UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

THIAGO PEREIRA DA SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA IRRIGAÇÃO DE UMA PLANTAÇÃO DE GRAMA DO TIPO ESMERALDA EM UMA ÁREA COM 355 METROS QUADRADOS

OURO PRETO - MG
2018

THIAGO PEREIRA DA SILVA

ti_silper@hotmail.com

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA IRRIGAÇÃO DE UMA PLANTAÇÃO DE GRAMA DO TIPO ESMERALDA EM UMA ÁREA COM 355 METROS QUADRADOS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: MSc. Caio César de Souza Pereira

OURO PRETO – MG
2018

S586d Silva, Thiago Pereira da .

Dimensionamento de um sistema de bombeamento para utilização de águas pluviais na irrigação de uma plantação de grama do tipo esmeralda em uma área com 355 metros quadrados [manuscrito] / Thiago Pereira da Silva. - 2018.

89f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Água. 2. Água plúvia. 3. Irrigação. 4. Aspersores. 5. Grama . I. Pereira, Caio César de Souza. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 621

Catalogação: ficha.sisbin@ufop.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 07 dias do mês de Dezembro de 2018, às 15h 00min, no auditório, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Thiago Pereira da Silva, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira, Profª DSc. Elisângela Martins Leal e Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia. O candidato apresentou o trabalho intitulado: **"Dimensionamento de um sistema de bombeamento para utilização de águas pluviais na irrigação de uma plantação de grama do tipo esmeralda em uma área com 355 metros quadrados."**, sob orientação do Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) Aprovado.

Ouro Preto, 07 de Dezembro de 2018.

Caio César de Souza Pereira
Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira
Professor Orientador

Elisângela Martins Leal
Profª DSc. Elisângela Martins Leal
Professor Avaliador

Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia
Professor Avaliador

Thiago Pereira da Silva
Thiago Pereira da Silva

Aluno(a)

AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Liliane e Edison pela força e incentivo; pelo amor que sempre esteve presente na minha vida. E não menos à minha irmã Liz, força de inspiração para mim. Às minhas tias Beatriz, Gláucia, Miriam e Viviane pelo apoio.

Ao meu orientador Caio César, pela orientação neste trabalho e por todo auxílio prestado.

Aos irmãos que fiz na República Katapulta, minha segunda casa, local onde morei durante minha estadia em Ouro Preto e fui muito bem acolhido. Local onde me sinto bem e quero sempre retornar.

Agradeço imensamente às irmãs que fiz, Camila e Iolanda, pelos melhores momentos em Ouro Preto, sem elas essa caminhada teria sido infinitamente mais dolorosa.

Ao amigo e incentivador Irlei Alves, por proporcionar todo auxilio durante o curso.

E por fim, ao meu grande amigo João Carlos que esteve juntamente comigo nessa trajetória não medindo esforços para me ajudar sempre que necessário durante as longas noites de estudo e dedicação a este trabalho.

R E S U M O

SILVA, Thiago Pereira da. Dimensionamento de um sistema de bombeamento para utilização de águas pluviais na irrigação de uma plantação de grama do tipo esmeralda em uma área com 355 metros quadrados. Ouro Preto, 2018. Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Ouro Preto.

O presente trabalho realiza um estudo de caso por meio do dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão, utilizando águas pluviais. O projeto busca a irrigação de uma área de 355 m² dispostos em um jardim residencial, situado na cidade de Belo Horizonte, a partir do cálculo de toda a tubulação, bomba, motor de acionamento, aspersores e reservatório. A irrigação realizada atualmente ocorre de forma manual e utilizando água potável, sendo assim não usufrui de técnicas adequadas para ser realizada. Portanto, o trabalho buscou uma possibilidade real de aplicação de águas pluviais, para redução do consumo hídrico na residência de forma sustentável. Para tal, embasou-se na bibliografia acerca dos parâmetros de mecânica dos fluidos, hidráulica e também em referências sobre irrigação por aspersão. Utilizou-se do memorial de cálculo para selecionar os componentes ideais para atender todo o sistema. Realizou-se um estudo completo *in loco*, buscando as informações sobre a propriedade com o intuito de utilizar, sempre, no dimensionamento os dados reais para que futuramente ocorra a implantação do sistema, utilizando o recurso hídrico não potável. Calcularam-se as perdas de cargas do sistema e selecionou-se o PVC como material da tubulação. Utilizou-se um aspersor do tipo escamoteável, uma bomba centrífuga para suprir a vazão de 6,71 m³/h e altura de 27,37 m assim como um motor de acionamento de 1,5 cv. O reservatório necessário foi dimensionado e tem volume de 10000 litros. A seleção dos aspersores, bomba e motor de acionamento levou em consideração que a água utilizada é não potável.

Palavras-chave: água, água pluvial, irrigação, aspersores, grama, bomba, jardim residencial.

ABSTRACT

SILVA, Thiago Pereira da. *Sizing of a pumping system for the use of rainwater in the irrigation of an emerald grass plantation in an area of 355 square meters*. Ouro Preto, 2018. Graduation in Mechanical Engineering. Federal University of Ouro Preto.

The present work performs a case study by designing a sprinkler irrigation system using rainwater. The project seeks to irrigate an area of 355 m² arranged in a residential garden, located in the city of Belo Horizonte, from the selection of all tubing, pump, drive motor, sprinklers and reservoir. Currently irrigation occurs manually and using potable water, and therefore does not enjoy adequate techniques to be performed. Therefore the work sought a real possibility of application of rainwater, to reduce the water consumption in the residence in a sustainable way. For this, it was based on the bibliography on the parameters of fluid mechanics, hydraulics and also by references on irrigation by sprinkling. The calculation memorial was used to select the ideal components to suit the whole system. An on-site study was carried out, searching for the information about the property with the intention of always using in the sizing the actual data so that in the future the system implantation using the non-potable water resource will occur. The system losses were calculated and PVC was selected as the pipe material. A rotary type pump was used, a centrifugal pump to supply the flow rate of 6.71 m³ / h and height of 27.37 m as well as a drive motor of 1.5 cv. The required tank has been sized and has a volume of 10000 liters. The selection of the sprinklers, pump and drive motor took into account that the water used is not potable.

Keywords: water, rainwater, irrigation, sprinklers, grass, pump, residential garden.

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔH	Perda de carga [m]
D	Diâmetro [m]
Ør	Diâmetro recalque [m]
Ør	Diâmetro sucção [m]
f	Fator atrito [-]
$H_{sucção}$	Altura de sucção [m]
H_{rec}	Altura de recalque [m]
Hman	Altura Manométrica Total [m]
Leq	Comprimento equivalente [m]
γ	Peso específico [kgf/m³]
ρ	Massa específica [kg/m³]
P	Pressão [kgf/cm²]
Q	Vazão [m³/s]
μ	Viscosidade dinâmica [N·s/m²]
Re	Número de Reynolds [-]
D	Diâmetro [m]
Pot	Potência [cv]
η	Rendimento [-]
Ho	Desnível geométrico [m]
Pvapor	Pressão de vapor da água [m.c.a]
Plocal	Pressão atmosférica local [m.c.a]
NPSHd	Net Positive Suction HEAD (Disponível no sistema) [m]
NPSHr	Net Positive Suction HEAD (Requerido pela bomba) [m]

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: RELAÇÃO ENTRE ÁREA TERRITORIAL, DISPONIBILIDADE FÍSICA DA ÁGUA E DEMOGRAFIA PARA AS CINCO REGIÕES DO BRASIL. 2

FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL NUMA HABITAÇÃO. 3

FIGURA 3: CISTERNA DO POVO MAIA. INFORMAÇÕES: CAPACIDADE: 45.000 LITROS; DIÂMETRO 5 M, ÁREA DE CAPTAÇÃO: 150M², A ABERTURA É COBERTA POR UMA PEDRA COM UM BURACO NO MEIO ONDE SE ENCAIXA UM PINO DE MADEIRA, QUE SE RETRAI QUANDO CHOVE FONTE: GNADLINGER, 2000. 7

FIGURA 4: CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE CADA SETOR BRASILEIRO NA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL. 9

FIGURA 5: ASPERSOR *SPRAY* 1800 VAN, MODELO ESCAMOTEÁVEL. 13

FIGURA 6: ASPERSORES DO TIPO ROTATIVO IRRIGANDO CAMPO DE GOLFE. 14

FIGURA 7: SISTEMA ELEVATÓRIO DE ÁGUA. 17

FIGURA 8: ESCOAMENTO LAMINAR. 22

FIGURA 9: ESCOAMENTO TURBULENTO. 22

FIGURA 10: RUGOSIDADE MÉDIA EM FUNÇÃO DOS MATERIAIS. 24

FIGURA 11: ÁBACO DE MOODY 25

FIGURA 12: COMPRIMENTOS EQUIVALENTES DE CADA ACESSÓRIO 29

FIGURA 13: ALTURA MANOMÉTRICA DE UMA INSTALAÇÃO ELEVATÓRIA DE CARGA 30

FIGURA 14: BOMBA DO TIPO CENTRÍFUGA RADIAL ENFATIZANDO A ENTRADA E SAÍDA DO FLUIDO 32

FIGURA 15:BOMBA DE FLUXO MISTO. 33

FIGURA 16: BOMBA DE FLUXO AXIAL, FUNCIONAMENTO ATRAVÉS FORMAÇÃO VÓRTICES. 34

FIGURA 17: BOMBA ALTERNATIVA COM PISTÃO DE DUPLO EFEITO. 35

FIGURA 18: BOMBA ALTERNATIVA DE ÊMBOLO. 36

FIGURA 19: MAPA DAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE. 44

FIGURA 20: DELIMITAÇÃO DA ÁREA A SER IRRIGADA EM VERMELHO. 45

FIGURA 21: MODELO ASPERSOR RD04 – SAM – 18VAN 47

FIGURA 22: RUGOSIDADE MÉDIA PARA DIVERSOS MATERIAIS. 50

FIGURA 23: ILUSTRAÇÃO PARA DEMONSTRAR O DESNÍVEL GEOMÉTRICO DE 5 M NAS LATERAIS DO MURO ESQUERDO.....53
FIGURA 25: MEGANORM 050-32–250.1.....55
FIGURA 26: SELEÇÃO DA BOMBA CENTRÍFUGA. 55
FIGURA 27: SELEÇÃO DO ROTOR PARA O MODELO ESPECIFICADO.....56
FIGURA 28: NPSHR DA BOMBA SELECIONADA. 56
FIGURA 29: POTÊNCIA DA BOMBA SELECIONADA. 57
FIGURA 30: CURVA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA 59
FIGURA 31: INVERSOR DE FREQUÊNCIA CFW08 1,5 C.V.....61
FIGURA 32: CISTERNA ACQUALIMP 10000 LITROS. 62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: EXIGÊNCIAS MÍNIMAS PARA ÁGUA NÃO POTÁVEL PARA AS ATIVIDADES REALIZADAS 16
TABELA 2: VARIÁVEIS E INDICADORES 42
TABELA 3: INFORMAÇÕES DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE. 45
TABELA 4: CONSUMO HÍDRICO PARA IRRIGAÇÃO DO GRAMADO. 46
TABELA 5: INFORMAÇÕES VAZÃO E TEMPO DE OPERAÇÃO 48
TABELA 6: INFORMAÇÕES DIÂMETRO (M) E VELOCIDADE (M/S) 49
TABELA 7: INFORMAÇÕES DIÂMETRO (M) E VELOCIDADE (M/S). 49
TABELA 8: INFORMAÇÕES DIÂMETRO (M) E NÚMERO DE REYNOLDS 50
TABELA 9: FATOR DE ATRITO EM FUNÇÃO RUGOSIDADE RELATIVA E NUMERO REYNOLDS. 51
TABELA 10: COMPRIMENTOS EQUIVALENTES (SUCÇÃO) 51
TABELA 11: COMPRIMENTOS EQUIVALENTES (RECALQUE). 52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Formulação do Problema 1

1.2 Justificativa 4

1.3 Objetivos 5

1.3.1 Geral 5

1.3.2 Específicos 6

1.4 Estrutura do trabalho 6

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7

2.1 Aproveitamento de águas pluviais 7

2.2 Normas vigentes e legislação 10

2.3 Sistemas de irrigação 11

2.3.1 Aspersores *Spray*s 13

2.4 Qualidade da água pluvial para fins não potáveis 15

2.5 Instalações elevatórias 17

2.5.1 Parâmetros da mecânica dos fluídos aplicada ao escoamento em tubulações 19

2.5.2 Escoamentos de fluidos, Número de Reynolds e Fator de Atrito 22

2.5.2.1 Escoamento Laminar 22

2.5.2.2 Escoamento Turbulento 22

2.5.2.3 Número de Reynolds 22

2.5.2.4 Rugosidade relativa em tubulações 23

2.5.2.5 Fator de atrito 24

2.6 Perdas de Carga na Tubulação 25

2.6.1 Perdas de Carga Distribuída no Escoamento Turbulento 26

2.6.2 Perdas de Carga Distribuída no Escoamento Laminar 26

2.6.3 Perdas de carga localizada no escoamento 27

2.6.3.1 Método Direto 27

2.6.3.2 Método do Comprimento Equivalente 28

2.7 Definição da altura manométrica do sistema 29

2.8 Bombas e suas aplicações 30

2.8.1 Bombas dinâmicas 31
2.8.1.1 Bomba radial 32
2.8.1.2 Bomba de fluxo misto 32
2.8.1.3 Bomba axial 33
2.8.2 Bombas de deslocamento positivo 34
2.8.2.1 Bombas alternativas 35
2.8.2.2 Bombas rotativas 35
2.9 Reservatório 36

3 METODOLOGIA 39
3.1 Tipo de pesquisa 39
3.2 Materiais e Métodos 40
3.3 Variáveis e Indicadores 42
3.4 Instrumento coleta de dados 42
3.5 Tabulação de dados 43
3.6 Considerações finais 43

4 RESULTADOS 44
4.1 Característica da Propriedade Residencial 44
4.2 Definição da vazão volumétrica necessária 46
4.3 Seleção tecnologia 46
4.4 Dimensionamento dos diâmetros das tubulações 48
4.4.1 Determinação do Regime de Escoamento 50
4.4.2 Determinação do Coeficiente de Atrito f 50
4.4.3 Cálculo comprimentos virtuais tubulação 51
4.4.3.1 Tubulação sucção 51
4.4.3.2 Tubulação recalque 52
4.5 Altura manométrica total 53
4.6 Pressão na tubulação 54
4.7 Seleção da bomba 54
4.8 Verificação de ocorrência da cavitação 57
4.9 Curva característica do sistema 58
4.10 Seleção do motor de acionamento do conjunto 60
4.10.1 Seleção do inversor de frequência 61

4.11 Seleção do reservatório 61

5 CONCLUSÃO 63

5.1 Conclusões 63

5.2 Trabalhos futuros 64

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Um dos maiores problemas da sociedade atual diz respeito à decrescente disponibilidade da água. Em algumas partes do planeta essa escassez é decorrente do aumento do consumo desse recurso energético, ocasionado pelo acentuado crescimento populacional. Em outras partes do mundo, a problemática da falta de água deve-se às desigualdades sociais, que fazem com que populações mais pobres não tenham acesso a este recurso.

Estima-se que apenas 0,3% de toda a abundância de água existente no planeta possa ser utilizada pelos seres humanos para a manutenção na vida, sendo que o restante, os 99,7%, estão nos oceanos, solos, calotas polares e flutuando na atmosfera por meio de gases (ANA, 2013).

Segundo o relatório da UNESCO (2018) a demanda mundial por água vem aumentando em um ritmo de aproximadamente 1% ao ano, variando de acordo com o aumento demográfico, com o desenvolvimento econômico e com as diversas mudanças nos padrões de consumo. Estes dados encontram-se em constante mudança e sendo estimado um crescimento significativo para as próximas décadas, principalmente nos países em que a economia ainda está em desenvolvimento, como no caso do Brasil.

Em relação a toda essa estimativa sobre a distribuição de água no planeta Terra, a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013) estima que o Brasil possui 12% do total de água doce disponível para consumo no mundo. Em contrapartida, a má distribuição do recurso é uma adversidade de toda essa quantidade disponível, uma vez que aproximadamente 70% do recurso está localizada na região Norte, ou seja, onde existe o menor índice demográfico do país, representando pouco mais de 5% de toda a população brasileira.

Ainda segundo a ANA (2013), as regiões onde se concentram 45% de habitantes do país, localizadas próximo ao Oceano Atlântico, estão presentes apenas 5% do total do recurso hídrico nacional.

A Figura 1 representa claramente a relação entre a área territorial, disponibilidade física da água e demografia regional das cinco grandes regiões brasileiras.

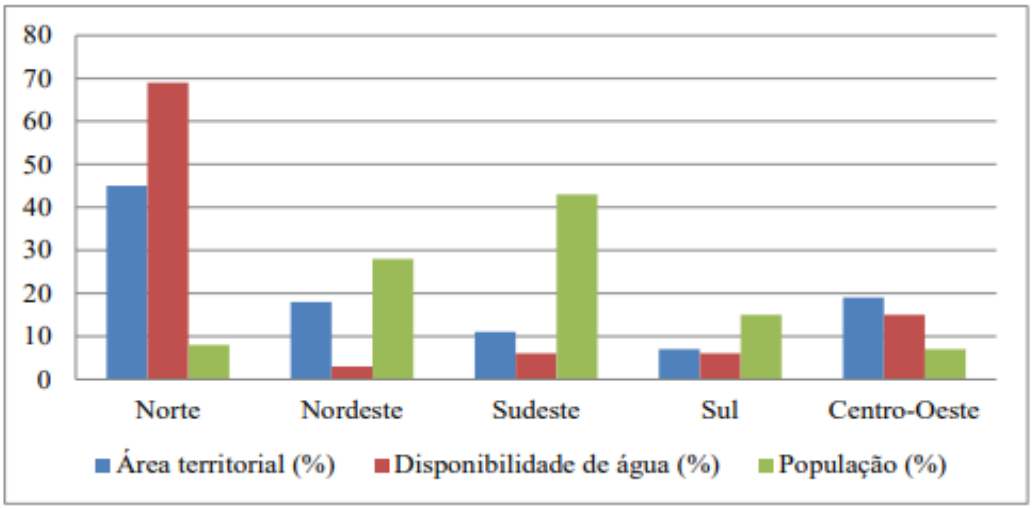

Figura 1: Relação entre área territorial, disponibilidade física da água e demografia para as cinco regiões do Brasil.
Fonte: ANA, 2013.

