

O consumo hidráulico de uma edificação varia constantemente. O abrir ou fechar de simples torneiras para qualquer uso interfere no equilíbrio do sistema, que, por sua vez, tem

de aumentar ou diminuir a velocidade da moto-bomba a fim de corrigir a perturbação gerada, manter a pressão constante e garantir o conforto do usuário final.

Na impossibilidade de reproduzir teoricamente o comportamento exato do abastecimento dos edifícios, adotou-se que os sistemas irão operar em faixas compostas por 4 valores de vazão correspondentes a 25, 50, 75 e 100% da vazão máxima, assumidas de acordo com a razão entre o consumo horário do prédio e a capacidade de abastecimento da bomba.

Estas vazões possuem velocidades correspondentes consideradas apenas para análise, uma vez que, em situação real, a moto-bomba não opera apenas em 4 velocidades, mas em diferentes velocidades controladas pelo conversor de frequência ao longo de um dia de abastecimento.

De acordo com o modelo criado, então, a moto-bomba operará com vazões e velocidades maiores quanto mais água a edificação necessitar durante determinada hora do dia, simulando, através de valores médios, o comportamento real de um sistema de pressurização.

A tabela 4-14 a seguir mostra como o critério descrito será aplicado:

| | <i>J 1 J</i> | | | | | | | |
|----------|--------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| | % de utilização | Parcela do consumo abastecido com | | | | | | |
| Faiva de | da capacidade | 25% da | 50% da | 75% da | 100% da | | | |
| operação | horária da moto-bomba | vazão | vazão | vazão | vazão | | | |
| | | máxima da | máxima da | máxima da | máxima da | | | |
| | | bomba | bomba | bomba | bomba | | | |
| 1 | Até 15% | 50% | 50% | 0% | 0% | | | |
| 2 | Entre 15 e 30% | 0% | 50% | 50% | 0% | | | |
| 3 | Mais que 30% | 0% | 0% | 50% | 50% | | | |

Tabela 4-14 - Divisão do abastecimento em faixas de operações

Como exemplo, adotando-se a mesma edificação do exemplo anterior, tem-se: Equação da curva da bomba, obtida através do *Matlab*:

 $H = 0,00097Q^3 - 0,00053Q^2 - 0,1751Q + 49,68$

Aplicando-se na equação a altura manométrica do sistema:

$$37,4 = 0,00097Q^3 - 0,00053Q^2 - 0,1751Q + 49,68$$

Então, tem-se que:

 $0,00097Q^3 - 0,00053Q^2 - 0,1751Q + 12,28 = 0$

Pelo Matlab, determinam-se as raízes da equação:

-10,5622 + 22,4422j -10,5622 - 22,4422j 20,5780

Portanto, considerando que a vazão máxima é $20,57m^3/h$, as parcelas com 25, 50 e 75% da vazão total são, respectivamente, 5,14, 10,28 e 15,43 m³/h.

Baseado na divisão do consumo do tópico 4.5 e adotando-se os critérios estabelecidos na tabela 4-14, pode-se determinar o perfil de operação diária da moto-bomba do edifício conforme a tabela 4-15 a seguir:

| | | | | Operação com | | Operação com | |
|-------|-------------|----------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | Consumo | | 07 | 25% da | vazão da | 50% da | vazão da |
| | | | 70 | bo | mba | bomba | |
| HOKA | | | da bomba | (5,14 | 4m³/h) | (10,2 | 8m³/h) |
| | % diário | litros | au comou | Litros | Tempo (h) | Litros | Tempo (h) |
| 0:00 | 2,40% | 767,34 | 3,73% | 383,67 | 0,075 | 383,67 | 0,037 |
| 1:00 | 0,84% | 268,57 | 1,31% | 134,28 | 0,026 | 134,28 | 0,013 |
| 2:00 | 1,05% | 335,71 | 1,63% | 167,86 | 0,033 | 167,86 | 0,016 |
| 3:00 | 0,88% | 280,08 | 1,36% | 140,04 | 0,027 | 140,04 | 0,014 |
| 4:00 | 0,24% | 76,73 | 0,37% | 38,37 | 0,007 | 38,37 | 0,004 |
| 5:00 | 0,10% | 30,69 | 0,15% | 15,35 | 0,003 | 15,35 | 0,001 |
| 6:00 | 1,17% | 376,00 | 1,83% | 188,00 | 0,037 | 188,00 | 0,018 |
| 7:00 | 1,95% | 623,46 | 3,03% | 311,73 | 0,061 | 311,73 | 0,030 |
| 8:00 | 2,52% | 805,71 | 3,92% | 402,85 | 0,078 | 402,85 | 0,039 |
| 9:00 | 8,03% | 2570,59 | 12,49% | 1285,29 | 0,250 | 1285,29 | 0,125 |
| 10:00 | 5,48% | 1753,37 | 8,52% | 876,69 | 0,170 | 876,69 | 0,085 |
| 11:00 | 8,09% | 2589,77 | 12,59% | 1294,89 | 0,252 | 1294,89 | 0,126 |
| 12:00 | 7,79% | 2493,86 | 12,12% | 1246,93 | 0,242 | 1246,93 | 0,121 |
| 13:00 | 9,32% | 2983,03 | 14,50% | 1491,52 | 0,290 | 1491,52 | 0,145 |
| 14:00 | 8,15% | 2608,96 | 12,68% | 1304,48 | 0,254 | 1304,48 | 0,127 |
| 15:00 | 2,88% | 920,81 | 4,47% | 460,40 | 0,089 | 460,40 | 0,045 |
| 16:00 | 2,34% | 748,16 | 3,64% | 374,08 | 0,073 | 374,08 | 0,036 |
| 17:00 | 9,47% | 3030,99 | 14,73% | 1515,50 | 0,295 | 1515,50 | 0,147 |
| 18:00 | 6,23% | 1995,08 | 9,70% | 997,54 | 0,194 | 997,54 | 0,097 |
| 19:00 | 7,64% | 2443,98 | 11,88% | 1221,99 | 0,238 | 1221,99 | 0,119 |
| 20:00 | 3,24% | 1035,91 | 5,03% | 517,95 | 0,101 | 517,95 | 0,050 |
| 21:00 | 4,20% | 1342,85 | 6,53% | 671,42 | 0,131 | 671,42 | 0,065 |
| 22:00 | 2,16% | 690,61 | 3,36% | 345,30 | 0,067 | 345,30 | 0,034 |
| 23:00 | 3,84% | 1227,74 | 5,97% | 613,87 | 0,119 | 613,87 | 0,060 |
| TOTAL | | 32000,00 | | 16000,00 | | 16000,00 | |

Tabela 4-15 - Exemplo de operação diária da moto-bomba no sistema RI

No exemplo apresentado, a moto-bomba não operou com vazões médias superiores a 50% da vazão total porque a utilização da capacidade horária da mesma não ultrapassou os 15%, conforme previsto na tabela 4-14.

4.9 DIMENSIONAMENTOS DOS TUBOS HIDRÁULICOS

Para dimensionamento dos tubos hidráulicos para abastecimento das edificações analisadas, adotou-se a equação da continuidade, conforme já apresentado no item 2.5.1 deste trabalho.

Embora se tenha adotado parcelas fixas para determinação das perdas de carga, é imprescindível verificar se a velocidade máxima do fluído, em qualquer que seja o sistema adotado, não ultrapasse os 3 m/s, caso contrário, poderia gerar um sistema turbulento e alterar os valores das simulações.

Assim, como exemplo, determina-se o diâmetro da tubulação principal para abastecimento do reservatório superior no sistema RI-RS da edificação com 8 pavimentos e cada um contendo 8 apartamentos, cuja vazão máxima prevista, conforme a tabela 4-3 é de 6,28 m³/h (0,001744 m³/s):

Aplicando-se os valores na equação da continuidade:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001744}{\pi \cdot 3}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{max}}}$$

D = 0,02721 m = 27,21 mm

Consultando a tabela do catálogo do fabricante de tubos reproduzida no Anexo II deste trabalho, verifica-se que o tubo comercial com diâmetro imediatamente maior para essa instalação é o DN40, que possui diâmetro interno de 32,6 mm.

Aplicando-se o mesmo procedimento para dimensionamento das demais edificações, a tabela 4-16 mostra dimensionamento dos tubos para abastecimento das edificações com sistema RI-RS:

| Pav. | Arr /Door | Ponto de operação | | Diâmetro | Diâmetro comercial | |
|------|-----------|-------------------|-----------------------|----------|--------------------|------|
| | Ap./Pav. | H (m.c.a) | Q (m ³ /h) | (mm) | mm | DN |
| | 4 | 37,59 | 6,280 | 27,21 | 32,30 | DN40 |
| 8 | 8 | 37,06 | 11,830 | 27,35 | 51,40 | DN63 |
| | 12 | 38,17 | 20,020 | 48,58 | 51,40 | DN63 |
| | 4 | 50,27 | 8,6567 | 31,95 | 40,80 | DN50 |
| 12 | 8 | 50,77 | 18,125 | 46,23 | 51,40 | DN63 |
| | 12 | 50,01 | 25,328 | 54,64 | 61,40 | DN75 |
| | 4 | 71,10 | 16,778 | 44,47 | 51,40 | DN63 |
| 16 | 8 | 64,24 | 24,036 | 52,23 | 61,40 | DN75 |
| | 12 | 63,32 | 33,707 | 63,04 | 73,60 | DN90 |

Tabela 4-16 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI-RS

Para o sistema RI, aplica-se o mesmo critério para o dimensionamento da prumada principal, assim, como exemplo, a equação abaixo determina o diâmetro da tubulação do edifício com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um cuja moto-bomba opera com vazão máxima simultânea de 20,58 m³/h (0,00571 m³/s):

$$D = \sqrt{\frac{4.0,00571}{\pi.3}} = 0,04924 \, m$$

D = 49,24 mm

Consultando a mesma tabela do Anexo II, verifica-se que o tubo comercial com diâmetro imediatamente superior é o DN63 com 50,8 mm.

A tabela 4-17 a seguir demonstra os diâmetros das prumadas dos demais edifícios com sistema RI com zona única, aplicando-se a mesma equação:

| Dav | An /Pay | Ponto de operação máximo da bomba | | Diâmetro tubo teórico | Diâmetro comercial | |
|-------|---------|--------------------------------------|----------|--------------------------|--------------------|-------|
| 1 av. | <u></u> | H (m.c.a) | Q (m³/h) | (mm) | mm | DN |
| | 4 | 37,4 | 20,58 | 49,30 | 50,80 | DN63 |
| 8 | 8 | 37,4 | 26,43 | 55,80 | 61,48 | DN75 |
| | 12 | 37,4 | 51,43 | 77,90 | 90,00 | DN110 |
| | 4 | 50,6 | 25,27 | 54,60 | 61,48 | DN75 |
| 12 | 8 | 50,6 | 28,24 | 57,70 | 61,48 | DN75 |
| | 12 | 50,6 | 44,74 | 72,60 | 73,60 | DN90 |
| | 4 | 63,8 | 25,29 | 54,60 | 61,4 | DN75 |
| 16 | 8 | 63,8 | 33,51 | 62,90 | 73,60 | DN90 |
| | 12 | 63,8 | 48,99 | 76,00 | 90,00 | DN110 |

Tabela 4-17 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única

Aplicando-se ainda o mesmo procedimento para os sistemas RI divididos em zonas de pressão, podem-se obter os dados presentes na tabela 4-18 a seguir:

| Dov | An /Day | Zona de | Ponto de o máximo d | operação a bomba | Diâmetro | Diâmetro comercial | |
|------|----------|---------|------------------------|-----------------------|----------|--------------------|------|
| Tav. | Ap./Pav. | pressão | H (m.c.a) | Q (m ³ /h) | (mm) | mm | DN |
| | 1 | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| | 4 | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| 0 | Q | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| 0 | 0 | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | 12 | 1 | 24,2 | 27,53 | 57,00 | 61,40 | DN75 |
| | 12 | 2 | 37,4 | 26,42 | 55,80 | 61,40 | DN75 |
| | | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| | 4 | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | | 3 | 50,6 | 20,87 | 49,60 | 51,40 | DN63 |
| | | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| 12 | 8 | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | | 3 | 50,6 | 20,87 | 49,60 | 51,40 | DN63 |
| | 12 | 1 | 24,2 | 27,53 | 57,00 | 61,40 | DN75 |
| | | 2 | 37,4 | 27,35 | 56,80 | 61,40 | DN75 |
| | | 3 | 50,6 | 25,27 | 54,60 | 61,40 | DN75 |
| | | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| | | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | 4 | 3 | 50,6 | 20,87 | 49,60 | 51,40 | DN63 |
| | | 4 | 63,8 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | | 1 | 24,2 | 21,15 | 49,99 | 51,40 | DN63 |
| | | 2 | 37,4 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| 16 | 8 | 3 | 50,6 | 20,87 | 49,60 | 51,40 | DN63 |
| | | 4 | 63,8 | 20,57 | 49,20 | 51,40 | DN63 |
| | | 1 | 24,2 | 27,53 | 57,00 | 61,40 | DN75 |
| | 10 | 2 | 37,4 | 27,35 | 56,80 | 61,40 | DN75 |
| | 12 | 3 | 50,6 | 25,27 | 54,60 | 61,40 | DN75 |
| | | 4 | 63,8 | 24,36 | 53,60 | 61,40 | DN75 |

Tabela 4-18 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única

4.10 SIMULAÇÕES

Baseando-se nos parâmetros e especificações estabelecidas neste capítulo, utilizou-se o *software Matlab-Simulink* para simulação de cada uma das edificações dimensionadas.

As figuras 4-4 e 4-5 demonstram simplificadamente os circuitos aplicados para simulação do sistema RI-RS das edificações estudadas:





No Anexo III deste trabalho pode-se encontrar os modelos completos adotados para cada perfil de edificação, tendo os resultados apurados das simulações apresentados no próximo capítulo.

5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Como já descrito, o objetivo final deste trabalho é a comparação do consumo energético nos sistemas de abastecimento de água aplicáveis no Brasil.

Após as especificações e premissas adotadas no Capítulo 4 e as simulações realizadas no *Simulink*, conforme os modelos apresentados no Anexo III, este capítulo apresenta os resultados encontrados.