A figura evidencia a relação de disparidade oferta/demanda comentada anteriormente, nas diferentes regiões brasileiras. Observa-se maior disparidade nas Regiões Norte e Sudeste.

Devido a essa incompatibilidade da relação disponibilidade hídrica com a demografia, a mitigação pela utilização da água de forma mais consciente e o reaproveitamento em outros processos que demandam uma pureza menor do recurso está sendo amplamente investigada. Para comprovar a escassez do recurso, a Organização das Nações Unidas (ONU, 2017) emitiu um relatório acerca do assunto. Segundo os dados coletados, a atual população mundial é estimada em 6,5 bilhões de pessoas e pode chegar à marca de 9 bilhões até 2050, o que irá com toda certeza, sobrecarregar todo o abastecimento mundial de água. Ainda segundo a ONU, diversos países e centros urbanos já sentem essa ausência e o encarecimento do recurso essencial para a vida.

Para promover ações educativas e soluções para enfrentar a presente e futura escassez de água estão sendo trabalhados meios para controle da natalidade. No entanto, a proposta fundamentada pela ONU (2017) como a mais viável para contornar o problema da escassez de água potável é a utilização de técnicas de aproveitamento de água, promovendo projetos socioeducativos visando à redução de desperdícios.

Uma das formas de se reduzir o consumo da água potável seria realizar a captação do recurso oriundo da precipitação atmosférica, ou seja, das águas pluviais e reutilizá-la para fins onde a potabilidade não é requerida.

Segundo John (2003), o consumo de águas potáveis utilizadas residencialmente, incluindo lavagem de veículos automotores, irrigação de áreas verdes e atividades domésticas pode chegar a 9% de todo o consumo mundial, sendo que mais de 50% da água utilizada nas residências é justamente para fins que não exigem potabilidade. Ou seja, a falta de conscientização da população e de projetos que incentivem a utilização de águas pluviais é um ponto de fragilidade no que se refere a política do consumo energético mundial, de forma geral.

O Japão é, segundo Tomaz (2003), o país que mais promove estudos quanto à utilização de águas pluviais por meio de sistemas instalados em residências, buscando a captação e armazenamento do recurso. Visando sumariamente à redução de custos e de consumo, o país vem se mostrando como uma grande potência no que se refere ao aproveitamento das águas pluviais. O desperdício do recurso potável para atividades onde a qualidade da água não é requerida deve ser enfrentado seriamente, sobretudo na atualidade, quando a escassez é cada vez mais iminente.

A utilização da água pluvial é perfeitamente viável, e pode ser fundamentada pela análise da Figura 2 que informa o percentual de água potável gasto na realização de tarefas domésticas, que poderiam ser realizadas com a utilização da água captada durante a chuva.

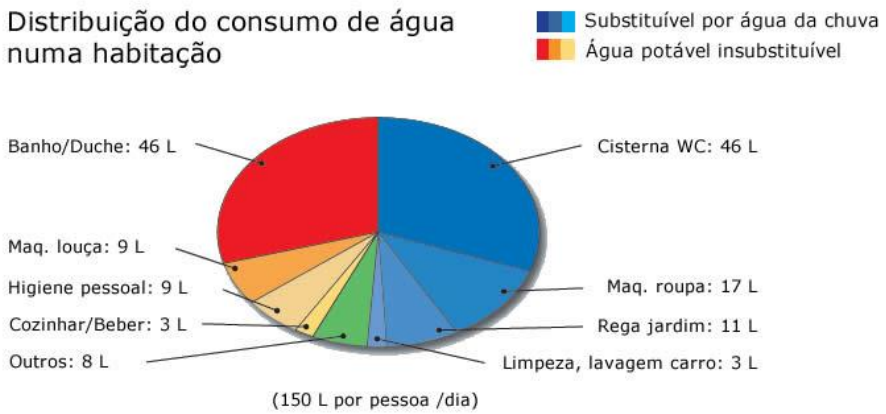

Figura 2: Distribuição do consumo de água potável numa habitação.
Fonte: Levantamento IWA - Associação Internacional da Água (2015).

Analisando ainda o levantamento realizado pela International Water Association - IWA (2015), percebe-se que em uma habitação residencial, mais de 50% da água potável poderia ser facilmente substituída por um recurso não potável.

Toda a utilização de águas pluviais torna-se possível devido à facilidade de aplicação do sistema, aos baixos custos com manutenção e ao tratamento das águas captadas não potáveis. O sistema de captação pode ser realizado por meio de adaptação nos mais diversos tipos de edificações verticais e residenciais existentes nos grandes centros urbanos. Adotando-se o sistema, as vantagens são iminentes e dentre elas citam-se:

(a) Redução da demanda de água fornecida pelas companhias de abastecimento;
(b) Diminuição dos custos por parte do consumidor;
(c) Redução de enchentes uma vez, que reduz a sobrecarga nas redes de esgoto.

Diante deste contexto, o trabalho em questão é voltado para o aproveitamento do recurso hídrico pluvial, aplicando o sistema em um projeto visando somente à irrigação de um jardim, com a plantação da grama do tipo Esmeralda. O sistema utiliza a água pluvial armazenada em um reservatório enterrado e tem o intuito de irrigar os 355 m² de área verde da residência.

Por meio do embasamento e da problemática quanto à diminuição do consumo de água potável para fins não potáveis faz-se necessário responder a seguinte pergunta:

Como realizar o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água pluvial para irrigação de uma plantação de grama do tipo Esmeralda em um jardim residencial com 355 m²?

1.2 Justificativa

O abastecimento de água para o consumo da população humana foi motivo de preocupação desde os primórdios da civilização. Segundo Figueiredo (2007) a relação homem-água contribuiu de forma decisiva para que a maioria das ocupações humanas acontecessem perto de rios, mares e lagos, tudo isto para facilitar a utilização da água na alimentação e transporte de suprimentos.

Atualmente, diversos órgãos responsáveis pelas questões socioambientais estão levantando como pauta principal, a problemática da utilização consciente da água e

promovendo formas de evitar a extinção desse recurso, o que poderia levar ao colapso da sociedade.

Segundo a ONU (2017), a falta de água potável é um dos maiores e sem sombra de dúvidas, o mais grave de todos os problemas previstos para o futuro. O risco da concretização desse cenário é acentuado devido à má utilização, ao crescimento exacerbado da população e a ao desperdício, conforme dito anteriormente. Diante do exposto, todas as ações que visam à utilização do recurso hídrico não potável tornam-se relevantes e necessárias.

Com o crescimento das áreas urbanas, a busca pelo lazer e pelas chamadas *áreas verdes* vem aumentando, uma vez que a relação homem-natureza é de fato um sinônimo de qualidade de vida. No entanto, a manutenção de um jardim é onerosa nos dias atuais, considerando-se que o recurso hídrico está cada vez mais escasso. Sendo assim, projetos de engenharia estão levando cada vez mais em consideração o aproveitamento de águas pluviais em sistemas residenciais, não apenas para a irrigação das áreas verdes, como também para outras funções domésticas.

A grande vantagem na utilização de recursos não potáveis é de preservar a natureza e garantir que as gerações futuras não tenham problemas quanto ao fornecimento de água potável para consumo. Além disso, o uso desta fonte alternativa contribui sumariamente para a redução dos escoamentos superficiais que são os grandes causadores de enchentes nos centros urbanos. Sendo assim, se faz necessário um estudo de caso sobre como pode-se utilizar a captação da água pluvial para a irrigação de um jardim de grande porte na cidade de Belo Horizonte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar o estudo de caso, dimensionando e especificando os componentes do sistema de captação, armazenamento e distribuição de águas pluviais para prover a irrigação de um jardim com 355 m² em uma residência familiar com o intuito de reduzir o alto consumo de água potável.

1.3.2 Específicos

- Apresentar as principais características de um sistema de aproveitamento de água pluvial para utilização na irrigação;
- Especificar um reservatório de armazenamento de águas pluviais;
- Dimensionar o sistema de bombeamento de águas pluviais para irrigação;
- Selecionar acessórios e tubulações para um sistema de aproveitamento de águas pluviais;
- Pesquisar o consumo de água por m² necessário para prover um 1 dia de irrigação da plantação de grama do tipo Esmeralda;

1.4 Estrutura do trabalho

Todo o estudo de caso em questão será realizado segundo as normas ABNT e de acordo com o padrão para a realização de trabalhos científicos na área de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto, seguindo a seguinte estrutura:

No primeiro capítulo apresenta-se o problema da água no cenário mundial e as ações propostas e implementadas por entidades responsáveis para diminuir a possibilidade da escassez de água no mundo. Além disso, dá-se início ao estudo de caso, citando a justificativa do trabalho e a importância da utilização das águas pluviais para a redução do consumo de águas potáveis em residências.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica sobre irrigação residencial e utilização de águas pluviais, assim como o embasamento teórico para o dimensionamento de um sistema de aproveitamento de águas da chuva, assim como as abordagens legislativas e políticas.

No terceiro capítulo, realiza-se um estudo da metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso em questão, assim como a forma de obtenção dos dados para realização da pesquisa.

No quarto capítulo é realizado o desenvolvimento do trabalho, todos os dimensionamentos dos sistemas de captação, armazenamento e bombeamento da água pluvial.

No quinto capítulo e último do trabalho apresentam-se as conclusões deste estudo e proposições de temáticas para continuidade do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O enfoque neste capítulo será a abordagem do sistema de irrigação residencial por meio da sua fundamentação teórica. A revisão bibliográfica abordará as temáticas do aproveitamento das águas pluviais, informações sobre questões legislativas e políticas, principais componentes em um sistema de bombeamento de água, conceitos sobre diversos tipos de bombas e suas aplicações. Serão apresentadas também, informações sobre os principais tipos de aspersores utilizados em um sistema de irrigação.

2.1 Aproveitamento de águas pluviais

A utilização da água da chuva não é uma técnica nova. Relatos de diversos pesquisadores apontam que muitos sistemas já haviam sido inventados e utilizados no decorrer da história da humanidade, centenas de anos antes de Cristo. Segundo Gnadlinger (2000), várias sociedades antigas, como os Incas, Astecas e Maias, utilizavam a água pluvial para consumo e em construções que envolviam a utilização do barro e da areia.

Durante o século X, o cultivo de alimentos pelos Maias tornou-se possível devido à utilização da Chultun, espécie de cisterna, para armazenamento de águas pluviais. Ainda segundo Gnadlinger (2000), esses reservatórios já possuíam, naquela época, uma enorme capacidade, chegando a acumular um volume total de aproximadamente 45.000 litros de água. A Figura 3 ilustra as cisternas utilizadas pelos povos Maias durante o século X.

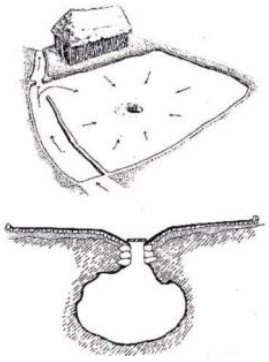

Figura 3: Cisterna do povo Maia. Informações: capacidade: 45.000 litros; diâmetro 5 m, área de captação: 150m², a abertura é coberta por uma pedra com um buraco no meio onde se encaixa um pino de madeira, que se retrai quando chove
Fonte: Gnadlinger, 2000.

A construção de reservatórios de água pluviais foi uma das maiores obras de engenharia realizada pelos povos antigos que os utilizavam, principalmente, em regiões semiáridas nas quais os períodos chuvosos eram restritos a poucos meses do ano.

Gnadlinger (2000) relata ainda, que há mais de 2000 anos existiu no deserto de Negev, atual território de Israel e Jordânia, um sistema integrado de utilização de águas que permitiu a cultura de alimentos naquela região. Nesta mesma época, na China, já existiam tanques para o armazenamento de águas pluviais visando à utilização do recurso em períodos seca.

As evidências mais antigas da captação e armazenamento da água pluvial, no continente africano foram as entradas no norte do Egito, onde os reservatórios têm sido utilizados por mais de 2000 anos, com capacidades volumétricas de até 2000 m³ (UNEP, 2002).

Os sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais no mundo acabaram entrando em desuso, principalmente, pelo aumento das tecnologias durante os séculos XIX e XX que facilitaram a obtenção de água por meio da construção de barragens, da implementação de sistemas de abastecimento para a população e até mesmo para os campos de agricultura, totalmente irrigados por meio de canalizações.

Entretanto, com o desuso de águas pluviais para irrigação no setor da agricultura, os produtores de alimentos começaram a utilizar o recurso potável fornecido pelas distribuidoras. Este fato, juntamente com o crescimento demográfico desenfreado e com a desregulação de períodos de chuva alertaram os principais órgãos ambientais para um problema: a possível escassez de água consumível em nível mundial.

Diante desta problemática, práticas utilizadas milenarmente por nossos antepassados voltaram a ser utilizadas como uma das formas de evitar a extinção do recurso natural mais essencial para a vida: a água.

No cenário atual, muitos países da Europa têm se empenhado na implementação de novas tecnologias para captação e posterior utilização de águas pluviais para o consumo, tanto em atividades que dispensam a sua potabilidade quanto para agricultura e utilizações domésticas.

O Brasil é um dos países mais bem colocados no ranking mundial de reserva de água doce. Ainda assim, com todo esse potencial hídrico, nosso país revela deficiências no fornecimento de água potável, em função da concentração destas águas em regiões onde existe

um menor índice demográfico, como por exemplo, a região Norte. Dados estatísticos demonstram que a disponibilidade hídrica é estimada em 35.732 m³/hab./ano, sendo considerado um país “rico em água”. Em comparação ao potencial hídrico mundial, o Brasil conta com 12% da quantidade total de água doce no mundo (TOMAZ, 2001).

Sazonalmente, o país vivencia crises no abastecimento de água em decorrência da ausência de chuvas, o que consequentemente ocasiona a diminuição nos níveis dos reservatórios. A maior crise hídrica nacional ocorreu em 2014, quando os grandes centros urbanos - mais explicitamente a cidade de São Paulo- se viram, durante vários dias, diante do desabastecimento de água. Este fato nos remete então, à relevância da formulação de políticas públicas para minimização do problema, dentre elas, as políticas de aproveitamento das águas pluviais e para o consumo consciente da água potável.

A utilização de águas pluviais visa a minimizar o risco de enchentes e promover a preservação do meio ambiente com a redução da utilização de água potável para fins onde o recurso não-potável é suficiente. Essa alternativa é uma das mais viáveis para os grandes centros urbanos e também para a agricultura, atividade na qual demanda pelo recurso é intensa.

A Figura 4 apresenta dados que indicam que o consumo de água potável para irrigação, no Brasil, chega a 67%. A agricultura desponta como o setor que mais demanda água potável, portanto as propostas atuais da utilização de águas não-potáveis são necessárias para prolongar a disponibilidade de água no decorrer dos próximos anos.

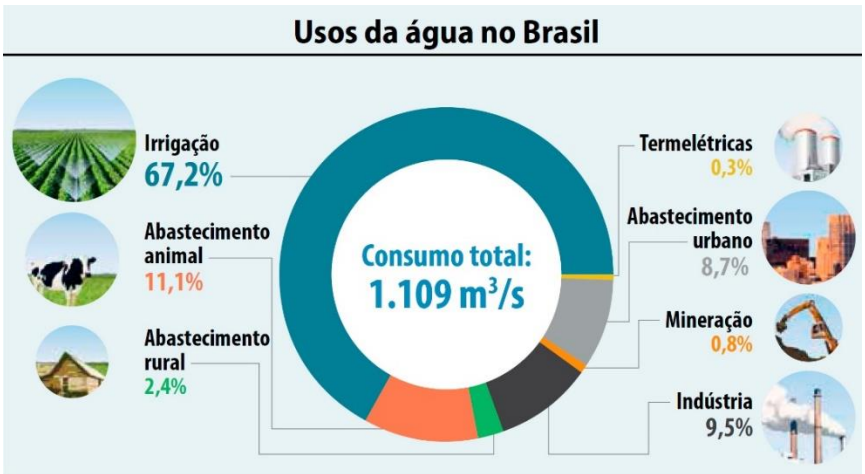

Figura 4: Contribuição percentual de cada setor brasileiro na utilização de água potável.
Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, 2000.

A captação de águas pluviais no meio rural tem se apresentado com uma alternativa sustentável e, principalmente viável, gerando incentivos para aumento de pesquisas na área.

A Empresa Brasileira de pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) foi pioneira na década de 1970 na exploração da utilização de sistemas de captação de águas pluviais e atualmente, incentiva de forma incisiva o uso destes métodos para redução de consumo de águas potáveis para irrigação de campos de agricultura.

Assim como o cenário que se apresenta na agricultura, nos grandes centros urbanos, o crescimento populacional exerce pressão direta sobre a redução do consumo de água potável. Observa-se um aumento de incentivos às obras de engenharia que, durante a fase de projeto, já realizem a previsão da captação de águas pluviais para posterior utilização, seja em construções residenciais ou comerciais.

2.2 Normas vigentes e legislação

A NBR 15527/2007, norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicada em agosto de 2007 e validada em setembro do mesmo ano orienta e prescreve todas as diretrizes quanto aos sistemas de aproveitamento de água da chuva, fases de projeto e dimensionamentos. A norma apresenta de forma integral as condições para o aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis, como por exemplo: lavagens de calçadas, ruas e veículos, irrigação de gramados e plantas, descargas em bacias sanitárias e diversas outras finalidades.

As Normas Técnicas ABNT NBR 5626 e NBR 10844 definem como deve ser realizada a coleta da água da chuva. Segundo ainda a Associação, alguns quesitos como alcance do projeto, população a ser beneficiada e atendida, quantificação da demanda do recurso energético e estudos sobre precipitação na região do estudo devem ser esclarecidos e declarados no projeto.