5.1 SISTEMA RI-RS

Simulando o sistema RI-RS aplicado nos edifícios estudados, podem-se encontrar os resultados apresentados a seguir:

5.1.1 Edifícios com 8 pavimentos

A tabela 5-1 mostra os resultados encontrados para os edifícios com 8 pavimentos, de acordo com o número de apartamentos por pavimento:

| difício | Pavimentos | | 8 | | |
|---------|-------------------------------------|--------|--------|-----------|--|
| | Apartamentos por pavimento | 4 | 8 | 12 | |
| Ĕ | Consumo diário (1) | 32000 | 64000 | 96000 | |
| | Modelo | MVI403 | MVI803 | MVI1603-6 | |
| nba | H (m) | | 36,30 | | |
| Bon | Vazão projetada (m ³ /h) | 5,33 | 10,67 | 16,00 | |
| | Vazão corrigida (m ³ /h) | 6,28 | 11,00 | 17,00 | |
| | H simulado (m) | 37,54 | 39,45 | 41,93 | |
| lação | Vazão simulada (m³/h) | 6,24 | 11,00 | 17,12 | |
| Simu | Hcons – chave bóia (m) | 3,02 | 3,08 | 3,06 | |
| 01 | Consumo energético (KW) | 1139 | 1970 | 3229 | |
| | Tempo por ciclo (H) | 1,28 | 1,45 | 1,40 | |
| ou | Consumo por ciclo (KW) | 1,46 | 2,87 | 4,53 | |
| unsu | Consumo diário (KW) | 5,84 | 11,46 | 18,11 | |
| Cc | Consumo KW / m ³ | 0,183 | 0,179 | 0,189 | |
| - | Média de consumo KW/m ³ | 0,183 | | | |

Tabela 5-1 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos dotados de sistema RI-RS

Os resultados para os edifícios com 8 pavimentos demonstram valore bastante próximos entre si. Observou-se que o ponto de operação da edificação com 12 pavimentos por andar era o mais afastado do B.E.P. Desta maneira, pode-se concluir que conforme se aumenta a vazão de operação, há a tendência de operação em pontos de melhores rendimentos hidráulicos.

5.1.2 Edifícios com 12 pavimentos

Da mesma forma, a tabela 5-2 abaixo mostra os resultados encontrados durante a simulação para os edifícios com 12 pavimentos, também divididos de acordo com o número de apartamentos por pavimento:

| | Pavimentos | | 12 | |
|---------|-------------------------------------|--------|-----------|-----------|
| difício | Apartamentos por pavimento | 4 | 8 | 12 |
| щ | Consumo diário (l) | 48000 | 48000 | 48000 |
| | Modelo | MVI406 | MVI1604-6 | MVI1606-6 |
| nba | H (m) | | 49,50 | · |
| Bor | Vazão projetada (m ³ /h) | 8,00 | 16,00 | 24,00 |
| | Vazão corrigida (m ³ /h) | 8,27 | 16,70 | 24,40 |
| | H simulado (m) | 55,51 | 57,64 | 64,36 |
| lação | Vazão simulada (m ³ /h) | 8,27 | 16,70 | 24,40 |
| Simu | Hcons – chave bóia (m) | 3,01 | 3,07 | 3,06 |
| | Consumo energético (KW) | 2369 | 4318 | 6832 |
| | Tempo por ciclo (H) | 1,45 | 1,44 | 1,48 |
| 0 | Consumo por ciclo (KW) | 3,44 | 6,21 | 10,08 |
| unsuc | Consumo diário (KW) | 13,75 | 24,82 | 40,32 |
| Ŭ | Consumo KW / m ³ | 0,286 | 0,259 | 0,280 |
| - | Média de consumo KW/m ³ | | 0,275 | |

Tabela 5-2 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos dotados de sistema RI-RS

Novamente o aumento da vazão significa menor consumo energético a cada metro cúbico bombeado, nesse caso, novamente a edificação com 12 apartamentos por pavimento apresentou-se como sendo o ponto de operação mais distante do B.E.P., e, portanto, com maior consumo energético por metro cúbico de água elevada.

Assim como no caso anterior, as médias de consumo apresentaram-se bastante próximas entre si.

5.1.3 Edifícios com 16 pavimentos

Finalizando, a tabela 5-3 a seguir mostra os resultados encontrados para o edifício com 16 pavimentos:

| | Pavimentos | 16 | | | | | |
|----------|-------------------------------------|-----------|-------------------|--------|--|--|--|
| Edifícic | Apartamentos por pavimento | 4 | 8 | 12 | | | |
| H | Consumo diário (l) | 64000 | 128000 | 192000 | | | |
| | Modelo | MVI1605-6 | MVI1605-6 MVI1604 | | | | |
| nba | H (m) | | 62,70 | | | | |
| Bor | Vazão projetada (m ³ /h) | 10,67 | 21,33 | 32,00 | | | |
| | Vazão corrigida (m ³ /h) | 13,80 | 23,60 | 33,30 | | | |
| | H simulado (m) | 75,09 | 65,78 | 63,57 | | | |
| lação | Vazão simulada (m³/h) | 13,83 | 23,67 | 33,30 | | | |
| Simu | Hcons – chave bóia (m) | 2,83 | 3,06 | 3,00 | | | |
| | Consumo energético (KW) | 4896 | 6876 | 9100 | | | |
| | Tempo por ciclo (H) | 1,16 | 1,35 | 1,44 | | | |
| 0 | Consumo por ciclo (KW) | 5,66 | 9,30 | 13,12 | | | |
| unsuo | Consumo diário (KW) | 22,66 | 37,18 | 52,47 | | | |
| 0 | Consumo KW / m ³ | 0,354 | 0,290 | 0,273 | | | |
| | Média de consumo KW/m ³ | | 0,306 | | | | |

Tabela 5-3 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos dotados de sistema RI-RS

Embora que a edificação com 4 apartamentos por pavimento esteja com ponto de operação um pouco mais deslocado do B.E.P., observa-se nesse último caso, referente à edificação com 16 pavimentos a clara tendência no consumo energético quando aumenta-se a necessidade de vazão.

5.1.4 Síntese dos resultados - sistema RI-RS

A escolha da bomba é determinante para o bom desempenho do sistema de abastecimento predial RI-RS. Esse fato fica claro quando não se observa uma tendência definida para o consumo energético entre as edificações de mesma altura, porém, com consumos diferentes.

Quando o ponto operacional da instalação é estabelecido entre as faixas de vazão com melhor rendimento de uma linha e outra de produtos, a eficiência do sistema de bombeamento fica comprometida.

Esse fato ficou característico nas aplicações com 8 e 12 pavimentos com 12 apartamentos por pavimento e também na edificação com 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um, conforme destacado através das setas amarelas na figura 5-1:



Figura 5-1 - Consumo energético no sistema RI-RS

Se as bombas referentes aos consumos destacados acima estivessem operando na faixa de melhor rendimento, a tendência do aumento da eficiência do de acordo com o aumento da demanda por água ficaria evidenciada.

5.2 SISTEMA RI COM ZONA DE PRESSÃO ÚNICA

Os resultados a seguir referem-se às simulações dos sistemas de abastecimento RI com zona única de pressão.

Conforme apresentado no Capítulo 4, o consumo energético foi baseado nos 4 valores de vazão adotados como padrão. Assim, todas as tabelas apresentam essas vazões juntamente com as respectivas velocidades pré-determinadas que, por sua vez, formarão as 3 faixas de operação conforme descrito na tabela 4-14.

Os comentários referentes aos resultados encontrados nas simulações estão feitos, de forma comparativa, na subseção 5.2.4.

5.2.1 Edifícios com 8 pavimentos

A tabela 5-4 apresenta os resultados encontrados para o edifício com 8 pavimentos, divididos de acordo com o número de apartamentos em cada um deles.

| cio | Pavimentos | | | 8 | | | | |
|--------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--|
| difíci | Apartamentos/pavimento | 2 | 4 | 8 | | 12 | | |
| Щ | Consumo diário (l) | 32000 | | 64000 | | 96000 | | |
| | Modelo | MVI1 | 603-6 | MVI1 | 604-6 | MVI | MVI3202 | |
| | H (m) | | 37,4 | | | | | |
| æ | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | |
| Bomb | Vazão máxima | 20,58 | 3500 | 26,43 | 3500 | 51,44 | 3500 | |
| | 75% da vazão máxima | 15,43 | 3280 | 19,82 | 3106 | 38,58 | 3004 | |
| | 50% da vazão máxima | 10,29 | 3147 | 13,21 | 2812 | 25,72 | 2682 | |
| | 25% da vazão máxima | 5,14 | 3079 | 6,61 | 2672 | 12,86 | 2527 | |
| | Consumo energético | К | W | KW | | KW | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 7, | 13 | 4,29 | | 5,16 | | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 0, | 00 | 6, | 87 | 7,77 | | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 0, | 00 | 3, | 03 | |
| ot | Consumo diário (KW) | 7, | 13 | 11 | ,16 | 15,98 | | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,2 | 223 | 0,174 | | 0,166 | | |
| Co | Média de consumo KW/m ³ | | | 0,1 | 88 | | | |

Tabela 5-4 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos e sistema RI com zona única

5.2.2 Edifícios com 12 pavimentos

Da mesma maneira, os dados provenientes das simulações realizadas nos edifícios com 12 pavimentos são apresentados na tabela 5-5:

| cio | Pavimentos | 12 | | | 2 | | | |
|---------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
| difícia | Apartamentos/pavimento | 2 | 4 | 8 | | 12 | | |
| ш | Consumo diário (l) | 480 | 48000 | | 96000 | | 144000 | |
| | Modelo | MVI1 | 605-6 | MVI | 5202 | MVI | 3203 | |
| | H (m) | | | 50 |),6 | | | |
| _ | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | |
| Bomba | Vazão máxima | 25,27 | 3500 | 28,24 | 3500 | 44,74 | 3500 | |
| | 75% da vazão máxima | 18,95 | 3140 | 21,18 | 3406 | 33,56 | 3177 | |
| | 50% da vazão máxima | 12,64 | 2894 | 14,12 | 3333 | 22,37 | 3004 | |
| | 25% da vazão máxima | 6,32 | 2767 | 7,06 | 3288 | 11,19 | 2890 | |
| | Consumo energético | K | W | KW | | KW | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 4, | 35 | 14,18 | | 8,47 | | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 6, | 93 | 15 | 15,98 | | 6,30 | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 4, | 75 | 17 | ,85 | |
| Q | Consumo diário (KW) | 11 | ,28 | 34 | ,91 | 32 | ,63 | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,2 | 235 | 0,364 | | 0,227 | | |
| C | Média de consumo KW/m ³ | | 0,275 | | | | | |

Tabela 5-5 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos e sistema RI com zona única

5.2.3 Edifícios com 16 pavimentos

Os dados provenientes das simulações realizadas nos edifícios com 16 pavimentos são apresentados na tabela 5-6:

| cio | Pavimentos | | | 1 | 16 | | | | | |
|-----------|------------------------------------|---------|-------|-------|--------|---------|--------|--|--|--|
| Bdifficie | Apartamentos/pavimento | 2 | 4 | 8 | | 12 | | | | |
| I | Consumo diário (l) | 640 | 64000 | | 128000 | | 192000 | | | |
| | Modelo | MVI1604 | | MVI | 3203 | MVI5203 | | | | |
| | H (m) | | | 63 | 3,8 | | | | | |
| _ | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | | | |
| 3omba | Vazão máxima | 25,29 | 3500 | 33,51 | 3500 | 48,99 | 3500 | | | |
| 1 | 75% da vazão máxima | 18,97 | 3241 | 25,13 | 3420 | 36,75 | 3351 | | | |
| | 50% da vazão máxima | 12,64 | 3029 | 16,75 | 3330 | 24,50 | 3213 | | | |
| | 25% da vazão máxima | 6,32 | 2933 | 8,38 | 3263 | 12,25 | 3084 | | | |
| | Consumo energético | K | W | KW | | KW | | | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 6, | 74 | 12 | 12,15 | | ,30 | | | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 13 | ,35 | 8, | 31 | 9,49 | | | | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 21 | ,40 | 32 | ,46 | | | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 20 | ,08 | 41,86 | | 56,26 | | | | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,3 | 314 | 0,327 | | 0,293 | | | | |
| Co | Média de consumo KW/m ³ | | | 0,3 | 0,311 | | | | | |

Tabela 5-6 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos e sistema RI com zona única

5.2.4 Síntese dos resultados - sistema RI sem divisão em zonas de pressão

Assim como ocorreu no sistema RI-RS, a seleção de bombas para as edificações com 8 apartamentos por pavimento nos casos da edificação possuir 12 ou 16 pavimentos.

Esse fato trouxe, novamente, baixa eficiência, pontualmente no desempenho do abastecimento nessas edificações.

A figura 5-2 a seguir demonstra os resultados apurados, destacando, através das setas amarelas, as edificações cuja moto-bomba não pôde ser corretamente selecionada, pela



existência de faixas de baixa eficiência entre as linhas de produto de um determinado fabricante.

Figura 5-2 - Consumo energético no sistema RI com zona única

Exceção feita aos casos destacados acima, a tendência observada no sistema RI-RS também é válida para o sistema RI com zona única, ou seja, eficiência melhores para vazões maiores no mesmo sistema de abastecimento.

5.3 SISTEMA RI DIVIDIDO EM ZONAS DE PRESSÃO

As edificações dotadas de sistema RI com divisão em zonas de pressão foram simuladas considerando as mesmas premissas adotadas que o sistema RI com zona única.

Desta maneira, cada zona de pressão foi analisada levando-se em conta as faixas de operação.

Assim como na análise anterior, os comentários estão feitos ao final da apresentação dos resultados, na subseção 5.3.4.