A legislação federal brasileira não estabelece especificamente a obrigatoriedade da utilização da água pluvial em residências ou indústrias, porém alguns estados e municípios aprovaram leis que obrigam a utilização de sistemas para captação de águas pluviais, desde que algumas residências apresentem os requisitos estabelecidos pela regulamentação. Nos grandes

centros urbanos a tendência de aproveitamento da água pluvial visa sumariamente à redução do volume de água nos sistemas de drenagem, que ultimamente tem causado várias enchentes, muitas vezes, com vítimas fatais.

No cenário atual existem Projetos de Leis (PL) em trâmite na Câmara dos Deputados, com destaque para o PL n° 7.818 de 2014, que se refere à inserção da Política Nacional de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais. Essa Política Nacional tem como objetivos principais a bonificação e conservação da utilização racional do recurso hídrico, qualidade ambiental e a promoção do uso planejado e direcionado das águas pluviais.

O projeto de Lei Municipal Nº 68/2009 na cidade de Belo Horizonte busca a minimização de ocorrência de enchentes por meio da implantação de um coletor de águas pluviais e reservatórios em edificações com áreas impermeabilizadas superiores a 500 m².

2.3 Sistemas de irrigação

Segundo Scaloppi (1986), os sistemas utilizados para irrigação são classificados como: sistema de irrigação por superfície, sistema de irrigação por aspersão e sistema de irrigação localizada. Para se determinar o sistema a ser utilizado devem ser utilizados alguns parâmetros, tais como aplicação, viabilidade econômica, tipo de cultura a ser irrigada, demanda hídrica e questões ambientais.

Considerando a escassez de água potável em nível mundial, a utilização de sistemas dimensionados, utilizando águas pluviais constitui uma proposta de redução no consumo de água potável. Outro fator a se considerar é o aumento da demanda paisagística nas residências atualmente, o que provoca também o aquecimento do mercado de irrigação de forma considerável. Sendo assim, novas tecnologias vêm sendo mitigadas para oferecer um sistema viável e completo.

Dentre todos os métodos de irrigação, o sistema por aspersão é o mais empregado nas residências, campos de futebol e de golfe, segundo a fabricante de aspersores Rain Bird (2016) devido à baixa tecnologia empregada, baixo custo de implementação, o sistema de aspersão é a melhor escolha para residências e pequenas propriedades agrícolas. Além disso, a semelhança

do sistema com a própria precipitação atmosférica proporciona uma irrigação contínua e abrangente, por meio da aplicação de uma lamina d'água uniforme sobre as culturas.

Na maioria das vezes, buscando-se praticidade, o sistema vem acompanhado de controles automáticos para reduzir ainda mais o consumo energético e prover uma irrigação mais adequada, reduzindo a necessidade manual de ligação do sistema.

Sendo assim, para obter-se uma eficiência na irrigação residencial, alguns fatores devem ser prioritariamente considerados: seleção dos aspersores, tipo de grama e configuração do terreno.

Em relação aos aspersores, para aplicações residenciais, estes estão disponíveis em vários modelos. São divididos de acordo com a classificação abaixo:

Aspersores *Sprays*

- Aspersores *Sprays* para arbustos;
- Aspersores *Sprays* escamoteáveis.

Aspersores rotativos

- Aspersores de impulso ou impacto;
- Aspersores rotores.

Para a seleção dos aspersores alguns parâmetros devem ser considerados:

(a) Área a ser irrigada e geometria do terreno;
(b) Pressão e vazão necessárias;
(c) Condições do clima regional.

Para a seleção de acordo com o item (a) acima, deve-se sempre levar em consideração a tecnologia que irá proporcionar a cobertura de toda área, utilizando menor número de aspersores. Juntamente com o tipo de cobertura verde, especifica-se quanto ao tipo de construção dos aspersores: aspersores escamoteáveis ou próprios para áreas que possuem arbustos. Caso as duas culturas estejam presentes, um estudo mais aprofundado deverá ser realizado. Considerando-se o item (b), o fabricante determina quais são os valores necessários para pressão e vazão na tubulação para que se consiga determinado alcance (m) dimensionado

durante o projeto. Por fim, analisam-se as condições regionais climáticas (c) como temperatura, incidência solar e velocidade dos ventos.

Considerando um jardim convencional, em que a maior cultura é basicamente plantas e arbustos baixos dispostos em áreas retilíneas ou com pequenos aclives e declives, sugere-se a utilização dos modelos tipo *Spray*.

2.3.1 Aspersores *Sprays*

De acordo com o catálogo da fabricante Rain Bird (2016) o modelo *Spray* é utilizado em áreas com dimensões pequenas ou médias, e normalmente são instalados nas laterais rentes ao muro da residência. Os bocais convencionais dos modelos *Spray* são do tipo fixo, ou seja, eles não realizam movimentos rotacionais, diferentemente dos tipos rotores conforme será descrito a seguir.

Quanto aos ângulos de aplicação de água, estes são divididos entre: 360º, 270º, 240º, 180º, 120º e 90º. Para situações em que estes ângulos de aplicação da lâmina não são suficientes, utilizam-se então, bocais de fácil adaptação que variam entre 0º e 360º, conhecidos com VAN. O modelo *Spray* com bocal fixo descrito anteriormente, é ilustrado na Figura 5 abaixo.

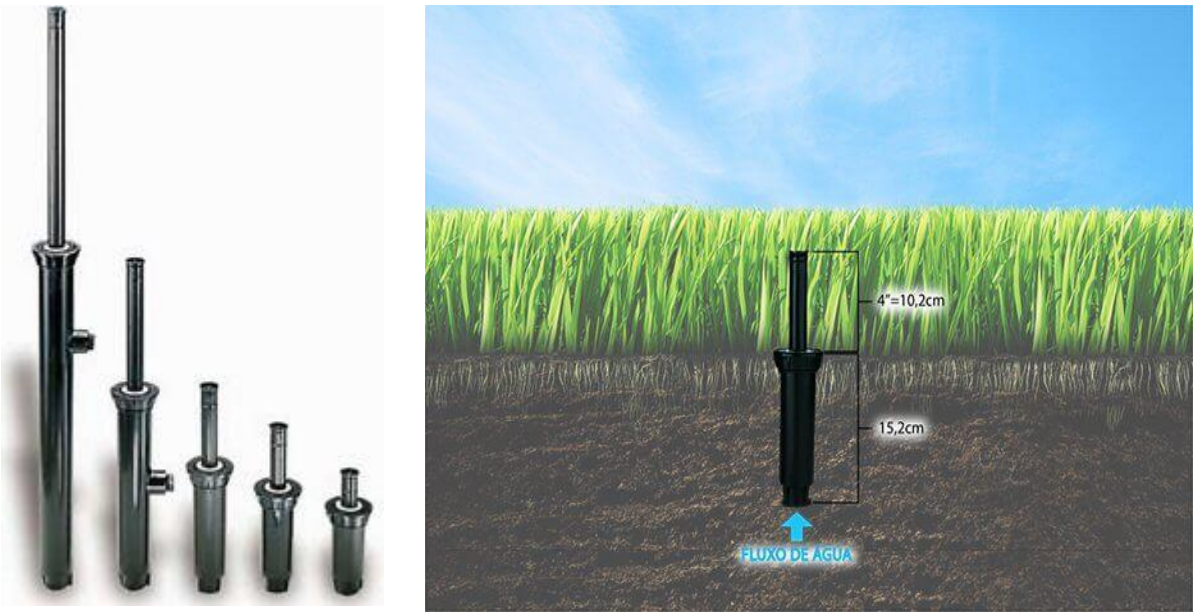

Figura 5: Aspersor *Spray* 1800 VAN, modelo escamoteável.
Fonte: Catálogo Rain Bird (2016).

Os modelos escamoteáveis são aqueles que ficam embaixo do nível da grama, não afetando a estética do paisagismo, permitindo que as podas dos jardins sejam realizadas normalmente. Além disso, não interferem no tráfego humano e de animais domésticos, e quando instalados em passeios dificultam a ação de vândalos pelo fato de serem enterrados. Devido a esta característica, deve-se especificar a altura da haste de acordo com o nível de instalação abaixo da grama e com o alcance durante a rega da cultura.

As características construtivas do modelo *spray* rotores e *spray* do tipo fixo diferenciam-se simplesmente pelo fato de que nos rotores, os bocais realizam movimentos rotativos. Similarmente aos do tipo fixo, os aspersores rotores estão disponíveis tanto nas versões escamoteáveis quanto nas versões aparentes.

Em relação à aplicação, os aspersores são utilizados em áreas de grande porte, como campos de futebol e de golfe, haja visto que seus raios de alcance podem chegar a 30 m de distância. Seus valores de vazão são superiores aos convencionais devido ao sistema de rotação mecânica, que utiliza a vazão como forma de acionamento do sistema de rotação. Sendo assim, utiliza-se normalmente para uma mesma área irrigada menos aspersores. A Figura 6 ilustra um campo de golfe, utilizando os aspersores do tipo rotativo:

Figura 6: Aspersores do tipo rotativo irrigando campo de golfe.
Fonte: Catálogo Rain Bird (2016).

2.4 Qualidade da água pluvial para fins não potáveis

Sabe-se que nos grandes centros urbanos e industrializados a poluição atmosférica é iminente e pode ser transmitida parcial e paulatinamente para a água, durante os períodos de chuva. Nestas regiões, a poluição do ar atmosférico, durante a precipitação da chuva pode causar o fenômeno conhecido como chuva ácida.

Este inconveniente é responsável por causar uma acidez além do normal na água pluvial, chegando a um índice de 3,5 na escala de pH, devido a reação de gases como Dióxido de Carbono (CO_2), Óxidos de Enxofre (SO_2) e Dióxidos de Nitrogênio (NO_X) presentes na atmosfera.

Segundo Tomaz (2003) a composição da água pluvial tem variáveis e dentre elas destacam-se:

(a) Localização geográfica do ponto de amostragem;
(b) Condições meteorológicas (tipos de chuva, intensidade, duração, estação do ano, regime de ventos);
(c) Qualidade do ar no ponto de amostragem;
(d) Presença ou não de vegetação.

Ainda sobre a composição da água pluvial, Tomaz (2003) afirma que existe uma relação direta com a quantidade pluviométrica e a presença de partículas nocivas ao ser humano, ou seja, quanto menor for a ocorrência de chuva em determinado período, maior deverá ser a quantidade de impurezas, piorando assim as características da água pluvial.

Portanto, a aplicabilidade final da água pluvial deverá levar em consideração os fatores citados para garantir que não haja nenhum efeito danoso à saúde dos envolvidos durante a utilização da água haja visto que cada finalidade de uso necessita de parâmetros de qualidade diferentes.

A Agência Nacional das Águas (ANA) deliberou algumas atividades onde a utilização da água para fins não potáveis, deverá atender algumas mínimas exigências de acordo com as atividades a serem realizadas (SAUTCHUK et al., 2004). As exigências mínimas de acordo com a Agência encontram-se na tabela 1.

Tabela 1: Exigências mínimas para água não potável para as atividades realizadas

Atividade	Exigências mínimas
Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos	- Não deve apresentar mau-cheiro; - Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas; - Não deve ser abrasiva; - Não deve manchar superfícies;
Água para descarga em bacias sanitárias	- Não deve apresentar mau-cheiro; - Não deve ser abrasiva; - Não deve manchar superfícies; - Não deve deteriorar os metais sanitários; - Não deve propiciar infecções ou a contaminação.
Água para refrigeração e Sistema de ar condicionado	- Não deve apresentar mau-cheiro; - Não deve ser abrasiva; - Não deve manchar superfícies;

Fonte: Agência Nacional das Águas (2005)

De acordo com o exposto na tabela 1, observa-se que a aplicabilidade não é danosa quando não ocorre o contato direto da água pluvial com o ser humano, como ocorre no uso em jardins e em descargas sanitárias. Na aplicação do objeto de estudo deste trabalho - a irrigação de jardim - não se faz necessário nenhum tratamento químico da água, apenas uma certa filtragem para que isso não ocasione problemas nos sistemas de bombeamento.

2.5 Instalações elevatórias

Os sistemas de bombeamento de água consistem, basicamente, em transportar a água de uma região até outra. Porém, quando este processo envolve grandes distâncias ou percursos geométricos em que somente a gravidade não tornaria possível o transporte, utiliza-se um sistema complexo para realizar este trabalho. Os componentes mais utilizados estão demonstrados na Figura 7, onde o sistema de irrigação tem início no reservatório, quando ocorre a sucção da água pela bomba.

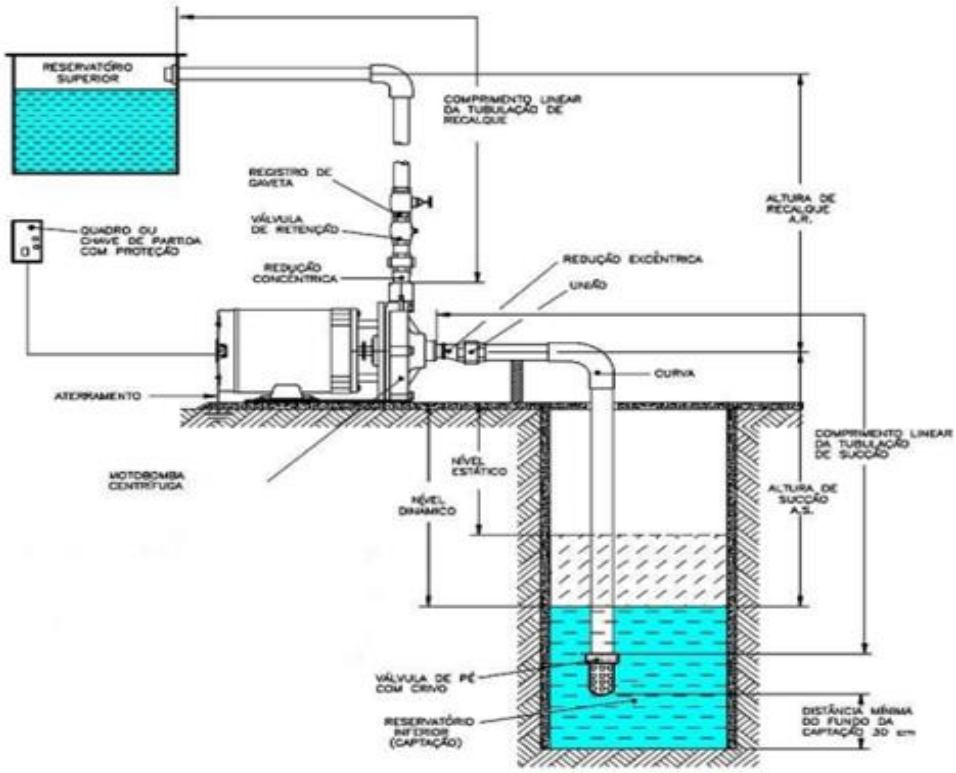

Figura 7: Sistema elevatório de água.
Fonte: Tomaz, 2003.

Estes componentes são:

Válvula de pé com crivo: A válvula de pé com crivo é uma válvula de retenção colocada no fundo do reservatório, conectado ao bocal de sucção. Sua função é impedir o retorno do fluido para o reservatório. Aliada ao crivo, impede a sucção de partículas sólidas pela bomba, o que poderia acarretar problemas para o seu funcionamento. Além disso, evita-se a aspiração de ar juntamente com o fluido de trabalho.

União: Este acessório é de extrema importância para realizar a conexão entre a tubulação de sucção e a bomba. Permite a união de duas tubulações de mesmo diâmetro por meio de braçadeiras.

Redução excêntrica: Elemento ligante entre o final da tubulação de sucção e a bomba, normalmente tem um diâmetro menor para evitar a formação de bolsas de ar. Este acessório pode ser dispensável em tubulações menores que 4 polegadas. Recebe o nome excêntrico, pois a linha de centro da tubulação é alterada.

Motor elétrico: é conhecido como motor de acionamento, pois ele fornecerá a energia mecânica para que a bomba consiga realizar a sucção do fluido. Para este tipo de sistema elevatório de água utiliza-se, normalmente, motores elétricos ou a combustão, operando em ciclo Otto ou Diesel.

Bomba: Exerce um papel importante em todo o sistema, pois tem a função de succionar o fluido do reservatório, fornecer energia suficiente a ele por meio de seu rotor, para o impulsionar através da tubulação até o seu destino final.

Redução concêntrica: Acessório semelhante à redução excêntrica, porém com o diferencial de que este mantém a linha de centro alinhada em ambos os lados.

Válvula de retenção: Exerce uma grande importância na proteção da bomba, haja vista que este acessório impede que o peso de coluna de água seja sustentado pela bomba. Além disso, impede o retorno do fluido para a bomba e é normalmente instalada antes do registro de recalque.

Registro de gaveta: Também conhecido como válvula de gaveta ou simplesmente registro de recalque. Tem a função de controlar a vazão recalcada, sendo que é possível impedir ou permitir o fluxo da vazão abrindo ou fechando o registro.

Os componentes acima descritos são básicos para o sistema de bombeamento de água. No entanto, existem alguns conceitos que não envolvem diretamente os acessórios, mas sim o fluxo de todo o fluido dentro da canalização, sendo assim um estudo mais aprofundado será feito a seguir.

2.5.1 Parâmetros da mecânica dos fluídos aplicada ao escoamento em tubulações

Para realizar o dimensionamento do sistema foi necessário o desenvolvimento de alguns parâmetros hidráulicos, principalmente aqueles que envolvem diretamente a tubulação com a utilização de bombas centrífugas.

Segundo Ghisi (2006) os parâmetros podem ser definidos como:

(a) Vazão volumétrica (Q)

Uma das várias definições utilizadas é a de que a vazão horária ou vazão requerida pelo sistema (Q) é tida como sendo a razão entre a necessidade hídrica (Nh) na unidade de volume, em metros cúbicos ou litros, e o tempo em horas de operação do sistema moto-bomba (h). Sendo assim, através da equação 1 abaixo tem-se que:

$$Q = \frac{Nh}{h} \tag{1}$$

(b) Diâmetro das tubulações

Os diâmetros das tubulações normalmente diferem entre os de recalque e de sucção. Para o cálculo do diâmetro das tubulações de recalque, deve-se escolher a formulação adequada. Considerando-se então que o sistema opera de forma intermitente, sugere-se de acordo com Ghisi (2006), a utilização da equação 2 abaixo:

$$\emptyset r = 1{,}3 \cdot \sqrt{Q} \cdot \frac{\sqrt[4]{H}}{24} \quad (2)$$

Onde:

$\emptyset r$: diâmetro da tubulação de recalque (m);

Q : é a vazão de recalque em (m^3/s);

H: é numero de horas de funcionamento do conjunto moto-bomba (h).

O diâmetro de sucção não é calculado, porém segundo a ABNT NBR 92/96 deve-se sumariamente calcular o diâmetro para a tubulação de recalque e atribuir o valor imediatamente superior comercial para a tubulação de sucção.

(c) Velocidade em tubulações

Segundo White (2002) o dimensionamento de tubulações ocorre, principalmente, baseado nas velocidades e nas quedas de pressões admitidas para uma determinada vazão de um fluido.

Em alguns sistemas, a velocidade é o fator crítico na análise e no cálculo do diâmetro, haja vista que velocidades muito altas provocam erosão na tubulações e velocidades baixas provocam depósitos sólidos nas linhas de operação.

A velocidade é definida como sendo a razão entre a vazão (m^3/s) e a área circular da tubulação por onde o escoamento se processa, sendo assim tem-se a equação matemática 3:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (3)$$

Onde

V: velocidade do escoamento em (m/s);

Q: vazão (m^3/s);

D: diâmetro da tubulação (m).

(d) Peso específico ($\boldsymbol{\gamma}$): É o peso por unidade de volume, cuja expressão é:

$$\gamma = \frac{P}{V} \tag{4}$$

Onde:

P: peso (kgf ou N);

V: volume (m^3).

(e) Massa específica ($\boldsymbol{\rho}$): É a massa por unidade de volume, cuja expressão é dada por:

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{5}$$

A massa específica da água é 997 kg/m^3, a 25°C.

Onde:

M: massa (kg);

V: volume (m^3).

(f) Viscosidade dinâmica (μ):

É a capacidade que o líquido tem de resistir a um esforço de cisalhamento. Com o movimento do mesmo, dependendo da velocidade, ocorrerá um maior ou menor atrito das partículas com as paredes da tubulação. A unidade mais usada é pascal-segundo:

[Pa.s], em que 1 Pa.s = 1 $N.s/m^2$ = 1 kg/m.s

(g) Viscosidade cinemática (v):

É a relação entre a viscosidade dinâmica (μ) e a massa específica (ρ), sendo:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \tag{6}$$

2.5.2 Escoamentos de fluidos, Número de Reynolds e Fator de Atrito

2.5.2.1 Escoamento Laminar

Segundo Fox e Mc Donald (2001), a estrutura do Escoamento Laminar é caracterizada pela movimentação suave e em lâminas, onde não ocorre uma mistura macroscópica de camadas adjacentes ao fluido. Sendo assim, as partículas tendem a se mover paralelamente umas às outras, sem se cruzar, preservando suas respectivas características. O Regime Laminar ocorre normalmente, em fluxos a baixas velocidades e com alta viscosidade, evitando o surgimento da turbulência.

Figura 8: Escoamento Laminar.
Fonte: Revista brasileira de ensino de física, 2014.

2.5.2.2 Escoamento Turbulento

O Escoamento Turbulento, ao contrário do que ocorre no Regime Laminar, é caracterizado pela movimentação brusca das partículas que geram trajetórias não paralelas e completamente irregulares favorecendo a formação de redemoinhos e vórtex. As velocidades nesse Regime são em sua maioria, variáveis em direção e grandezas e ocorrem em fluidos com baixa viscosidade e alta velocidade como a água, por exemplo

Figura 9: Escoamento Turbulento.
Fonte: Revista brasileira de ensino de física, 2014.

2.5.2.3 Número de Reynolds

O Número de Reynolds (abreviado como Re) é um parâmetro adimensional que relaciona a velocidade de escoamento de um determinado fluido com a superfície em contato, seja ela uma região livre ou através de um duto. Sendo assim, o parâmetro é obtido através do quociente entre as forças de inércia e as forças devido à viscosidade do fluido. Osborne Reynolds, físico e engenheiro responsável pela formulação do Número de Reynolds, observou

experimentalmente que através de alguns valores de referência se é possível determinar a natureza do escoamento (Laminar ou Turbulento).

Segundo White (2002), os valores de referência utilizados para se determinar o regime de escoamento são:

Re < 2000 – Escoamento Laminar

2000 < Re < 4000 – Escoamento Transitório

Re > 4000 – Escoamento Turbulento

Tais valores para escoamentos em tubos são obtidos por meio da manipulação matemática da formulação abaixo:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \tag{7}$$

Sendo:

ρ: massa específica do fluido (kg/m³);

V : velocidade escoamento (m/s);

D: diâmetro da tubulação (m);

μ: viscosidade dinâmica (Pa·s).

2.5.2.4 Rugosidade relativa em tubulações

A rugosidade é definida segundo Hutchings (1992) como sendo uma anomalia na superfície, representada por protuberâncias, rugas ou crateras.

Especificamente no caso de tubulações, sabe-se que devido ao atrito do fluido em contato com a parede interna do tubo, ocorre certa perda de energia. Sendo- assim deve-se considerar sempre em um projeto, a rugosidade do material da tubulação.

A rugosidade relativa em tubulações circulares é definida como sendo a razão entre a rugosidade absoluta do material ε (mm) e o diâmetro interno do tubo D (mm). Tem-se então a seguinte equação:

$$Rugosidade\ relativa = \varepsilon/D \tag{8}$$

Deve-se atentar que a rugosidade absoluta varia de material para material e é fornecida usualmente pelos fabricantes conforme ilustra a figura 10.

Material	Rugosidade média mm	Material	Rugosidade média mm
Aço laminado novo	0,0015	Ferro fundido c/ incrustação	1,5 - 3
Aço laminado usado	0,046	Ferro fundido enferrujado	1 - 1,5
Aço galvanizado	0,15	Ferro fundido novo	0,26 - 1
Aço soldado liso	0,1	Ferro fundido revestido c/ asfalto	0,12 - 0,26
Alvenaria de pedra fina	1 - 2,5	Madeira aplainada	0,2 - 0,9
Alvenaria de pedra grosseira	8 - 15	Madeira bruta	1 - 2,5
Alvenaria de tijolo	5	Polietileno	0,001
Cobre	0,0015	PVC rígido	0,005
Concreto alisado	0,3 - 0,8	Vidro	0,0015
Concreto centrifugado	0,07		

Figura 10: Rugosidade média em função dos materiais.
Fonte: Adaptado de Carvalho, 1977

2.5.2.5 Fator de atrito

O fator de atrito f ou coeficiente de resistência de Darcy-Weisbach é um parâmetro adimensional utilizado para calcular a perda de carga em uma tubulação devido às forças de atrito. O fator de atrito é função do Número de Reynolds e da rugosidade relativa ε/D, onde ε é a rugosidade absoluta do material da tubulação e D é o diâmetro considerado. Para escoamentos laminares, desconsidera-se o fator de atrito e utiliza-se apenas o Número de Reynolds, enquanto no escoamento turbulento se faz necessária a determinação da rugosidade da tubulação fornecida pelo fabricante, juntamente com a leitura do ábaco de Moody, mostrado logo em seguida.

Uma análise rápida do ábaco nos permite encontrar facilmente o fator de atrito. Primeiramente, deve-se entrar com o valor de Reynolds no eixo da abscissa e logo em seguida com o valor da rugosidade relativa no eixo da ordenada à direita do gráfico. Após isso, basta fazer a leitura do valor do fator de atrito f, no eixo da ordenada, à esquerda do ábaco.

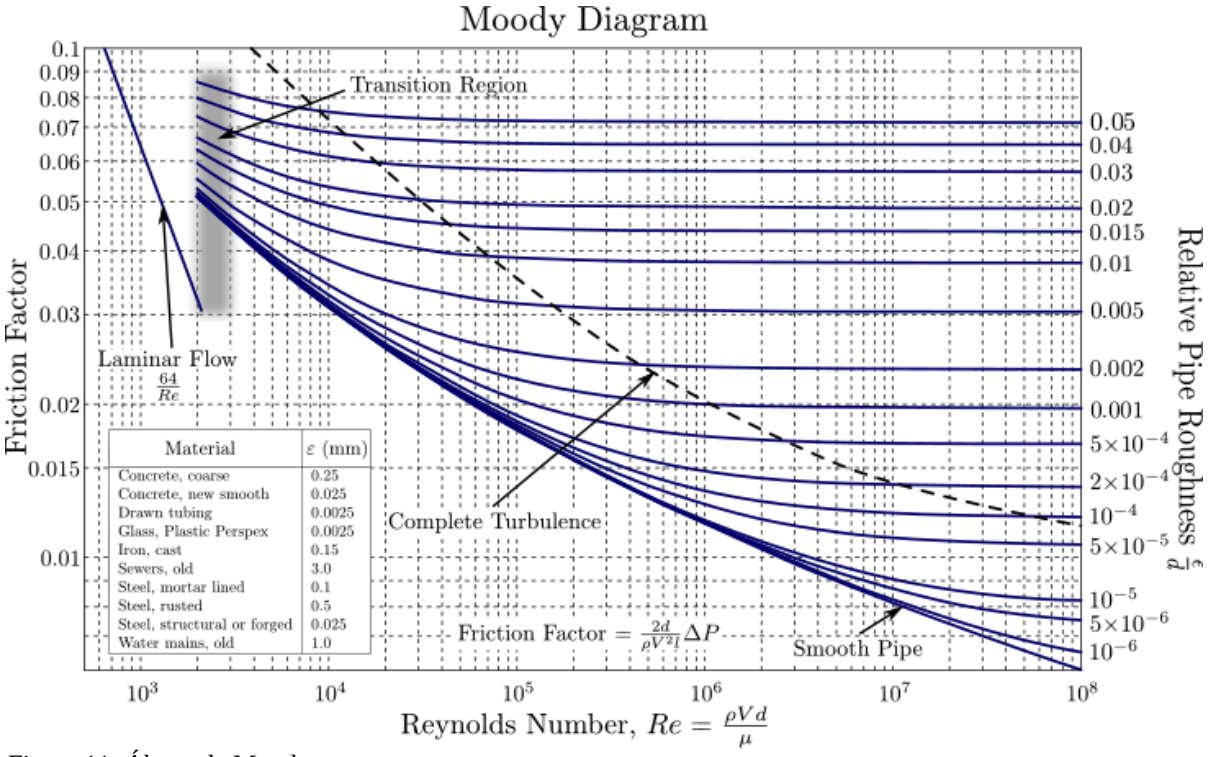

Figura 11: Ábaco de Moody
Fonte: Carvalho, 1977

2.6 Perdas de Carga na Tubulação

A perda de carga é definida como sendo a perda de energia devido à resistência oferecida pelas tubulações e acessórios (possuem uma rugosidade relativa) ao escoamento dos fluidos. Matematicamente, a perda de carga é conceitualmente definida como sendo a energia perdida por unidade de peso do fluido quando este escoa.

As perdas de carga podem ainda ser devidas a curvas geométricas nas tubulações, conforme veremos mais adiante. Segundo Brunetti (2005), verificam-se dois tipos de perdas de carga, o primeiro é chamado de perda de carga distribuída e o segundo de perda de carga localizada.

White (2002) definiu a perda de carga distribuída como sendo a perda de energia do fluido devido ao atrito em comprimentos retilíneos de tubulação. No que se refere à perda de carga localizada, conforme o próprio nome já sugere, deve-se a perda de energia em certos locais da tubulação, sendo alguns dos principais: curvas, acessórios, mudanças de diâmetro, T's de passagem, válvulas e entradas e saídas de tubos.

Deve-se sempre levar em consideração essas perdas, por menor que possam ser, quando somadas, acabam influenciando diretamente no processo de transporte do fluido.

2.6.1 Perdas de Carga Distribuída no Escoamento Turbulento

Segundo os autores Fox e Mc Donald (2011) o cálculo da perda de carga pode ser determinado pela equação de Darcy-Weisbach juntamente com o ábaco de Moody. Conforme visto anteriormente, o Ábaco forneceu um dos valores mais importantes para o cálculo da perda de carga: o fator de atrito *f.*

A equação de Darcy-Weisbach foi proposta em 1845, e é nos dias atuais a mais utilizada em função de sua simplicidade e grande aplicabilidade para a determinação da perda de carga distribuída em tubulações gerais.

A formulação matemática da equação é mostrada abaixo:

$$Hdis = f \cdot L \cdot \frac{V^2}{D \cdot 2g} \tag{9}$$

Sendo,

Hdis: Perda de Carga distribuída (m);

f: fator de atrito determinado empiricamente, disponível no ábaco de Moody, dependente do Número de Reynolds e da rugosidade relativa ε/D;

L: Comprimento reto de tubulação (m);

V: Velocidade média do escoamento (m/s);

D: Diâmetro da tubulação (m);

g: aceleração da gravidade (m/s²).

2.6.2 Perdas de Carga Distribuída no Escoamento Laminar

De forma análoga ao escoamento turbulento, pode-se utilizar a equação de Darcy-Weisbach para a perda de carga distribuída no escoamento laminar, porém o fator de atrito f

não deverá ser obtido através do ábaco de Moody e sim por meio da equação a seguir, levando-se em consideração apenas o Número de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re} \tag{10}$$

2.6.3 Perdas de carga localizada no escoamento

As Perdas de Carga são normalmente decorrentes de variações bruscas na geometria dos condutos, ou com a inserção de elementos como válvulas, comportas, curvas ou cotovelos. São denominadas normalmente como localizadas, acidentais ou singulares devido ao fato de decorrerem em pontos específicos da tubulação, diferenciando-se assim das perdas distribuídas.

As perdas de carga localizadas podem ser expressas por dois métodos: Método direto ou pelo Método dos comprimentos equivalentes.

2.6.3.1 Método Direto

Para o método direto, utiliza-se a equação abaixo:

$$Hloc = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \tag{11}$$

Sendo:

Hloc: perda de carga localizada (m.c.a);

K: expressa a influência do atrito, do diâmetro e do comprimento referente ao acessório de acordo com cada fabricante;

V: velocidade Média no escoamento (m/s);

g: aceleração gravidade (m/s²);

A equação11 deverá ser utilizada para cada acessório do sistema de bombeamento separadamente e então depois, realiza-se o somatório de cada parcela para se obter, finalmente, a perda de carga localizada total. Devido à variedade de acessórios e fabricantes ocorre que

durante a fase de projeto, deverá ser considerado o acessório real que será utilizado durante a fase de execução para evitar problemas de operação do sistema devido a problemas de dimensionamentos anteriores.

2.6.3.2 Método do Comprimento Equivalente

Para facilitar os cálculos de dimensionamento dos projetos e torná-los mais ágeis, alguns fabricantes fornecem tabelas mais diretas para se calcular as perdas de carga através do conhecido método dos comprimentos equivalentes.

Este método consiste basicamente em realizar uma equivalência dimensional das perdas nos acessórios e transformá-las em perdas de comprimento reto de tubulação. A perda de carga é então calculada através da equação 12 abaixo:

$$\Delta H = \frac{f \cdot Lvirtual \cdot V^2}{D \cdot 2g} \tag{12}$$

Onde:

Ltotal: soma dos comprimentos retos de tubulação com os comprimentos equivalentes de cada acessório expressos (m);

f: fator de atrito;

V: velocidade média no escoamento (m/s);

g: aceleração gravidade (m/s²)

Para se determinar os valores referentes aos comprimentos equivalentes de acordo com cada acessório utilizado, realiza-se um estudo preliminar das informações contidas na figura 12. Utilizou-se neste trabalho, as informações da Tigre, fabricante de tubulações.

	PVC									
Bitola Nominal Conexões	**3/4"**	**1"**	**1.1/4"**	**1.1/2"**	**2"**	**2.1/2"**	**3"**	**4"**	**5"**	**6"**
Registro Gaveta	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	8,0	1,0	1,3
Válvula Globo	7,0	9,0	12,0	14,0	18,0	21,0	26,0	34,0	43,0	52,0
Válvula de retenção	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0	9,7	13,0	16,0	19,0
Válvula de Pé/Crivo	5,6	7,3	10,0	12,0	14,0	17,0	20,0	23,0	30,0	39,0
Curva 90°	0,4	0,6	0,7	0,8	1,1	1,3	1,6	2,1	2,6	3,1
Curva 45°	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8
Tê 90°	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,9	3,4

Figura 12: Comprimentos equivalentes de cada acessório
Fonte: *Catálogo* Técnico Predial Água fria Tigre, 2016

2.7 Definição da altura manométrica do sistema

Segundo a ELETROBRÁS (2005), quando se considera um sistema elevatório de água deve-se levar em conta, tanto as perdas de carga que ocorreram na tubulação em função da , presença de acessórios, quanto as alturas devido ao desnivelamento do terreno.

Assim sendo, a altura manométrica é soma entre as duas parcelas, conforme a equação 13 a seguir:

$$Hman = Ho + \Delta H \tag{13}$$

Onde:

Ho: Altura geométrica ou desnível entre a válvula de pé com crivo e a altura de descarga do recalque (m);

ΔH: Soma das perdas de carga no interior da tubulação de sucção e recalque (m).