5.3.1 Edificações com 8 pavimentos.

A tabela 5-7 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles.

| | Pavimentos | | ٤ | 3 | | |
|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--|
| Ĩcio | Ap / pav | | 2 | 1 | | |
| Edif | Cons. diário por zona (l) | | 160 | 000 | | |
| | Zona de pressão | | 1 | 2 | | |
| | Modelo | MVI1 | 602-6 | MVI1 | 603-6 | |
| | H necessária (m) | 24 | 24,2 | | 7,4 | |
| _ | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | |
| Bomba | Vazão máxima | 21,16 | 3500 | 20,57 | 3500 | |
| Η | 75% da vazão máxima | 15,87 | 3248 | 15,43 | 3280 | |
| | 50% da vazão máxima | 10,58 | 3103 | 10,29 | 3147 | |
| | 25% da vazão máxima | 5,29 | 3030 | 5,14 | 3079 | |
| | Consumo energético | K | W | KW | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 2, | 35 | 3, | 48 | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 2, | 35 | 3, | 48 | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,1 | 47 | 0,218 | | |
| 0 | Consumo total KW / m ³ | | 0,1 | 82 | | |

Tabela 5-7 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão

Para a edificação de 8 pavimentos e 8 apartamentos em cada um deles, os resultados das simulações são apresentados na tabela 5-8:

Tabela 5-8 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão

| | Pavimentos | | ; | 8 | | | |
|-------|-----------------------------------|-------|--------|-------|-------|--|--|
| ício | Ap / pav | | : | 8 | | | |
| Edif | Cons. diário por zona (l) | | 32 | 000 |)00 | | |
| | Zona de pressão | | 1 | 2 | | | |
| | Modelo | MVI | 1602-6 | MVII | 603-6 | | |
| | H necessária (m) | 24 | 24,2 | | 7,4 | | |
| | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | | |
| 3omba | Vazão máxima | 21,16 | 3500 | 21,16 | 3500 | | |
| Щ | 75% da vazão máxima | 15,87 | 3248 | 15,87 | 3248 | | |
| | 50% da vazão máxima | 10,58 | 3103 | 10,58 | 3103 | | |
| | 25% da vazão máxima | 5,29 | 3030 | 5,29 | 3030 | | |
| | Consumo energético | К | W | K | W | | |
| ação | Operação diária na faixa 1 | 1, | ,95 | 2, | 79 | | |
| Simul | Operação diária na faixa 2 | 2, | .24 | 3, | 37 | | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | ,00 | 0, | 00 | | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 4, | ,19 | 6, | 16 | | |
| mnsuc | Consumo KW / m ³ | 0, | 131 | 0,1 | .92 | | |
| Coi | Consumo total KW / m ³ | | 0,1 | 162 | | | |

Finalmente, a tabela 5-9 mostra os resultados para a edificação de 8 pavimentos e 12 apartamentos em cada um deles:

| | Pavimentos | | | 8 | | | |
|-------|-----------------------------------|-------|-----------|-------|-------|--|--|
| ĩcio | Ap / pav | | 1 | 2 | | | |
| Edif | Cons. diário (l) por zona | | 48 |)00 | | | |
| | Zona de pressão | | 1 | | 2 | | |
| | Modelo | MVI | MVI1603-6 | | 604-6 | | |
| | H necessária (m) | 24 | 24,2 | | 7,4 | | |
| | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | | |
| 3omba | Vazão máxima | 27,53 | 3500 | 26,43 | 3500 | | |
| щ | 75% da vazão máxima | 20,65 | 3030 | 19,82 | 3106 | | |
| | 50% da vazão máxima | 13,77 | 2686 | 13,21 | 2812 | | |
| | 25% da vazão máxima | 6,88 | 2506 | 6,61 | 2672 | | |
| | Consumo energético | К | W | KW | | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 2, | ,02 | 3, | 00 | | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 3, | ,34 | 5, | 15 | | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | ,00 | 0, | 00 | | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 5, | ,37 | 8, | 15 | | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0, | 112 | 0,170 | | | |
| Co | Consumo total KW / m ³ | | 0,1 | 41 | | | |

Tabela 5-9 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão

5.3.2 Edificações com 12 pavimentos.

A tabela 5-10 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 4 apartamentos em cada um deles. As edificações com 12 pavimentos foram divididas em 3 zonas de pressão.

| Tabela 5-10 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavime | entos com 4 apartamentos em cada um e |
|--|---------------------------------------|
| sistema RI dividido em 3 zonas de | pressão |

| | Pavimentos | | | 1 | 2 | | | |
|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Ìcio | Ap / pav | | | 2 | 4 | | | |
| Edif | Cons. diário (l) por zona | | 16000 | | | | | |
| | Zona de pressão | 1 | | | 2 | 2 | 3 | |
| | Modelo | MVI1 | 602-6 | MVI1 | 603-6 | MVI1 | 604-6 | |
| | H necessária (m) | 24,2 | | 37 | 37,4 | | 50,6 | |
| Bomba | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | |
| | Vazão máxima | 21,20 | 3500 | 20,57 | 3500 | 20,87 | 3500 | |
| | 75% da vazão máxima | 15,90 | 3249 | 15,43 | 3281 | 15,65 | 3265 | |
| | 50% da vazão máxima | 10,60 | 3103 | 10,29 | 3147 | 10,43 | 3134 | |
| | 25% da vazão máxima | 5,30 | 3041 | 5,14 | 3079 | 5,22 | 3068 | |
| | Consumo energético | K | W | KW | | KW | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 2, | 48 | 3, | 3,48 | | 70 | |
| Simul | Operação diária na faixa 2 | 0, | 00 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 2,4 | 48 | 3, | 48 | 4,70 | | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,1 | 155 | 0,2 | 218 | 0,2 | 0,294 | |
| Co | Cons total KW / m ³ | | | 0,2 | 222 | | | |

A tabela 5-11 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 8 apartamentos em cada um deles.

| | Pavimentos | | | 1 | 2 | | | |
|-------|--------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|--|
| ĩcio | Ap / pav | | | | 8 | | | |
| Edif | Cons. diário (l) por zona | | | | | | | |
| | Zona de pressão | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | Modelo | MVI1602-6 | | MVI | 603-6 | MVI1604-6 | | |
| | H necessária (m) | 24,2 | | 37 | 37,4 | | 50,6 | |
| Bomba | Características de operação | m³/h | RPM | m³/h | m³/h | RPM | m³/h | |
| | Vazão máxima | 21,20 | 3500 | 20,57 | 21,20 | 3500 | 20,57 | |
| | 75% da vazão máxima | 15,90 | 3249 | 15,43 | 15,90 | 3249 | 15,43 | |
| | 50% da vazão máxima | 10,60 | 3103 | 10,29 | 10,60 | 3103 | 10,29 | |
| | 25% da vazão máxima | 5,30 | 3041 | 5,14 | 5,30 | 3041 | 5,14 | |
| | Consumo energético | K | W | KW | | KW | | |
| lação | Operação diária na faixa 1 | 2, | 06 | 2, | 2,79 | | 76 | |
| Simu | Operação diária na faixa 2 | 2, | 24 | 3, | 37 | 4, | 55 | |
| | Operação diária na faixa 3 | 0, | 00 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| 0 | Consumo diário (KW) | 4, | 30 | 6, | 6,16 | | 8,31 | |
| unsuo | Consumo KW / m ³ | 0,1 | 134 | 0,1 | 193 | 0,260 | | |
| Coi | Cons total KW / m ³ | | 0,196 | | | | | |

Tabela 5-11 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão

Finalmente, a tabela 5-12 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um deles.

Pavimentos 12 Edifício 12 Ap / pav Cons. diário (l) por zona 48000 1 2 3 Zona de pressão MVI1603-6 MVI1604-6 MVI1605-6 Modelo H necessária (m) 24,2 37,4 50,6 Características de operação m³/h RPM m³/h RPM m³/h RPM Bomba Vazão máxima 27,53 3500 27,35 3500 25,27 3500 75% da vazão máxima 20,65 3030 20,51 3143 18,95 3140 50% da vazão máxima 13,77 2687 13,68 2828 12,64 2894 25% da vazão máxima 6,88 2506 6,84 2675 6,32 2767 Consumo energético KW KW KW Simulação Operação diária na faixa 1 2,02 2,97 3,75 Operação diária na faixa 2 3,35 5,14 6,40 0,00 0,00 0,00 Operação diária na faixa 3 Consumo diário (KW) 5,37 8,11 10,15 Consumo Consumo KW / m³ 0,112 0,169 0,211 Consumo total 0,164

Tabela 5-12 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um esistema RI dividido em 3 zonas de pressão

5.3.3 Edificações com 16 pavimentos.

A tabela 5-13 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um deles. As edificações com 16 pavimentos foram divididas em 4 zonas de pressão.