A figura 13 abaixo ilustra as alturas definidas anteriormente:

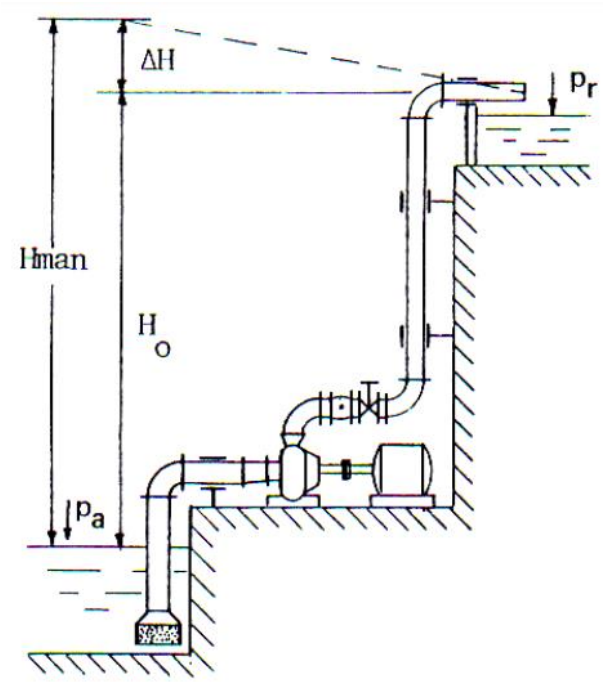

Figura 13: Altura manométrica de uma instalação elevatória de carga
Fonte: Fundamentos de Hidráulica UFRJ, 2008

2.8 Bombas e suas aplicações

Segundo Lima (2001), os sistemas de bombeamento surgiram na antiguidade, em função da necessidade de captação de água para utilização na agricultura. A agricultura é praticada há mais de 10.000 anos, porém, os primeiros registros que se tem em relação à irrigação datam da época dos egípcios, aproximadamente 1500 a.C, quando supostamente, desenvolveram a primeira máquina de elevação de água, conhecida como picota.

O desenvolvimento de sistemas elevatórios de água rudimentares e manuais permitiu o crescimento da agricultura em regiões mais afastadas de rios e lagos assim como o armazenamento do recurso para épocas de seca. Com o passar dos anos, desenvolveram-se máquinas elevatórias mais eficientes, conhecidas atualmente por bombas hidráulicas.

Segundo Macintyre (1997), as bombas são máquinas operatrizes que recebem trabalho mecânico de um motor ou turbina e realizam a transformação de parte energia em movimento (energia cinética) e pressão. A finalidade principal é a de realizar o deslocamento de um fluido através do escoamento.

De forma geral, os principais componentes de uma bomba são:

(a) Rotor ou impelidor (parte móvel);
(b) Carcaça (parte fixa);
(c) Difusor (parte fixa).

A finalidade do rotor, também conhecido como “impelidor” ou “impulsor”, é impulsionar o fluido através de um disco composto por pás (palhetas), possibilitando a transmissão da energia cinética à massa líquida. A carcaça tem por finalidade acondicionar o fluido e direcioná-lo à tubulação de recalque. Por fim o difusor de uma bomba é a parte responsável por proporcionar uma redução de velocidade do fluido gerando assim um aumento de pressão na saída da carcaça.

Macintyre (1977) classifica as bombas de acordo com a forma com que a energia é cedida ao fluido, sendo assim, tem-se as seguintes classificações:

- Bombas dinâmicas ou turbobombas
- Bombas de deslocamento positivo

2.8.1 Bombas dinâmicas

As bombas dinâmicas ou também conhecidas como “turbobombas” ou “rotodinâmicas” são aquelas em que a movimentação do fluido é dada pelo desenvolvimento de forças em sua própria massa, ou seja, através do rotor que é dotado de pás (palhetas ou hélice). O fluido entra pelo centro da bomba e é expulso pela periferia, devido à força centrifuga gerada nas pás.

São usualmente utilizadas quando se necessita de grandes vazões para pequenas ou médias alturas manométricas. Segundo a ELETROBRÁS (2009), elas são projetadas para que sua vazão e altura manométrica correspondam a um melhor rendimento hidráulico, fornecendo uma economia maior de energia.

De modo geral, segundo Macintyre (1997) as bombas dinâmicas são classificadas em:

- Bomba centrífuga pura ou radial
- Bomba de fluxo misto ou bomba diagonal
- Bomba axial

2.8.1.1 Bomba radial

A movimentação do líquido acontece através da sua penetração no rotor de forma que sua entrada seja paralela ao eixo, sendo dirigido então pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos normais ao eixo.

Sua aplicabilidade é vasta devido à sua forma de construção relativamente simples e por fornecer vazões de 5 a 500 l/s, em pequenas e médias alturas de carga (Macintyre, 1997).

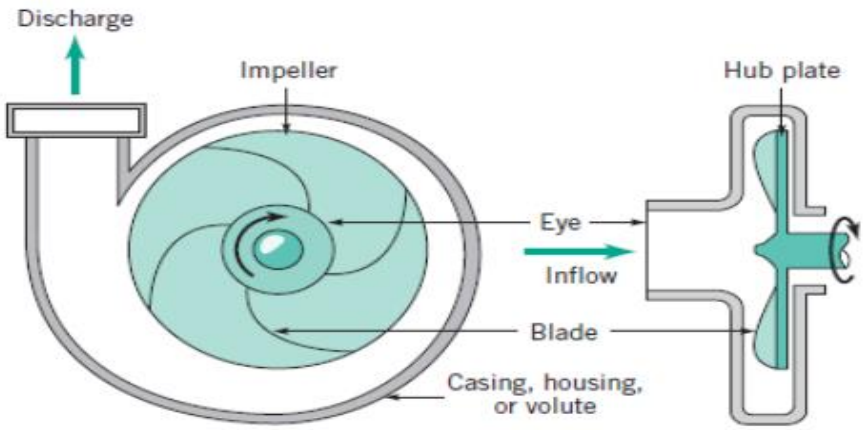

Figura 14: Bomba do tipo centrífuga radial enfatizando a entrada e saída do fluido.
Fonte: Pump. User's Handbook, 2010.

2.8.1.2 Bomba de fluxo misto

Nas bombas centrífugas de fluxo misto, o fluido penetra no rotor axialmente, atingindo as pás, cujo bordo de entrada é curvo e inclinado em relação ao eixo da bomba. Após isso, segue uma trajetória que é similar a uma curva reversa, devido à configuração de dupla curvatura das pás para, finalmente, atingir o bordo de saída que se configura paralelo ao eixo ou ligeiramente inclinado em relação ao mesmo. O fluido sai do rotor segundo plano perpendicular ao eixo ou desenvolvendo uma trajetória ligeiramente inclinada ao plano perpendicular ao eixo da bomba.

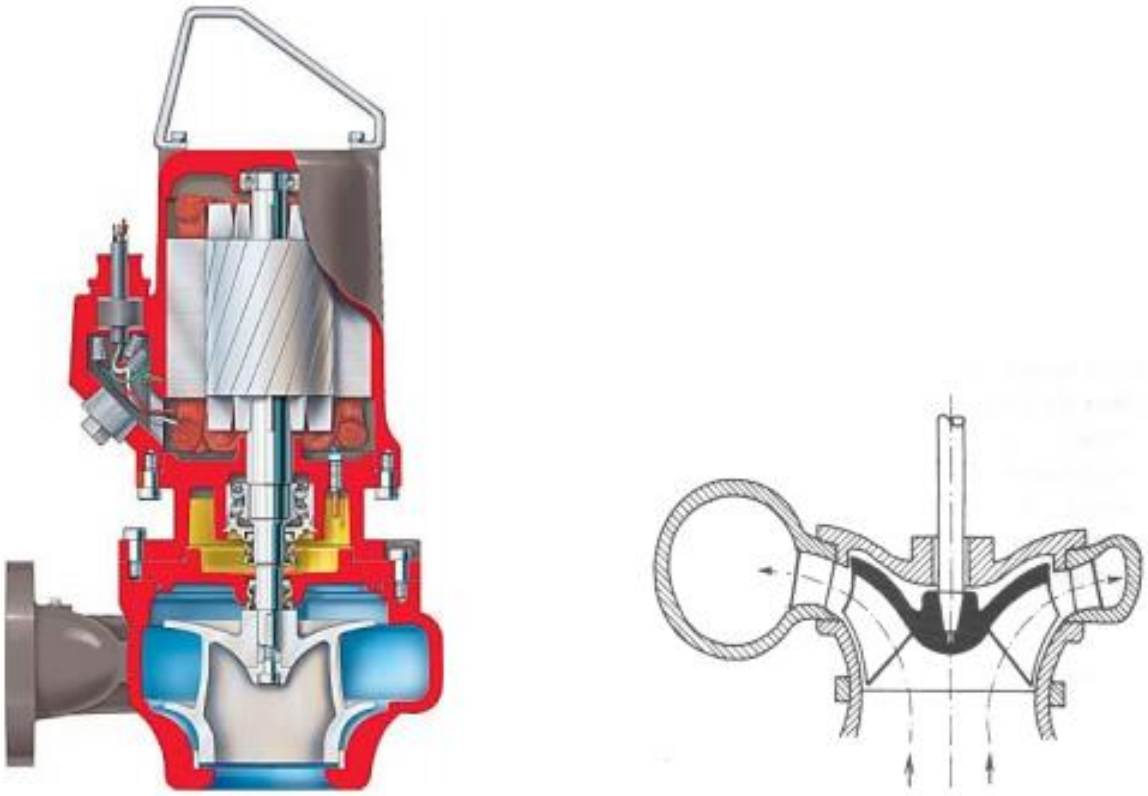

Figura 15:Bomba de fluxo misto.
Fonte: Máquinas termohidráulicas de fluxo (Repositório Online), USP 2010.

2.8.1.3 Bomba axial

Nas bombas centrífugas de fluxo axial, o formato do rotor impõe um escoamento no sentido axial. O rotor, normalmente, possui apenas uma base de fixação das pás com a forma de um cone ou ogiva. Segundo Macintyre (1977), não são propriamente bombas centrífugas, pois a força centrífuga decorrente da rotação das pás não é a responsável pelo aumento de pressão. São projetadas segundo a teoria do vórtice forçado e normalmente são utilizadas para recalcar grandes vazões e pequenas alturas de elevação, até mais de 40 metros de altura.

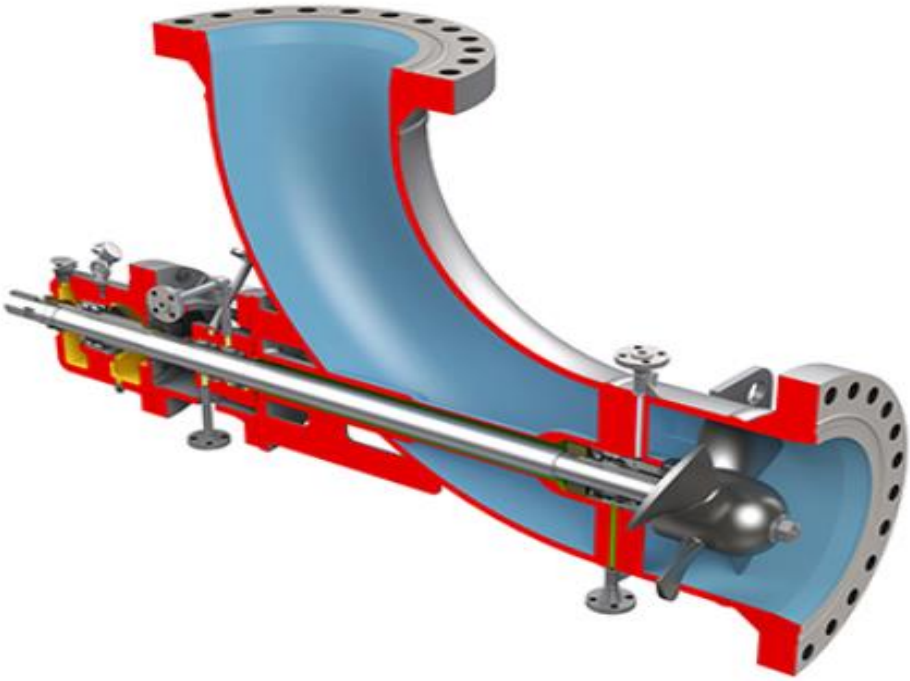

Figura 16: Bomba de fluxo axial, funcionamento através formação vórtices.
Fonte: Catálogo Fabricante FlowServe Pump, 2018.

2.8.2 Bombas de deslocamento positivo

As bombas de deslocamento positivo ou “volumétricas” são aquelas na qual a energia que é transferida ao fluido já se encontra sob a forma de pressão e é dada diretamente por meio da movimentação de um componente mecânico presente na bomba, que obriga o liquido a exercer o mesmo movimento nas câmaras, em seu interior. Uma característica destas bombas é de que existe uma relação constante entre a vazão e a velocidade do órgão propulsor da bomba.

São aplicadas para pressões elevadas e vazões relativamente pequenas em relação aos demais tipos de bombas.

As bombas de deslocamento positivo segundo a classificação de Macintyre (1977) podem ser do tipo:

- Alternativas
- Rotativas.

2.8.2.1 Bombas alternativas

Segundo a ELETROBRÁS (2009), a bomba alternativa é assim denominada devido ao funcionamento do seu pistão dentro do cilindro, realizando uma movimentação alternativa. Neste caso, o liquido recebe a ação de forças diretamente de um pistão, êmbolo ou por meio de um diafragma (membrana flexível).

Em relação à forma de acionamento, Macintyre (1977) explica que podem ser acionadas por meio de motores elétricos, motores de combustão interna ou por meio da ação de vapores.

A figura 17 representa um modelo de uma bomba alternativa de duplo efeito.

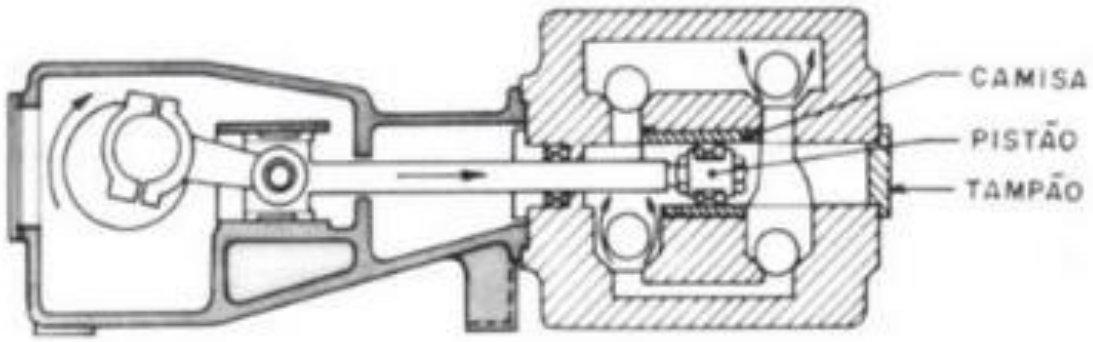

Figura 17: Bomba alternativa com pistão de duplo efeito.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

2.8.2.2 Bombas rotativas

As bombas rotativas são assim denominadas em função do movimento de rotação do seu dispositivo mecânico de impulsão. São largamente utilizadas no bombeamento de fluidos viscosos, sendo que sua vazão e pressão sofrem pequenas variações quando se opera em rotações constantes. Em relação à construção, podem ter um ou mais rotores, dependendo das necessidades de projeto e aplicação.

Nas configurações das bombas rotativas, o fluido de trabalho recebe a ação de forças provenientes do (s) rotor (es), exercendo então pressão sobre o fluido e provocando o escoamento. As forças atuantes se fazem segundo as direções do próprio movimento de escoamento do fluido.

A figura 18 ilustra o modelo de uma bomba alternativa do tipo êmbolo.

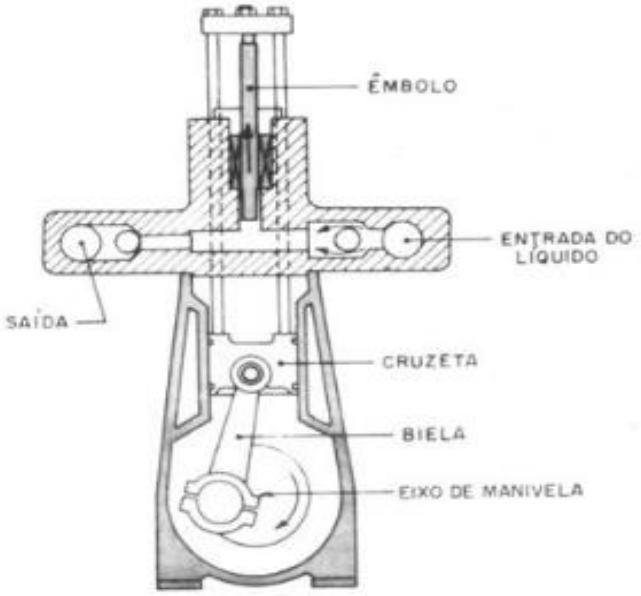

Figura 18: Bomba alternativa de êmbolo.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

2.9 Reservatório

O reservatório é um componente do sistema de bombeamento de água. O equipamento é responsável pelo armazenamento da água pluvial captada. Apenas o reservatório é responsável por aproximadamente 50 a 60% do orçamento do projeto, haja vista que o tipo de reservatório pode interferir na qualidade da água armazenada (DE PAULA, 2005).

Devido a esta onerosidade, o seu dimensionamento e posterior seleção deverá atender ao critério mais influente a fim de viabilizar toda a execução do projeto.

Quanto ao tipo de instalação, os reservatórios de água pluvial podem ser:

- Enterrados;
- Semi-enterrados;
- Apoiados;
- Elevados.

Em projetos em que a área em análise é pequena, utilizam-se normalmente os reservatórios enterrados ou suspensos, com o intuito de prover um melhor aproveitamento da área.

Além disso, quando o reservatório é enterrado, a estrutura deverá contém um acesso físico para fins de limpeza e manutenção do mesmo.

Quanto ao material dos reservatórios, eles podem ser PVC, concreto, materiais plásticos, fibra de vidro, aço inox e outros. A sua seleção dependerá exclusivamente do volume de água a ser armazenado e da qualidade desejada dessa água em relação aos fins de utilização. Em processos em que se utiliza armazenamento de água para fins alimentícios é orientado a utilização de reservatórios de aços inox.

Durante o dimensionamento do sistema, deverá ser considerada a possibilidade de ocorrência de defeito na boia do reservatório, este apresentará um extravasor ligado diretamente ao terreno natural, para que a água possa escoar nessas situações de não conformidades.

A ABNT NBR 5626/98 padroniza e informa que os reservatórios de águas pluviais deverão ser limpos e desinfetados com solução de derivado de clorado, no mínimo uma vez por ano. Ainda em relação à norma, ela orienta que o volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático.

A norma ABNT NBR 15527:2007 enfatiza os requisitos para aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, sugere a utilização de alguns métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial, são eles:

- Método Rippl;
- Método da simulação;
- Método prático alemão;
- Método prático inglês;
- Método prático australiano;
- Método Azevedo Neto.

Alguns métodos utilizados na atualidade levam em consideração a demanda de água necessária durante a utilização, para o cálculo do volume do reservatório. O método Alemão é

mais conservador e empírico, pois engloba um fator de segurança para perdas devidas a vazamentos e períodos de estiagem.

O método em questão apresenta a seguinte relação matemática:

$$V = MIN(V; D) \cdot 0{,}06 \quad (14)$$

Onde:

D: demanda de água não potável (l);

V: volume de água aproveitável (l).

O volume de água potável aproveitado é calculado através da equação 15.

$$V = P \cdot A \quad (15)$$

Onde:

P: precipitação média anual (mm)

A: área de coleta em projeção (m^2)

Tem-se então que o volume de água do reservatório, em litros, exigido pela demanda de água não potável na residência é fornecida pela equação 14. Para fins de seleção comercial, adota-se o valor superior ao valor dimensionado.

3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é demonstrar as características presentes do desenvolvimento da pesquisa sobre a utilização de recursos pluviais para prover a irrigação de um jardim residencial com 355 m² utilizando-se de um sistema de bombeamento de água. Serão apresentadas também as tabulações de dados coletados, os meios utilizados para realização da coleta de tais, o tipo de pesquisa e as variáveis do sistema.

3.1 Tipo de pesquisa

De acordo com a definição do dicionário da Língua Portuguesa Houaiss, pesquisar retrata o sentido de mitigar, com o intuito de agregar conhecimentos por meio do recolhimento de informações e elementos para um estudo específico. Sendo assim o ato de pesquisar é uma prática que deve ser constante para realização de qualquer atividade de maneira inteligente e responsável.

Segundo Marconi e Lakatos (2001, p.155), a pesquisa é tida como sendo um "procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico, que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento". Para que uma pesquisa possa ser titulada como "científica", é necessário que todo trabalho seja realizado de forma coerente, organizada e sistemática por meio do seguimento de um cronograma realizado pelo pesquisador.

Segundo Gil (2008, p.43) as pesquisas podem ser classificadas desde que se estabeleça um critério prévio para diferenciar uma das outras. Adotando-se um parâmetro que descreve a profundidade da pesquisa, obtém-se três grandes grupos classificatórios: pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa.

A pesquisa exploratória tem como objetivo principal proporcionar uma maior familiaridade com o objeto de estudo para que no futuro o pesquisador seja capaz de dispor de um conhecimento amplo e especifico sobre o assunto e abordá-lo novamente de uma forma mais específica.

Em relação à pesquisa descritiva, diz-se que tem por objetivo analisar, observar, registrar e correlacionar as variáveis que envolvem os fatos ou fenômenos, sem manipulá-los.

Por fim, a pesquisa explicativa visa principalmente à identificação dos fatores que contribuem ou agem como causa para a ocorrência de determinados fenômenos, sendo assim é conhecida como sendo a pesquisa que reflete e analisa os porquês e as razões.

Levando-se em consideração esta conceituação e com base nos objetivos gerais do trabalho, determina-se que o presente estudo está de acordo com as definições para uma pesquisa do tipo exploratória. Diz-se que, quanto ao planejamento, as pesquisas exploratórias são as mais flexíveis quando comparadas às descritivas e explicativas e normalmente não apresentam uma relação entre as variáveis, o que leva o pesquisador a apenas estudar a frequência de ocorrência dela.

Geralmente são características da pesquisa exploratória:

(a) formulação de referencial bibliográfico;

(b) estudos de caso;

(c) entrevistas não padronizadas com as pessoas envolvidas no objeto de estudo;

(d) levantamentos de dados;

(e) análise de problemas semelhantes.

Sendo assim, este trabalho busca, de forma qualitativa, realizar-se por meio de uma pesquisa de caráter bibliográfico, pesquisa documental e do estudo de caso para melhor entendimento no que tange ao aproveitamento de águas pluviais para sistemas de irrigação residencial, utilizando um sistema de bombeamento adequado para suprir a demanda.

3.2 Materiais e Métodos

Realizou-se um estudo bibliográfico a fim de auxiliar no dimensionamento do bombeamento para um sistema de irrigação residencial, utilizando-se a captação de águas pluviais. Um levantamento *in loco* de toda a área a ser irrigada foi feito, descrevendo-se as características do terreno em questão e quantificando assim, o número necessário dos componentes irrigadores, além de toda a estimativa sobre a demanda de água necessária por ciclo de trabalho. As presentes informações foram obtidas por meio de pesquisas em artigos, teses, catálogos de fabricantes, livros e outros materiais disponíveis. Foi realizado também um referencial bibliográfico sobre as normas nacionais vigentes e sobre o tratamento de águas pluviais.

O objeto de estudo foi caracterizado de acordo com os dados de consumo médio de água por ciclos de irrigação por meio de catálogos dos fabricantes de grama Esmeralda. Após definida a demanda do recurso energético, especificou-se um reservatório para armazenamento das águas pluviais. Utilizou-se, principalmente, o método dos comprimentos equivalentes para cálculos de perdas de carga, juntamente com o Ábaco de Moody para cálculos de fator de atrito na tubulação. A equação de Darcy-Weisbach foi de grande valia para determinação da altura manométrica do sistema em questão.

Finalizou-se o trabalho com a seleção dos equipamentos disponíveis, atualmente no mercado para atender o sistema de armazenamento e distribuição de água da residência, utilizando o recurso pluvial. Todos os equipamentos foram selecionados justamente para utilização de águas não potáveis, uma vez que, devido à impureza do recurso, deve-se cuidar durante a fase de projeto, para evitar o desgaste prévio do sistema quando em utilização. Para a seleção dos equipamentos, seguiu-se os passos gerais descritos abaixo:

- Determinação da altura de sucção;
- Determinação da altura de recalque;
- Determinação dos diâmetros;
- Cálculo das perdas de carga distribuídas e localizadas;
- Determinação da altura manométrica total;
- Seleção dos aspersores;
- Determinação da vazão dos aspersores utilizados;
- Calculo da vazão total;
- Seleção do reservatório;
- Seleção do conjunto moto-bomba

A seleção do conjunto moto-bomba considerou a vazão total do sistema em m^3/h, da altura manométrica total em metros, e dos diâmetros de sucção e recalque fornecidos em polegadas de acordo com fabricantes.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo KERLINGER (1967) o termo variável se define como: um conceito ou um constructo que é similar onde se expressa uma abstração formada por uma generalização de particulares como a massa, energia e força. Uma variável, uma expressão de um elemento especificado em um conjunto, este conjunto formado por todos os elementos ou variáveis podem substituir uns aos outros, assim essa variação pode ser observada e mensurada.

As variáveis são então, características observadas do fenômeno em estudo e estão presentes em todos os tipos de pesquisa, porém, nas pesquisas quantitativas elas são medidas enquanto, nas qualitativas são descritas ou explicadas.

A Tabela 2 apresenta as variáveis e indicadores da pesquisa realizada no presente trabalho.

Tabela 2: Variáveis e Indicadores.

Variáveis	Indicadores	
Vazão (m^3/s)	Modelo aspersor	Bomba
Altura Manométrica (m)	Altura de sucção Altura de recalque Perdas de carga	
Modelo aspersores	Raio alcance metros	

Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

3.4 Instrumento de coleta de dados

A coleta de dados baseia-se na reunião de informações necessárias e suficientes para o estudo de caso em questão e o agrupamento destes para a realização de uma análise futura. Os dados coletados que suportam a pesquisa são originários de revisões bibliográficas, observações, manuais de normas e da descrição de cálculos, haja vista que a natureza desta pesquisa é bibliográfica com estudo de caso, conforme havia-se dito.

3.5 Tabulação de dados

De acordo com os dados obtidos pela teoria, as formulações teóricas, tabelas dos fabricantes dos equipamentos e acessórios, serão selecionados os diâmetros das tubulações e todo conjunto moto-bomba necessário de acordo com a vazão total do sistema demandado pelos aspersores.

Utilizaram-se dois *softwares* para embasar a pesquisa: *Google Maps e Microsoft Excel*. O primeiro, com o intuito de delimitar a área de irrigação e o segundo para auxiliar o fornecimento detalhado das tabelas e gráficos que facilitarão a visualização, o entendimento e a análise dos resultados.

Por meio dos cálculos teóricos, foram previstas as perdas de carga decorrentes das características da tubulação e da topografia do terreno, o que possibilitou estimar os valores para uma altura manométrica total (m) que deverá ser fornecida pelo conjunto moto-bomba para irrigar o ponto mais alto do terreno e os pontos críticos com maiores perdas de carga.

3.6 Considerações finais

Neste capítulo, demonstrou-se o tipo de pesquisa e sua referente classificação, todas as ferramentas e os principais métodos para dimensionamento do sistema de irrigação e bombeamento utilizando água pluvial. Foram apresentados também, os materiais e os métodos, assim como as formas de coleta e tabulação empregadas e necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo a seguir, serão explicitados os resultados das caracterizações dos parâmetros e indicadores do sistema de bombeamento e irrigação de água pluvial - objeto de estudo de caso deste trabalho - assim como a utilização das equações que serão necessárias para a tabulação e cálculos. Logo em seguida, serão apresentados dados que fundamentaram a proposta para utilização do sistema com águas pluviais ao invés de águas potáveis. Estes dados serão fundamentados através da demonstração da quantidade do recurso potável que será economizado ao se utilizar o sistema com água pluvial.

4 RESULTADOS

4.1 Característica da Propriedade Residencial

O sistema de captação e bombeamento de águas pluviais é aplicado para irrigação de uma área de residência familiar, situada na região Leste da cidade de Belo Horizonte – MG, a qual tem uma população estimada em 2.501.576 habitantes em 2018, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). O consumo médio de água por habitante por dia (l/p/d) para a cidade é de 179,1 l/p/d (DEEPASK, 2013).

Em relação ao clima do município de Belo Horizonte, pode-se afirmar que se caracteriza por ser tropical de altitude, com temperaturas médias anuais de 22,1ºC. Segundo o INMET (2018) a cidade apresenta uma altitude média de 852 m acima do nível do mar com um índice pluviométrico de aproximadamente 1600 milímetros anuais (mm), sendo que as ocorrências de chuvas são mais frequentes de outubro a março. A Figura 19 apresenta a divisão regional da cidade, dentre elas a região Leste, onde está situado o objeto de estudo deste trabalho. A Tabela 3 quantifica demais informações sobre o município de Belo Horizonte

.

Figura 19: Mapa das regiões administrativas do Município de Belo Horizonte.
Fonte: Adaptado de PBH, 2018.

Tabela 3: Informações do Município de Belo Horizonte.

População Estimada em 2018	2.501.576
População em 2010	2.375.151
Densidade demográfica em 2018 (hab./km²)	7.167
Código do Município	3106200
Gentílico	Belo-horizontino
Prefeito em 2018	Alexandre Kalil

Fonte: Adaptado IBGE (2018).

A residência possui área total de terreno de 600 m², possuindo uma área verde de 355 m² em que foi plantada a grama do tipo Esmeralda Imperial. Em relação ao consumo médio de água, tem-se um volume de 22 m³ por mês (média aritmética entre o consumo dos três últimos meses: agosto, setembro e outubro de 2018).

A figura 20 delimita, em vermelho, o espaço verde presente na residência em questão.

Figura 20: Delimitação da área a ser irrigada em vermelho.
Fonte: Google Maps, 2018.

4.2 Definição da vazão volumétrica necessária

Em relação à necessidade hídrica, seguiu-se orientações do catálogo da fabricante de aspersores Rain Bird (2016), e definiu-se que uma lâmina de água de 2,5 mm deverá ser aplicada para climas tropicais de altitude. Essa informação é relevante, pois trata-se da caracterização do clima de Belo Horizonte onde está situada a referida residência. Sabendo-se que uma lâmina de 2,5 mm equivale a 2,5 L de água por m², pode-se calcular então o volume total hídrico necessário para irrigação da área através da multiplicação desse valor com a da área verde total.

A necessidade hídrica por ciclo encontra-se na Tabela 4, juntamente com outras informações relevantes:

Tabela 4: Consumo hídrico para irrigação do gramado.

Consumo água para irrigação gramado		
Área verde total	355	m²
Consumo água para irrigação	2,5	l/m²
Consumo de água total/ciclo	887,5	l

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

A vazão dos aspersores deverá suprir a demanda de 887,5 l por ciclo, ou seja, a cada irrigação realizada esta será a quantidade, em litros, demandado para se completar com eficiência, a rega do plantio.

Contudo, ao se analisar diferentes aspersores das mais várias marcas e modelos, percebeu-se que alguns apresentam a mesma distância de alcance em metros, porém com uma vazão inferior, o que demandaria um maior tempo de irrigação por ciclo, ocasionando um maior consumo de energia.

4.3 Seleção de tecnologia

Para continuidade dos cálculos, selecionou-se um aspersor do fabricante Rain Bird modelo RD04 SAM 18VAN da série 1800 mostrado na Figura 21. Decisões de projeto foram tomadas no sentido de selecionar um aspersor próprio para irrigação de jardins que utilizam

águas pluviais, visando à uma redução das manutenções preventivas, haja vista a tecnologia empregada conhecida como *Flow Field* (sistema de autolimpeza).

A Figura 21, demonstra também, as informações do modelo selecionado descado em vermelho.

Série 18 VAN

SISTEMA MÉTRICO

Trajetória de 26 °

Bocal	Pressão bars	Alcance m	Vazão m^3/h	Vazão l/s	Pluvio. mm/h	Pluvio. mm/h
360 ° Arco	1,0	4,3	0,96	0,27	52	60
	1,5	4,8	1,07	0,30	47	55
	2,0	5,4	1,20	0,33	41	48
	2,1	5,5	1,21	0,34	40	46
270 °Arco	1,0	4,3	0,72	0,20	52	60
	1,5	4,8	0,80	0,22	47	55
	2,0	5,4	0,90	0,25	41	48
	2,1	5,5	0,91	0,25	40	46
180 °Arco	1,0	4,3	0,48	0,13	52	60
	1,5	4,8	0,54	0,15	47	55
	2,0	5,4	0,60	0,17	41	48
	2,1	5,5	0,61	0,17	40	46
90 ° Arco	1,0	4,3	0,24	0,07	52	60
	1,5	4,8	0,27	0,08	47	55
	2,0	5,4	0,30	0,08	41	48
	2,1	5,5	0,30	0,08	40	46

Figura 21: Modelo Aspersor RD04 – SAM – 18VAN
Fonte: Catálogo RainBird (2016)

Para cobrir toda a área de irrigação do jardim residencial, realizou-se a disposição dos aspersores a cada 4,3 metros de distância, totalizando uma quantidade de 11 aspersores do modelo descrito acima e uma vazão de 6,71 m³/s.

Após definida a necessidade hídrica do gramado e a vazão máxima do aspersor, calculou-se o tempo que o sistema demandaria para realizar toda a operação. Os resultados encontram-se na tabela 5, a seguir.

Tabela 5: Informações Vazão e Tempo de operação.

Vazão total e tempo de operação		
Vazão unitária aspersor	0,61	m³/h
Número aspersores	11	unidade
Vazão total aspersores	6,71	m³/h
Consumo água por ciclo	0,8875	m³
Tempo de irrigação	0,1322	H

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

Uma análise rápida dos na tabela 5 fornece informações importantes sobre o sistema como um todo, principalmente sobre a vazão que a bomba deverá fornecer e o tempo de operação. Convertendo a unidade de horas para minutos, obtém-se o tempo demandado para o ciclo de irrigação igual a 7,93 minutos.

Do ponto de vista dos produtores de grama, a vazão está de acordo com o calculado, já que a grama necessita de um intervalo de tempo para absorver toda essa quantidade de água. A fabricante Rain Bird (2016) orienta e sugere que a irrigação seja realizada na parte da manhã, quando a incidência solar é menor, buscando a redução de perdas com evaporação da lâmina d'água.

4.4 Dimensionamento dos diâmetros das tubulações

Após o dimensionamento da vazão demandada pelo sistema, deve-se realizar os cálculos das tubulações de PVC por onde se processará todo o escoamento.

Existem diversas formulações para o cálculo dos diâmetros, porém, pensando na relação econômica adotou-se a equação 2 referente à ABNT NBR 92/96. Considerando-se ainda que o regime de trabalho é classificado como intermitente, uma vez que o sistema não opera em tempo integral (24 h/dia), essa equação é adequada.

Os resultados podem ser analisados na Tabela 6:

Tabela 6: Informações Diâmetro (m) e Velocidade (m/s)

Diâmetro recalque (m)	Velocidade (m/s)
0,015	10,15

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

Aplicando a equação 3 para cálculo da velocidade na tubulação de recalque chegou-se no valor de velocidade de recalque = 10,15 m/s, descrito na Tabela 6.

A ABNT NBR 92/96 estipula que os valores máximos para velocidades em tubulações de recalque e sucção, com o intuito de evitar o desgaste erosivo nas paredes e reduzir as perdas de carga ao longo da tubulação, são:

Velocidade recalque < 2,5 m/s (máximo 3,0 m/s)

Velocidade sucção < 1,5 m/s (máximo 2,0 m/s)

Como a velocidade de recalque foi superior àquela sugerida, a norma orienta utilizar um valor de diâmetro maior. Realizou-se um novo cálculo para o diâmetro de recalque e adotou-se o diâmetro comercial imediatamente superior como sendo o diâmetro de sucção, conforme a NBR 92/96. Os valores adequados para diâmetros encontram-se na Tabela 7:

Tabela 7: Informações Diâmetro (m) e Velocidade (m/s).

Diâmetros (m)		Velocidade (m/s)
Ør (calculado)	0,028	3
Ør Fabricante	0,032	2,31
Øs Fabricante	0,038	1,63

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

Utilizando a equação 2, realizou-se novamente os cálculos para adequação das velocidades nas tubulações e adotaram-se os valores comerciais de diâmetro de recalque = 1 ¼" e diâmetro de sução = 1 ½" da fabricante de tubulações. Sendo assim, as velocidades se adequaram dentro da margem estabelecida anteriormente, conforme demonstra a tabela 7.