Pavimentos 16 Edifício 4 Ap / pav 16000 Cons. diário 2 Zona de pressão 1 3 4 Modelo MVI1602-6 MVI1603-6 MVI1604-6 MVI1605-6 H necessária (m) 24,2 37,4 50,6 63,8 RPM Carac. de operação m³/h RPM m³/h RPM m³/h m³/h RPM Bomba Vazão máxima 21,2 3500 20,57 3500 20,87 3500 20,57 3500 75% da vazão max 15,9 3250 15,43 3280 15,65 3266 15,43 3332 50% da vazão max 10,29 3147 3199 10,6 3103 10,43 3131 10,28 3030 5,14 3078 3068 5,14 25% da vazão max 5,3 5,22 3133 Consumo energético KW KW KW KW Simulação Op. diária na faixa 1 3,47 5,91 2,35 4,67 Op. diária na faixa 2 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 Op. diária na faixa 3 0,00 Cons. diário (KW) 2,35 3,47 4,67 5,91 Consumo Consumo KW / m³ 0,147 0,217 0,292 0,370 Cons. total KW/m³ 0,256

Tabela 5-13 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

A tabela 5-14 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 16 pavimentos com 8 apartamentos em cada um deles.

| | sistema RI dividido em 4 zonas de pressão | | | | | | | | |
|----------|---|-------|---|---|---|--|--|--|--|
| | Pavimentos | | 1 | 6 | | | | | |
| Edifício | Ap / pav | 8 | | | | | | | |
| | Cons. diário (l) | 32000 | | | | | | | |
| | Zona de pressão | 1 2 | | 3 | 4 | | | | |
| | | | | | | | | | |

Tabela 5-14 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

| щ | Cons. diario (1) | | | | 320 | <u> </u> | | | | |
|-------|-------------------------------|------|-----------|-------|-----------|----------|-----------|-------|-----------|--|
| | Zona de pressão | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | Modelo | MVII | MVI1602-6 | | MVI1603-6 | | MVI1604-6 | | MVI1605-6 | |
| | H necessária (m) | 24 | 24,2 | | 37,4 | | 50,6 | | 63,8 | |
| | Carac. de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | |
| 3omba | Vazão máxima | 21,2 | 3500 | 20,57 | 3500 | 21,2 | 3500 | 20,57 | 3500 | |
| Ι | 75% da vazão max | 15,9 | 3250 | 15,43 | 3280 | 15,9 | 3250 | 15,43 | 3280 | |
| | 50% da vazão max | 10,6 | 3103 | 10,29 | 3147 | 10,6 | 3103 | 10,29 | 3147 | |
| | 25% da vazão max | 5,3 | 3030 | 5,14 | 3078 | 5,3 | 3030 | 5,14 | 3078 | |
| | Consumo energético | KW | | KW | | KW | | KW | | |
| lação | Op. diária na faixa 1 | 1, | 95 | 2, | 2,78 | | 3,75 | | 4,73 | |
| Simu | Op. diária na faixa 2 | 2, | 24 | 3, | 36 | 4, | 52 | 5, | 80 | |
| | Op. diária na faixa 3 | 0, | 00 | 0, | 00 | 0, | 00 | 0, | 00 | |
| 0 | Cons. diário (KW) | 4, | 19 | 6, | 14 | 8, | 27 | 10 | ,53 | |
| onsum | Consumo KW / m ³ | 0,1 | 131 | 0,1 | 0,192 | | 0,258 | | 0,329 | |
| 0 | Cons. total KW/m ³ | | 0,228 | | | | | | | |

Finalmente, a tabela 5-12, demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um deles.

| Edifício | Pavimentos | 16 | | | | | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | Ap / pav | 12 | | | | | | | |
| | Cons. diário (l) | 48000 | | | | | | | |
| | Zona de pressão | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Bomba | Modelo | MVI1603-6 | | MVI1604-6 | | MVI1605-6 | | MVI1606-6 | |
| | H necessária (m) | 24,2 | | 37,4 | | 50,6 | | 63,8 | |
| | Carac. de operação | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM | m³/h | RPM |
| | Vazão máxima | 27,11 | 3500 | 26,43 | 3500 | 25,27 | 3500 | 24,36 | 3500 |
| | 75% da vazão max | 20,33 | 3012 | 19,82 | 3237 | 18,95 | 3140 | 18,27 | 3190 |
| | 50% da vazão max | 13,56 | 2679 | 13,21 | 2812 | 12,64 | 2894 | 12,18 | 2973 |
| | 25% da vazão max | 6,78 | 2504 | 6,61 | 2673 | 6,32 | 2767 | 6,09 | 1868 |
| Simulação | Consumo energético | KW | | KW | | KW | | KW | |
| | Op. diária na faixa 1 | 4,69 | | 3,01 | | 3,88 | | 5,03 | |
| | Op. diária na faixa 2 | 0,97 | | 5,05 | | 6,62 | | 8,33 | |
| | Op. diária na faixa 3 | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | |
| Consumo | Cons. diário (KW) | 5,66 | | 8,06 | | 10,50 | | 13,37 | |
| | Consumo KW / m ³ | 0,118 | | 0,168 | | 0,219 | | 0,279 | |
| | Cons. total KW/m ³ | 0,196 | | | | | | | |

Tabela 5-15 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

5.3.4 Síntese dos resultados - sistema RI com divisão em zonas de pressão

Por adotar moto-bombas da mesma família, o sistema RI com divisão em zonas de pressão caracterizou o aumento da eficiência conforme aumento da demanda.

A figura 5-3 a seguir demonstra os valores de consumo apurados durante as simulações:



Figura 5-3 - Consumo energético no sistema RI com divisão em zonas de pressão Fonte: autor

Esse sistema foi o que apresentou resultados mais satisfatórios dentre os analisados, mostrando claramente a tendência da diminuição do consumo com o aumento da vazão da bomba.

Além disso, foi o que apresentou a menor relação KW/M³ elevado, mostrando-se, portanto, como sendo o mais eficiente entre os sistemas estudados.

6 ANÁLISE CONCLUSIVA E COMENTÁRIOS

Com os resultados obtidos nas simulações no *Simulink* foi possível conhecer as características de operação e do consumo energético dos principais sistemas de abastecimento prediais existentes no Brasil.

A figura 6-1 mostra o resultado comparativo final entre as médias de consumo energético agrupadas em edificações de mesmo número de pavimentos.



Figura 6-1 - Resultado comparativo entre as médias de consumo das edificações

O trabalho alcança seu objetivo principal na análise da ilustração acima, que leva à conclusão que, dentre os aplicáveis no Brasil, o sistema RI com divisão em zonas de pressão é o mais eficiente.

Os resultados das simulações remetem ao fato de que a principal razão disso é a divisão do abastecimento predial em segmentos que aplicam bombas menores que, por sua vez, consomem energia apenas para a realização do trabalho de elevar água até o pavimento mais alto da zona abastecida.

Em contrapartida, os sistemas RI-RS e RI com zona única consomem energia para elevar água até o último pavimento da edificação. Essa característica comum justifica os resultados bastante próximos obtidos pelos dois sistemas durante as simulações realizadas.

Nos sistemas RI-RS e RI com zona única, a energia adicional consumida para elevar a água a alturas maiores é, depois, dissipada nos dispositivos para redução da pressão que são instalados em cada pavimento para se obter a pressão de abastecimento dentro de valores seguros e confortáveis ao usuário final.

Um fato importante demonstrado nos resultados é o sobre dimensionamento obtido através do método dos pesos para as bombas que operam no sistema RI. Como necessitam atender os picos da demanda no abastecimento, essas bombas possuem capacidade disponível muito maior que a vazão efetivamente bombeada na maior parte do tempo.

Esse fato leva a bomba à operação com menor rendimento, daí a razão das edificações com menor número de apartamento por pavimento consumir mais energia por metro cúbico de água bombeada em relação às que possuem maior número de unidades atendidas.

Assim, com vistas à melhoria na eficiência do sistema RI, os projetistas de sistemas prediais devem sempre agrupar o maior número possível dos pontos de consumo que necessitam da mesma altura manométrica, e, portanto, que possam ser abastecidos pela mesma bomba.

Por exemplo, os projetos para os sistemas de abastecimento de conjuntos prediais, podem utilizar a mesma unidade de bombeamento para abastecer zonas de pressão correlatas de edificações diferentes.

Outra possibilidade é a divisão da vazão máxima instantânea em duas ou mais bombas operando em cascata. Desta maneira, a capacidade total de bombeamento continua a respeitar o estabelecido pela norma NBR5626:1998, no entanto, as bombas, sendo menores, operam utilizando uma parcela maior da sua capacidade.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Recomenda-se para estudos futuros, a ampliação deste trabalho, incluindo o modelamento dos motores elétricos junto dos seus dispositivos de comando e/ou controle.

Da mesma maneira, sugere-se desenvolver sistemas de controle que promovam a operação das moto-bombas nas faixas de melhor rendimento, observando o comportamento sazonal do consumo de água nas edificações.
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.W.CHESTERTON. Pump Principles Manual. Massachusetts USA, 2000.

ALÉ, J. A. V. **Sistemas Fluidomecânicos**. Porto Alegre/RS Brasil, 2010. Apostila da disciplina de Máquinas de Fluxo - Faculdade de Engenharia de Controle e Automação - PUC-RS

ALMEIDA, A. T. Caracterização de consumos de energia - Relatório de Auditoria Energética. Coimbra, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5626 Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro/RJ, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12211 Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ, 1992.

BACHUS, L. Know and Understanding Centrifugal Pumps. 2.ed. Elsevier, New York, 2003.

BARRETO, D. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água**. In: Congresso Ambiente Construído, Anais, v.8, n.2, p.23-40, abr./jun Porto Alegre/RS, 2008.

BASSO, L. H. **Escoamento em condutos forçados**. Cascavel/PR Brasil, 2006. Apostila da disciplina de Instalações Hidráulicas Residencias e Prediais - Curso de Engenharia Civil - Faculdade Assis Gurgacz,

CHAGURI JR., J. J. Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: Parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. 2009. Dissertação (Mestrado) Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP

COURA S.P., Técnicas de operação em sistemas de bombeamento de água, a conta de energia elétrica no saneamento. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasilia/DF, 2007.

DUTRA J.B.A. Eficiência energética no controle de vazão em sistemas de bombeamento de água: uso da válvula e controle de velocidade. Paraíba do Sul , 2005

GIRDHAR, P. **Practical Centrifugal Pumps - Design operation and maintenance** 1.ed.. Elsevier, Burlington USA, 2005

GOMES, Heber Pimentel. Eficiência hidráulica e energética em saneamento - Análise econômica de projetos. 2^a. ed. Editora Universitária, João Pessoa/PB, 2005.

GURGEL, B. Proposição de uma metodologia para avaliação de inversores de frequencia em estações elevatórias de água. 2006. Dissertação (Mestrado), Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.

HAESTAD, M. Advanced Water Distribution Modeling and Management.1.ed. Haestad Methods Inc., Waterbury USA, 2003.

HYDRAULIC INSTITUTE STANDARDS. For centrifugal rotary & reciprocating pumps. 14th ed., Cleveland, Ohio, 1983.

ILHA, M. S. D. O. **Sistemas Prediais de água fria**. 1994. Texto Técnico, Escola Politecnica da Universidade de São Paulo SP, São Paulo/SP.

KARASSIK, I. J. The Pump Handbook. McGraw-Hill, New York, 1986.

MESQUITA, A. L. A. Utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia. In: VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. Anais. João Pessoa/PB.

NETTO, A. Manual de Hidráulica.8 ed. Blucher, 1998. São Paulo/SP

SIEMENS LTDA. Motores elétricos Siemens e a economia de energia. São Paulo/SP: Siemens Ltda., 2005.

TSUTIYA, M. T., Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da universidade de São Paulo. 3 ^a Edição. São Paulo, 2006.

WEG S.A. Motores de Indução Alimentados por Inversores de Frequência PWM. Jaraguá do Sul / SC: Weg S.A., 2009.

WILO AG. Fundamental Principles of pump technology. Wilo AG, Dortmund, 2005.

WILO AG. Pressure Boosting Technology. Wilo AG, Dortmund, 2008

WILO AG. **High Pressure Multistage Centrifugal Pumps**. Catalogue A3. Wilo AG, Dortmund, 2008

ANEXO I: Tabela dos comprimentos equivalentes para cálculo de perdas de carga nas tubulações.