4.4.1 Determinação do Regime de Escoamento

Para prosseguimento nos cálculos, deve-se determinar o regime de escoamento nas tubulações de sucção e recalque. Para adquirir tais parâmetros adimensionais e caracterizar o regime como laminar ou turbulento, utilizou-se a equação 7, obtendo os valores descritos na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Informações diâmetro (m) e Número de Reynolds

Número de Reynolds		Regime de Escoamento
Re Ør	74161,78	Turbulento
Re Øs	62288,11	Turbulento

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

Para Número de Reynolds > 4000, o regime de escoamento é caracterizado como sendo turbulento.

4.4.2 Determinação do Coeficiente de Atrito f

Utilizando-se o PVC como o material fabricado da tubulação, buscou-se na figura 23 o coeficiente de rugosidade média absoluta.

Material	Rugosidade média mm	Material	Rugosidade média mm
Aço laminado novo	0,0015	Ferro fundido c/ incrustação	1,5 - 3
Aço laminado usado	0,046	Ferro fundido enferrujado	1 - 1,5
Aço galvanizado	0,15	Ferro fundido novo	0,26 - 1
Aço soldado liso	0,1	Ferro fundido revestido c/ asfalto	0,12 - 0,26
Alvenaria de pedra fina	1 - 2,5	Madeira aplainada	0,2 - 0,9
Alvenaria de pedra grosseira	8 - 15	Madeira bruta	1 - 2,5
Alvenaria de tijolo	5	Polietileno	0,001
Cobre	0,0015	PVC rígido	0,005
Concreto alisado	0,3 - 0,8	Vidro	0,0015
Concreto centrifugado	0,07		

Figura 22: Rugosidade média para diversos materiais.
Fonte: Adaptado Carvalho, 1977

O valor encontrado para rugosidade média absoluta foi igual a ε = 0,005 mm. Utilizando-se a equação 8 para determinar a rugosidade relativa e o ábaco de Moody, ilustrado

na figura 11, determina-se então o fator de atrito f. Para um melhor tratamento dos valores, utilizou-se também o software gratuito Moody Chart Calculator.

Os valores encontrados em função do Número de Reynolds e da rugosidade relativa ε/D estão descritos na tabela 9:

Tabela 9: Fator de atrito em função rugosidade relativa e Numero Reynolds.

Número Reynolds		Rugosidade relativa(ε/D)	Fator atrito (f)
Re Ør	74161,78	0,000156	0,0198
Re Øs	62288,11	0,000131	0,0204

Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

4.4.3 Cálculo dos comprimentos virtuais da tubulação

4.4.3.1 Tubulação de sucção

Após o cálculo de Reynolds, define-se então a altura de sucção. O fabricante de bombas KSB (2016) orienta que a altura de sucção deverá ser a menor possível para evitar problemas de cavitação das bombas. Arbitrou-se o valor para altura de 1 m e comprimento de tubulação reta igual a 1 m. Estes valores foram obtidos pela localização geométrica do reservatório em relação ao conjunto moto-bomba. Em relação aos acessórios, utilizou-se 1(uma) curva de 90º e 1 (uma) válvula de pé com crivo.

Após definir os acessórios, utilizou-se o método dos comprimentos equivalentes nos referentes acessórios, dispostos na Figura 12, fornecida pela fabricante de tubulações de PVC. A tabela 10 enumera os acessórios e quantidades utilizados para a tubulação de sucção.

Tabela 10: Comprimentos equivalentes (sucção)

Comprimentos equivalente(sucção)		
Acessórios	**Quantidade**	**Leq(m)**
Curva 90º	1	0,8
Válvula de pé com crivo	1	12
Σ Lvirtual (Lreto (2m) + Leq) =		14,8

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

De posse do fator de atrito f e do comprimento virtual da tubulação de sucção ($\Sigma L_{virtual}$) calcula-se a perda localizada e contínua através da equação 12 de Darcy-Weisbach.

$$\Delta Hs = \frac{f \cdot Lvirtual \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (12)$$

Para a tubulação de sucção obteve-se uma perda de carga de ΔHs = 1,079 m.

4.4.3.2 Tubulação recalque

O mesmo procedimento foi realizado para a tubulação de recalque, que possui um comprimento de tubulação reta igual a 80,5. Definiu-se que na linha de recalque seriam necessários 8 (oito) "tês" de passagem direta, 10 (dez) curvas de 90º, 2 (duas) curvas de 45º, 1 (uma) válvula de retenção e 1 (um) registro de gaveta.

Após definir os acessórios, utilizou-se o método dos comprimentos equivalentes nos referentes acessórios, dispostos na Figura 10, fornecida pela fabricante de tubulações de PVC. A tabela 11 enumera os acessórios e quantidades utilizados para a tubulação de sucção.

Tabela 11: Comprimentos equivalentes (recalque).

Comprimentos equivalentes (recalque)		
Acessórios	**Quantidade**	**Comprimento equivalente (m)**
"T" de passagem direta	8	5,6
Curva de 90º	10	7
Curvas de 45	2	1,4
Válvula de Retenção	1	4
Registro de Gaveta	1	0,3
Σ Lvirtual (Lreto (80,5m) + Leq) =		98,8

Fonte: Pesquisa direta, 2018.

De posse do fator de atrito f e do comprimento virtual da tubulação de recalque (Σ $L_{virtual}$) calcula-se a perda localizada e contínua através da equação 12 de Darcy-Weisbach.

$$\Delta Hr = \frac{f \cdot Lvirtual \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

Para a tubulação de sucção obteve-se uma perda de carga de ΔHr = 16,735 m.

4.5 Altura manométrica total

Por fim, através destes dois métodos de cálculo, define-se a altura manométrica (*Hman*) do sistema, com uma margem de segurança de 20%, conforme orientado pela fabricante de aspersores Rain Bird (2016) no seu catálogo técnico.

Utilizando a equação 16 calcula-se a altura manométrica total do sistema.

$$Hman = Ho + \Delta H \tag{16}$$

Para o cálculo de ΔH considerando 20% da margem de segurança tem-se:

$$\Delta H = (\Delta Hs + \Delta Hr) \cdot 1{,}2 \tag{17}$$

Sendo assim, ΔH = 21,37 m e retornando a equação 13, tem-se que Ho = 6 m, logo a altura manométrica total é de $27{,}37m$.

Para o cálculo da altura manométrica considerou-se 1 m de desnível entre a bomba o reservatório de sucção e 5 m de desnível do terreno. A figura 24 ilustra o desnível do terreno na residência em questão.

Figura 23: Ilustração para demonstrar o desnível geométrico de 5 m nas laterais do muro esquerdo.
Fonte: Pesquisa direta, 2018.

4.6 Pressão na tubulação

Para se garantir que o sistema irá operar dentro dos padrões e que a tubulação dimensionada irá suportar a pressão exercida, deve se considerar a seguinte equação:

$$P = Hman \cdot \rho \cdot g \tag{18}$$

Adotando-se ρ (água) =1000 kg/m³, uma Hman de 27,7 m e gravidade (g) de 9,8 m/s², obtém-se que a pressão na tubulação, através da Equação 14, é de 251,099 kN/m², ou 2,51 Bar.

Sendo assim, conclui-se que a seleção do material para a tubulação do sistema, que foi previamente definida como sendo de PVC, está de acordo com o dimensionamento, uma vez que o fabricante de tubos deste material, informa que as suas tubulações para os valores de diâmetro calculado suportam até 10 Bar nas linhas de pressão.

4.7 Seleção da bomba

Após realizados os cálculos anteriores, buscou-se em catálogos de diversos fabricantes os equipamentos que atendessem às especificações determinadas durante o projeto. Sendo assim, através dos catálogos da fabricante de bombas KSB do Brasil, selecionou-se o equipamento que atendesse às seguintes considerações de projeto:

(a) Vazão mínima de 6,71 m³/s;
(b) Altura Manométrica mínima de 27,37 m.

A bomba centrífuga Meganorm 050-32–250.1 com rotação de 1750 rpm atende satisfatoriamente aos dados de vazão, altura manométrica e diâmetros de sucção, não se fazendo necessária a utilização de uma associação em série ou paralelo.

A Figura 25 ilustra o modelo selecionado.

Figura 24: Meganorm 050-32–250.1.
Fonte: KSB, 2013.

A bomba selecionada em questão opera com rotação de 1750 rpm, para uma rede elétrica de 60 Hz.

Para realizar a seleção da bomba, entrou-se com o valor de vazão de aproximadamente 6,71 m³/h na abscissa e 28 m no eixo das ordenadas de acordo com a figura 26 . De acordo com o fabricante, a intercessão formada é justamente a bomba que atende aos requisitos do cliente.

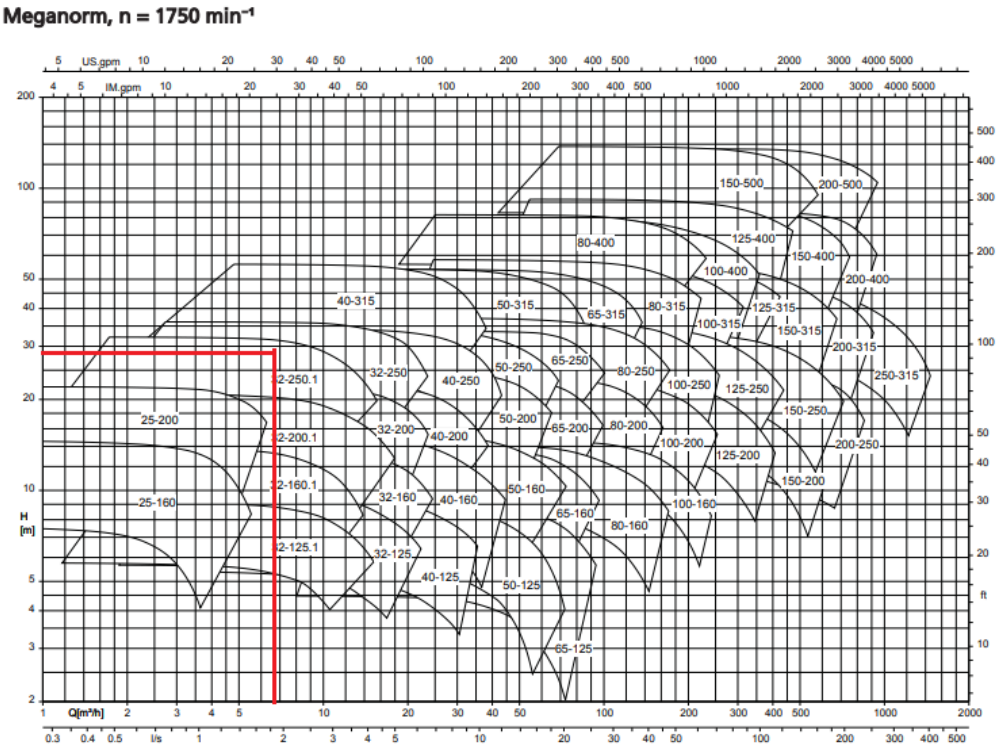

Figura 25: Seleção da bomba Centrífuga.
Fonte: Manual Seleção KSB, 2013.

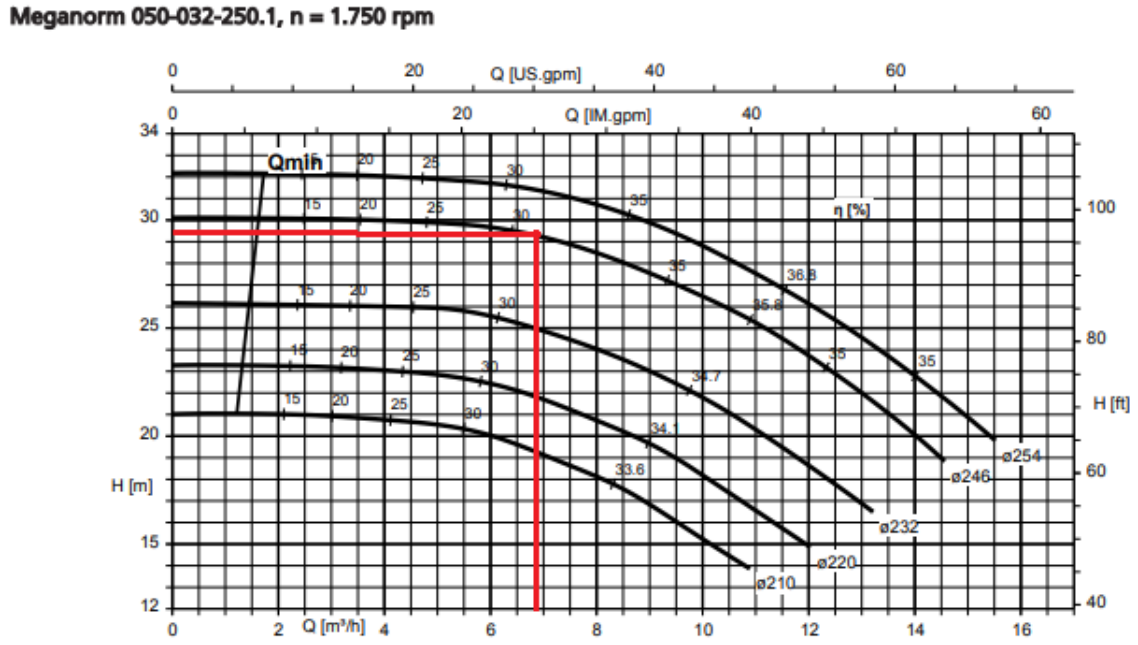

Figura 26: Seleção do rotor para o modelo especificado
Fonte: Manual Seleção KSB, 2013.

A figura 27 representa, graficamente, a curva de características da bomba selecionada. Para a seleção do rotor, traçou-se novamente os parâmetros vazão (m³/h) e altura manométrica e adotou-se, conforme o fabricante sugere, o diâmetro rotor de 246 mm adequado para uma tubulação de recalque com diâmetro de 32 mm (1 ¼”).

A figura 28 mostra o valor do NPSHr da bomba para uma vazão de 6,7 m³/h, igual a 2 m.c.a.

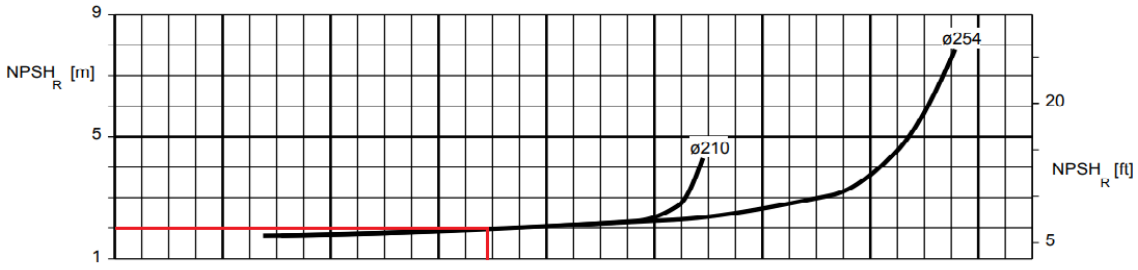

Figura 27: NPSHr da bomba selecionada.
Fonte: Manual Seleção KSB, 2013.

Uma observação deve ser realizada analisando-se a figura 28: o valor do NPSHr para o diâmetro do rotor especificado de 246 mm não consta no gráfico, porém ao entrar em contato com o fabricante, obteve-se a seguinte resposta:

“ A diferença entre os valores de NPSH para os diâmetros mínimos e máximos dos rotores é muita pequena, motivo pelo qual é apresentada apenas a curva com os valores maiores”.

Sendo assim, pode-se utilizar os dados do NPSHr dos demais rotores para fins de cálculos com o intuito de evitar a cavitação da bomba.

A potência da bomba, utilizando o rotor especificado e a vazão de projeto, é de 1,8 kW, o equivalente a 2,2 hp, conforme indica a figura 29:

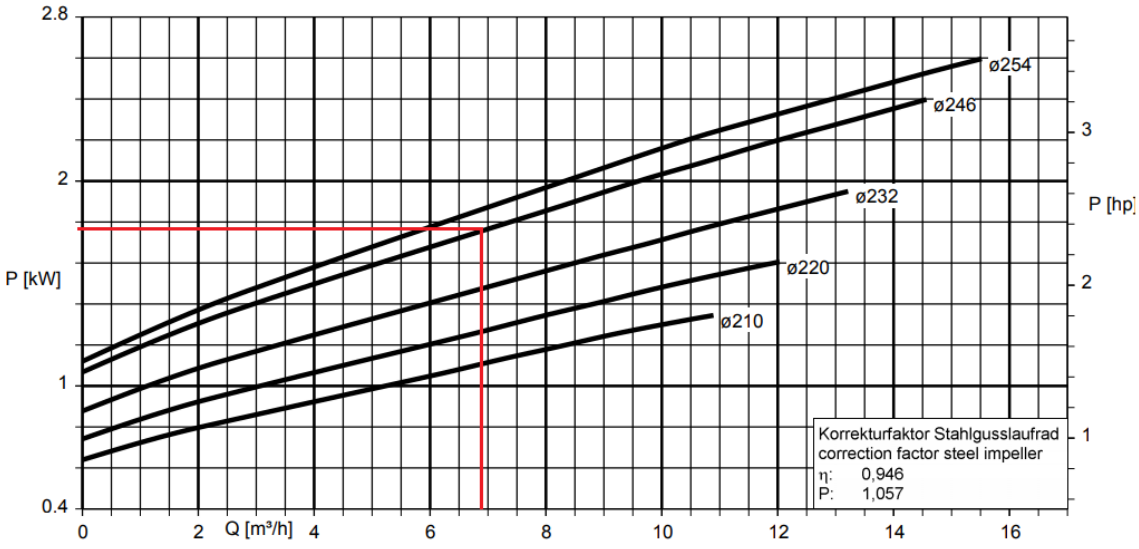

Figura 28: Potência da bomba selecionada.
Fonte: Manual Seleção KSB, 2013.

4.8 Verificação de ocorrência da cavitação

Devido à posição geográfica da cidade de Belo Horizonte, adotou-se uma altitude média de 850 m de acordo com dados fornecidos pela PBH (2016). Verificou-se que a pressão atmosférica é de aproximadamente 9,258 m.c.a e para uma temperatura média da água de 20ºC, obteve-se que a pressão de vapor é de 0,239 m.c.a. Com estes dados, calcula-se o NPSHd através da equação 15, para verificar a ocorrência da cavitação na bomba.

$$NPSHd = Plocal - Pvapor - Hsucção - \Delta Hs \quad (19)$$

Sendo que:

NPSHd: Net Positive Suction Head (m);

Plocal: pressão local (m.c.a);

Pvapor: pressão de vapor da água na temperatura de trabalho (m.c.a);

Hsucção: altura de sução (m);

ΔHs: perdas de carga na sucção (m).

Realizando os cálculos através da equação 19, observa-se que o valor para NPSHd é de 7,933 logo, verifica-se que a condição NPSHd > NPSHr é satisfeita, concluindo-se que não haverá cavitação e que não se faz necessário nenhuma alteração na tubulação de sucção.

4.9 Curva característica do sistema

Para se definir o ponto de operação da bomba, realizou-se o traçado da curva do sistema e dos dados fornecidos pelo fabricante do equipamento.

O ponto de interseção entre as curvas define o ponto de operação da bomba, desta forma verificou-se que o sistema está dimensionado de forma a atender as condições de projeto. Os resultados estão ilustrados na figura 30.

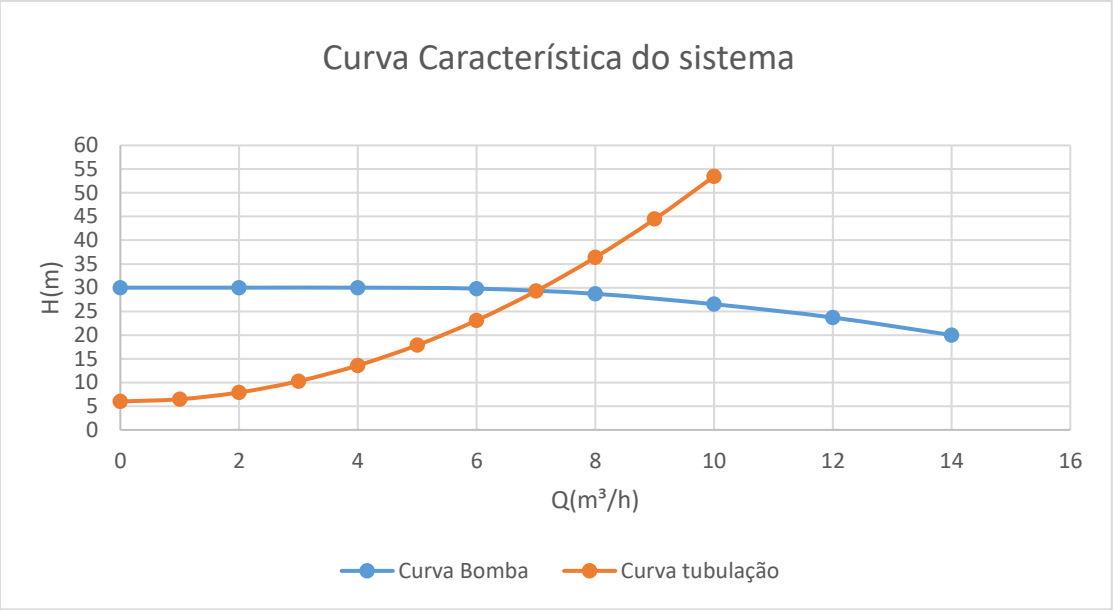

Figura 29: Curva de operação do sistema
Fonte: Pesquisa Direta, 2018.

De acordo com a figura 30, com os pontos de intersecção entre a curva do sistema e a curva da bomba, definiu-se que seria mantida a vazão de projeto de 6,71m³/h e a altura manométrica máxima de 30 m.

Com isso calculou-se a potência necessária para o acionamento, com 10% de tolerância conforme indica o fabricante KSB, por meio da equação 20.

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hman}{75 \cdot \eta} \quad (20)$$

Sendo:

Q: vazão requerida (m³/s);

Hman: Altura manométrica (m);

γ: peso específico da água (1000 kgf/m³);

η: rendimento do conjunto.

Sendo ɣ (água) =1000 kgf/m³, a vazão (Q) de 0,00186 m³/s, Hman = 27,37 m, e um rendimento de 60%.

A potência requerida para realizar o acionamento da bomba, com margem de 10% de segurança, é de um conjunto que entregue 1,2 cv para o equipamento.

4.10 Seleção do motor de acionamento do conjunto

De posse de todas as informações do sistema de irrigação residencial utilizando águas pluviais, selecionou-se o motor adequado para tal aplicação. Utilizando o valor referente à necessidade de potência para acionamento da bomba centrífuga, buscou-se em diversos catálogos de fabricantes o motor que mais se adequava aos parâmetros.

Como o valor de potência para acionamento da bomba não é um valor comercial, buscou-se o valor imediatamente superior nos referidos catálogos. O valor mais próximo foi o da fabricante WEG que fornece um motor de 1,5 cv., próprio para acionamento de bombas que operam em sistemas de irrigação.

Figura 31 : Motor WJet Pump para acionamento de bombas centrífugas em projetos irrigação
Fonte: Catálogo fabricante WEG, 2018

O motor selecionado foi o da figura 31. O fabricante fornece as seguintes características:

(a) Tensão 127/220;
(b) Frequência 60Hz ou 50 Hz;
(c) Capacitor de partida incluso;
(d) Tempo operação diária máxima 3 horas

4.10.1 Seleção do inversor de frequência

A potência requerida para acionamento da bomba centrífuga é de 1,2 cv., porém o motor entrega o valor de 1,5 c.v. na ponta do eixo, sendo assim especificou um modelo de inversor de frequência com o intuito de prover um sistema totalmente dimensionado e balanceado.

O inversor de frequência tem a função principal de explorar o funcionamento do motor em condições não descritas nas suas características construtivas, sendo assim pode-se tanto aumentar a rotação do eixo quanto diminuir, o que é o caso da problemática descrita.

Sendo assim, especificou-se o inversor de frequência modelo CFW08 1,5CV WEG, ilustrado na figura 31.

Figura 30: Inversor de frequência CFW08 1,5 C.V
Fonte: Catálogo fabricante WEG, 2018

4.11 Seleção do reservatório

Para realizar a seleção do reservatório, realizou-se o dimensionamento através do Método Prático Alemão formulado na equação 14 e 15.

$$V = P \cdot A \tag{15}$$

Portanto, o dimensionamento do reservatório enterrado se dará com os seguintes dados:

- Área de captação: A = 245 m^2;
- Média pluviométrica anual esperada: P = 1600 mm = 1,6 m;
- Consumo de água não potável: D = 9762,5 l/$mês$ = 117150 l/ano;

O volume pluviométrico de água aproveitável (Método Prático Alemão) pode ser calculado usando a equação 15.

$$V = 1{,}6\ x\ 245 = 392\ m^3 = 392.000 \text{ litros}$$

Ou seja, o volume de água de chuva estimado que poderá ser captado anualmente é de 392000 litros. Sendo que o consumo de água não potável demandado calculado através da equação 14, tem-se que V = 117150 l x 0,06 = 7029 litros.

Tem-se então que o volume de água do reservatório, em litros, exigido pela demanda de água não potável na residência é de é de 7029 litros. Para fins de seleção comercial, foi adotado um volume nominal para o dimensionamento do reservatório de 10000 litros.

Analisando os reservatórios com fornecedores, foi visto que o reservatório ideal para essa capacidade seria o enterrado. Tal reservatório teria uma altura média de 3,16 m e um diâmetro de 2,2 m.

Figura 31: Cisterna Acqualimp 10000 litros.
Fonte: Catálogo fabricante Acqualimp, 2018.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo encerra todo o trabalho, apresentando as conclusões obtidas por meio dos memoriais de cálculo para o dimensionamento do sistema.

5.1 Conclusões

Utilizando-se um sistema de irrigação com água potável verifica-se um consumo de 0,8875 m³ de água a cada vez que o sistema é operado. Utilizando a caixa d´agua selecionada de 10000 litros, e supondo que ela esteja com sua capacidade máxima de água pluvial verifica-se uma autonomia de 11 ciclos de irrigação distribuídos de acordo com a necessidade da grama esmeralda por mês. A demanda total de água com o sistema seria de aproximadamente 10 m³ por mês. Ou seja, pode-se economizar essa quantidade de água utilizando o sistema dimensionado neste trabalho para evitar o desperdício com águas potáveis. Se considerar, a implantação do sistema utilizando a água pluvial, estimasse uma redução de 47,61% no preço da conta de água considerando as médias mensais de cobrança. Essa relação é válida somente se o sistema já estivesse em operação e utilizando água potável.

O estudo de caso foi de grande importância por permitir o dimensionamento de um sistema de irrigação, utilizando equipamentos e acessórios devidamente selecionados para utilização de águas pluviais. Além do conhecimento prévio sobre escoamentos de fluidos e instalações elevatórias, o presente trabalho agregou de forma exponencial conhecimentos sobre a necessidade de se preservar o recurso hídrico natural e sobre estratégias e formas de se realizar essa economia.

O sistema de irrigação proposto para a residência situada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, possuindo tubulação de recalque 80,5 m de comprimento e um desnível geométrico do terreno de 5 m permite observar a necessidade de um conjunto moto bomba para prover a irrigação do sistema.

O dimensionamento foi realizado considerando velocidades de sucção inferior a 2,0 m/s, velocidades de recalque inferior a 3,0 m/s e tubulações de PVC com baixo fator de atrito “f”, visando à obtenção de sistema de bombeamento econômico.

A utilização do fator de atrito “f” para tubulação de PVC possibilitou uma redução na perda de carga da instalação e, ao mesmo, tempo permitiu a utilização do material através da verificação da pressão de serviço que é de 2,51 bar estando então, nos limites estabelecidos pelo fabricante que é de 10 bar.

Visando ao objetivo da pesquisa que era justamente o de utilizar águas pluviais, selecionou-se as tecnologias disponíveis comercialmente, próprias para esse tipo de recurso, buscando sempre uma adequação sustentável e viável para a implantação futura do projeto.

É evidente que, o desenvolvimento do estudo de um sistema de bombeamento voltado para a irrigação residencial pudesse em algum momento contemplar um estudo econômico, descrevendo os custos com os equipamentos, tubulações e com o reservatório, porém, como sugerido no objetivo do trabalho, o intuito era de se demonstrar que é de fato possível fazer tal dimensionamento para o estudo de caso.

Seguindo nesta mesma linha de que o projeto proposto foi o aproveitamento da água pluvial, e embora o tratamento da água não fosse sumariamente o objetivo deste estudo, desperta-se uma curiosidade para análise da qualidade da água captada por meio dos telhados e das conduções do fluido por meio de calhas e tubulações até o presente reservatório. Sendo, assim o estudo dessa análise, detêm um grande potencial para a realização de trabalhos futuros.

As áreas de captação foram dimensionadas, considerando-se os dados fornecidos pelo dono da residência que dispôs das plantas para a obtenção dos valores de áreas de contribuição por meio do telhado. Analisando os 245 m² de área de captação, verifica-se um potencial de captação de 392000 litros de água pluvial por ano, ou seja, além da utilização na irrigação, o sistema poderia ser utilizado em bacias sanitárias, lavagem de garagem e de automóveis.

5.2 Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se realizar uma análise econômica com a precificação comercial de cada tecnologia empregada estudo de caso.

A implantação de painéis fotovoltaicos, visando ao fornecimento de energia elétrica para o acionamento do conjunto moto bomba é uma excelente proposta para tornar o sistema totalmente sustentável.

Além disso, sugere-se também, a realização de um estudo sobre a inserção de sensores e tecnologias visando ao acionamento do sistema de forma automática. A utilização do sensoriamento remoto se justificaria pelo fato de que, por meio dele, seria possível obter leituras sobre a umidade do solo e principalmente da necessidade hídrica para prover a irrigação de forma adequada sem comprometer a cultura.

De acordo com a capacidade de captação da residência, sugere-se um estudo sobre a utilização da água pluvial em outros ambientes da residência, reduzindo ainda mais o consumo mensal.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANA - **Agência Nacional de Águas. Panorama Nacional: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília - DF, 2013.

AQUALIMP - DALKA DO BRASIL Ltda. **Guia de instalação Cisterna Acqualimp**. Disponível em:<https://acqualimp.com/wp-content/uploads/2016/01/Guia-de-Instala%C3%A7%C3%A3o-Cisternas-Acqualimp-1.pdf>. Acessado em: 24 nov. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.844: **Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.214: **Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.527: Água de chuva - **Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.626: **Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. **Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1943 – Institui o Código das Águas.** Rio de Janeiro, RJ, 10 de julho de 1934.

BRASIL. **Lei Federal n. º 9433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.** Brasília, DF, 08 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Institui Política Nacional de Saneamento Básico.** Brasília, DF, janeiro de 2007.

BRASIL. **Projeto de Lei Nº 7818 DE 2014. Estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção.** Brasília, DF, 2014.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CILENTO, F. C. **Soluções para o aproveitamento de água pluvial em edificações existentes por meio do desenvolvimento de reservatórios de descarte e armazenamento.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

DE PAULA, H. M. **Sistema de aproveitamento de água de chuva na cidade de Goiânia: avaliação da qualidade da água em função do tempo de detenção no reservatório.** Mestrado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2005.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Bombas: Guia básico.** Brasília, 2009.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento.** Rio de Janeiro, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnico – **Manejo da Irrigação em Hortaliças.** 3.ed Brasília, Agosto de 1989.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. **Mecânica dos Fluidos.** Escola de Engenharia Mecânica da Universidade de Purdue - EUA, 2001.

GHISI, E. **A Influência da Precipitação Pluviométrica, Área de Captação, Número de Moradores e Demandas de Água Potável e Pluvial no Dimensionamento de Reservatórios para Fins de Aproveitamento de Água Pluvial em Residências Unifamiliares.** Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para participação no Concurso Público do Edital N° 026/DDPP/2006 Florianópolis, 2006.

GIL, Antônio Carlos; **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GNADLINGER, João. **Colheita de água de chuva em áreas rurais.** Associação Internacional de Sistemas de Coleta de Água da Chuva. 2º Fórum mundial da água, Holanda, 2000. Disponível em: <https://irpaa.org/fotos/file/gnadlinger_captacao_chuva_compressed.pdf>. Acessado em 07 out. 2018

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite**. Disponível em <http://maps.google.com.br>. Acessado em 24 nov. 2018

Hutchings, I. M.; Tribology - **Friction and Wear of Engineering Materials**. Londres: Edward Arnold - (1992)

INMET – **Instituto Nacional de Metereologia**. Disponível em http://www.inmet.org.br acessado em 17 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Gráficos Climatológicos.** Brasília. 2018. Disponível em: Acesso em: 29 out. 2018

IWA – **princípios da IWA para cidades conscientes na gestão de água**. International water association. Disponível em < http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2018/03/IWA_Brochure_Water_Wise_Communities_PT_SCREEN.pdf>. Acessado em 01 out. 2018

JOHN, L. **O mundo discute água e sobrevivência**. O estado de São Paulo, 16 mar. 2003. Geral, Caderno A, p.A16.

Kerlinger, F. N. **Social attitudes and their criterial referents: A structural theory**. Psychological R eview , 74:110-122, 1967.

KSB Bombas e Válvulas. **Bomba B: Manual técnico.** Disponível em: < HTTP://WWW.KSB.COM.BR/PHP/PRODUTOS/DOWNLOAD.PHP?ARQUIVO= MT_B_ A3210_0P_2.PDF&TIPO=TECNICOS> . Acesso em 10 out. 2018

KSB Bombas e Válvulas. **Bomba C: Manual técnico.** Disponível em: http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=mt_megabloc_a2744_0_ 3p.pdf &tipo=tecnicos> . Acessado em: 10 out. 2016

KSB Bombas e Válvulas. RDL: **Manual técnico.** Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=mt_rdl_a1385_0p_4.pd f&tipo =tecnicos>. Acessado em : 10 out. 2018

KSB. **Tabela de perdas de Carga. Dados para dimensionamento de bombas hidráulicas**, Disponível em: <http://www.ksb.com.br/dw/Housing_Catalogo_Baixa_170418.pdf >. Acessado em 11 out. 2018

LIMA, J. E. F. W. **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo.** Planaltina - DF, 2001.

MACINTYRE, Archibald Josheph. **Instalações Hidráulicas.** 2ª ed. LCT, 1997

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico.** 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MAY. S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para consumo não potável em edificações.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 2004.

NBR 10844: **Instalações prediais de águas pluviais,** 1989.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PBH). Estatísticas e indicadores - Síntese de indicadores de Belo Horizonte. Belo Horizonte [2018]. Disponível em: Acesso em: 20/10/2018

RAIN BIRD. **Aspersores E: Manual Técnico.** Disponível em: < https://www.rainbird.com.br/catalogo/> acesso em 09 nov. 2018

Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: **Programa Mundial das Nações Unidas para Avaliação dos Recurso Hídricos.** Itália, 2017 .

SAUTCHÚK, C. **A. Formulação de diretrizes para a implantação de programas de conservação de água em edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

SCALOPPI, E.J. **Sistemas de irrigação por Superfície.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.139, n.12, p.12-26, 1986.

TIGRE. **Infraestrutura de Água**. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/themes/tigre2017/downloads/catalogos-tecnicos/ct-infraestruturaagua.pdf>. Acessado em: 12 nov. 2018

TOMAZ, P. – Água da Chuva: **Aproveitamento de Água da Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis.** 1ª Edição. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre o uso racional da água.** São Paulo: Navegar Editora, 2001.

TOMAZ, Plínio**. Aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis: diretrizes básicas para um projeto.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DA CHUVA, v. 6, 2007.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives.** London: Earthscan, 2002

UNESCO - Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarollo de los Recursos Hídricos 2018 – **SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA**. Relatório Nacional Disponível em: < http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf > Acesso em 17 out. 2018

WEG MOTORES ELÉTRICO: **Manual técnico.** Disponível em < https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/c/BR_MT>. Acessado 31 nov. 2018

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos.** Universidade de Rhode Island. - EUA, 2002.