MANUAL TÉCNICO

| | TABELA 7 - PERDA DE CARGA EM ACESSORIOS | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|----------|------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|------|------|
| Tabela de perda | Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização | | | | metros | | | | | | |
| course lo | | | Diân | netro nor | minal X E | quivalênc | ia em me | etros de o | analizaçã | io | |
| CONEXAO | | MATERIAL | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2" | 2 1/2" | 3" | 4" | 5" |
| | CII. | PVC | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 |
| Curva 90° | Ħ | Metal | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 2,1 |
| 0 | \wedge | PVC | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| Curva 45° | Æ | Metal | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| lealba 00 ⁰ | | PVC | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 3,2 | 3,4 | 3,7 | 3,9 | 4,3 | 4,9 |
| Joeino 50° | Ľ, | Metal | 0,7 | 0,8 | 1,1 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 2,5 | 3,4 | 4,2 |
| loolbo 450 | \wedge | PVC | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,5 |
| JOHINO 45" | 4 | Metal | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,9 |
| Tê de passagem | ÷. | PVC | 0,8 | 0,9 | 1,5 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 3,3 |
| direta | Ψ | Metal | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 2,1 | 2,7 |
| Tê de salda | Dr | PVC | 2,4 | 3,1 | 4,6 | 7,3 | 7,6 | 7,8 | 8,0 | 8,3 | 10,0 |
| lateral | 1,Com | Metal | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 3,5 | 4,3 | 5,2 | 6,7 | 8,4 |
| Tê de salda | ŕħ | PVC | 2,4 | 3,1 | 4,6 | 7,3 | 7,6 | 7,8 | 8,0 | 8,3 | 10,0 |
| bilateral | Ę. | Metal | 1,4 | 1,7 | 2,3 | 2,8 | 3,5 | 4,3 | 5,2 | 6,7 | 8,4 |
| Uplão | m. | PVC | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| oniao | ₩ | Metal | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| Salda de | Te? | PVC | 0,9 | 1,3 | 1,4 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 4,9 |
| canalização | - | Metal | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 3,2 | 4,0 |
| Luva de | л | PVC | 0,3 | 0,2 | 0,15 | 0,4 | 0,7 | 0,8 | 0,85 | 0,95 | 1,2 |
| redução (*) | | Aço | 0,29 | 0,16 | 0,12 | 0,38 | 0,64 | 0,71 | 0,78 | 0,9 | 1,07 |
| Registro de gaveta | A | PVC | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| ou esfera aberto | 101 | Metal | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| Registro de giobo aberto | Ā | Metal | 6,7 | 8,2 | 11,3 | 13,4 | 17,4 | 21,0 | 26,0 | 34,0 | 43,0 |
| Registro de ânguio aberto | 4 | Metal | 3,6 | 4,6 | 5,6 | 6,7 | 8,5 | 10,0 | 13,0 | 17,0 | 21,0 |
| Válvula de pé | A | PVC | 9,5 | 13,3 | 15,3 | 18,3 | 23,7 | 25,0 | 26,8 | 28,8 | 37,4 |
| com crivo | 10 | Metal | 5,6 | 7,3 | 10,0 | 11,6 | 14,0 | 17,0 | 22,0 | 23,0 | 30,0 |
| P of Horizontal | ч°р | Metai | 1,6 | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 4,2 | 5,2 | 6,3 | 6,4 | 10,4 |
| Vertical | 4 | Metal | 2,4 | 3,2 | 4,0 | 4,8 | 6,4 | 8,1 | 9,7 | 12,9 | 16,1 |

OBSERVAÇÕES:

a - Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Targa da Tigre para PVC rigido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

b - (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concentricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

Ex.: 1.1/4" x 1" - 1.1/2" x 1.1/4"

Fonte: Manual Técnico – Schneider Bombas.

ANEXO II: Destaque de catálogo do fabricante de tubos hidráulicos de PPR Amanco

Soluções Amanco

PRODUTOS



| DN | d | D | Α |
|-----|-----|------|------|
| 32 | 32 | 26,2 | 3000 |
| 40 | 40 | 32,6 | 3000 |
| 50 | 50 | 40,8 | 3000 |
| 63 | 63 | 51,4 | 3000 |
| 75 | 75 | 61,4 | 3000 |
| 90 | 90 | 73,6 | 3000 |
| 110 | 110 | 90 | 3000 |



05



Tubo PPR PN 12 para Água Fria Tubo identificado

pela linha azul

| Comprimento | Código | e | Bitola | Embal. |
|-------------|--------|-----|--------|--------|
| 3 m | 17711 | 2,9 | 32 | 10 |
| 3 m | 17712 | 3,7 | 40 | 05 |
| 3 m | 17714 | 4,6 | 50 | 05 |
| 3 m | 17716 | 5,8 | 63 | 04 |
| 3 m | 17718 | 6,8 | 75 | 03 |
| 3 m | 17720 | 8,2 | 90 | 02 |
| 3 m | 17722 | 10 | 110 | 01 |

e = Espessura de parede (mm)

Tubo PPR PN 20

Tubo identificado pela linha amarela



| Comprimento | Código | е | Bitola | Embal. |
|-------------|--------|------|--------|--------|
| 3 m | 17724 | 2,8 | 20 | 25 |
| 3 m | 17725 | 3,5 | 25 | 25 |
| 3 m | 17726 | 4,4 | 32 | 10 |
| 3 m | 17727 | 5,5 | 40 | 05 |
| 3 m | 17729 | 6,9 | 50 | 05 |
| 3 m | 17731 | 8,6 | 63 | 04 |
| 3 m | 17733 | 10,3 | 75 | 03 |
| 3 m | 17735 | 12,3 | 90 | 02 |
| 3 m | 17737 | 15,1 | 110 | 01 |

e = Espessura de parede (mm)

Tubo PPR PN 25 Tubo identificado

pela linha vermelha



| Comprimento | Código | е | Bitola | Embal. |
|-------------|--------|------|--------|--------|
| 3 m | 17739 | 3,4 | 20 | 25 |
| 3 m | 17740 | 4,2 | 25 | 25 |
| 3 m | 17741 | 5,4 | 32 | 10 |
| 3 m | 17742 | 6,7 | 40 | 05 |
| 3 m | 17744 | 8,4 | 50 | 05 |
| 3 m | 17746 | 10,5 | 63 | 04 |
| 3 m | 17748 | 12,5 | 75 | 03 |
| 3 m | 17750 | 15,0 | 90 | 02 |
| 3 m | 17752 | 18,3 | 110 | 01 |

e = Espessura de parede (mm)

d

| DN | d | D | Α | В |
|-----|-------|-------|----|------|
| 20 | 28 | 19 | 34 | 15 |
| 25 | 34 | 23,8 | 37 | 16,5 |
| 32 | 43 | 30,7 | 41 | 18,5 |
| 40 | 54,1 | 39 | 46 | 21 |
| 50 | 67,5 | 48,9 | 52 | 24 |
| 63 | 85,1 | 61,9 | 60 | 28 |
| 75 | 101,2 | 74,3 | 69 | 31,5 |
| 90 | 121,2 | 89,3 | 79 | 36 |
| 110 | 148 | 109,4 | 92 | 42 |
| | | | | |





| Cóc | ligo | | |
|-------|-------|--------|--------|
| SCB | CCB | Bitola | Embal. |
| 13324 | 14200 | 20 | 10 |
| 13325 | 14201 | 25 | 10 |
| 13326 | 14202 | 32 | 10 |
| 14577 | 14571 | 40 | 05 |
| 14578 | 14572 | 50 | 02 |
| | 14573 | 63 | 01 |
| | 14574 | 75 | 01 |
| | 14575 | 90 | 01 |
| | 14576 | 110 | 01 |
| | | | |



64

DN

20

25 32

63

75

90 110

_ 40

_ 50 D A

14,4 3000 18 3000

54,4 3000

90 65,4 3000

110 69,8 3000

3000

3000 29

3000

d

20

40

50 36,2 45,8 3000

63

D A 13,2 3000 DN d 20

| DN | d | D | A |
|-----|-----|------|------|
| 20 | 20 | 13,2 | 3000 |
| 25 | 25 | 16,6 | 3000 |
| 32 | 32 | 21,2 | 3000 |
| 40 | 40 | 26,6 | 3000 |
| 50 | 50 | 33,4 | 3000 |
| 63 | 63 | 42 | 3000 |
| 75 | 75 | 50 | 3000 |
| 90 | 90 | 60 | 3000 |
| 110 | 110 | 73,4 | 3000 |
| | | | |

AMANCO inovação em tubos e conexões

ANEXO III: Modelos simulados no Simulink

SISTEMA RI/RS



SISTEMA RI 8 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO





SISTEMA RI COM 12 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO





SISTEMA RI COM 16 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO



SISTEMA RI COM 16 PAVIMENTOS E 4 ZONAS DE PRESSÃO

SISTEMA RICOM 16 PAVMENTOS 4 ZONAS DE PRESSÃO

