



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
PLUVIAIS PARA USO NÃO POTÁVEL EM PRÉDIO COMERCIAL - ESTUDO DE
CASO**

EDER VITOR SIQUEIRA

Varginha - MG
2025

EDER VITOR SIQUEIRA

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUAS PLUVIAIS PARA USO NÃO POTÁVEL EM PRÉDIO
COMERCIAL - ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus Varginha, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra.

Varginha - MG
2025

EDER VITOR SIQUEIRA

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUAS PLUVIAIS PARA USO NÃO POTÁVEL EM PRÉDIO
COMERCIAL - ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação:
Banca examinadora:

Valéria Antônia Justino Rodrigues, Dra
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)
Unidade Varginha

José Lima Júnior, Dr.
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)
Unidade Varginha

João Marcos Guimarães Rabelo, M.Sc
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG)
Unidade Varginha

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que foi minha força quando eu me vi superado pelas dificuldades. Em segundo, à minha família que esteve comigo o tempo todo, me apoiando nos percalços do caminho e a todos que direta ou indiretamente me apoiaram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela força no caminho, nos piores e melhores momentos, à minha família que muitas vezes foi privada da minha presença em função das minhas atividades acadêmicas em especial meu filho Pedro Henrique e minha esposa Juliana.

Agradeço também aos meus pais, Luís e Aparecida, pelo apoio em todas as fases da minha vida.

Agradeço de forma especial à professora Valéria Antônia Justino Rodrigues que, mesmo estando com muitas demandas, muitas vezes sobrecarregada, sempre teve tempo disponível para o desenvolvimento deste trabalho e muitas outras demandas acadêmicas que tive ao longo do curso. Aos amigos Arthur Jackson Abreu Castro e Flaviana Rodrigues da Silva pela valiosa contribuição na parte gráfica do trabalho com seus conhecimentos no software Revit.

Agradeço a cada professor da instituição que passou o seu conhecimento com dedicação e afinho para formação deste discente que chegou à reta final.

Enfim, agradeço a cada amigo que fiz durante a vida acadêmica que me ajudou de qualquer forma a tornar as dificuldades enfrentadas mais suaves.

RESUMO

Com a crescente preocupação com a escassez e o desperdício da água, além do aumento do seu consumo nos mais variados setores da atividade humana, o emprego de técnicas que preservem suas fontes se faz cada vez mais necessárias, sendo o aproveitamento de água da chuva uma forma eficiente e bastante difundida de preservação. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo propor um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais para diminuir o consumo de água potável em uma edificação, para uso em realizadas atividades que não necessitam de água tratada de forma potável. A metodologia adotada incluiu a análise das instalações hidráulicas de águas pluviais existente na edificação, o dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl e a análise da viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais em uma edificação comercial no centro de Varginha/MG. A edificação possui uma área de contribuição total de 524,60 m² advinda do seu telhado, no qual metade foi utilizada para suprir uma demanda de aproximadamente 14 m³ em atividades como limpeza de pátios, lavagem de veículos e rega de jardins, que podem ser realizadas empregando água da chuva. Os resultados mostraram que, através do dimensionamento do reservatório utilizando o método de Rippl, um volume de 30 m³ foi capaz de suprir a demanda mensal gerando uma economia de 26% no consumo de água potável da concessionária e, conseqüentemente, no valor da fatura mensal da edificação, trazendo um retorno do investimento necessário em um período de 17 anos e 2 meses. Então concluiu-se que o sistema de aproveitamento de águas pluviais é viável em termos técnicos e econômicos, além da sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: reuso águas pluviais, uso potável, payback, método de Rippl.

ABSTRACT

With growing concern about the scarcity and waste of water, as well as the increase in its consumption in the most varied sectors of human activity, the use of techniques that preserve its sources is becoming increasingly necessary, and the use of rainwater is an efficient and widespread form of preservation. Therefore, the aim of this study was to propose a rainwater collection and storage system to reduce the consumption of drinking water in a building, for use in activities that do not require treated drinking water. The methodology adopted included an analysis of the building's existing rainwater installations, the sizing of the reservoir using the Rippl method and an analysis of the technical and economic feasibility of implementing a rainwater harvesting system in a commercial building in the center of Varginha/MG. The building has a total contribution area of 524.60 m² from its roof, half of which was used to supply a demand of approximately 14 m³ for activities such as cleaning patios, washing vehicles and watering gardens, which can be carried out using rainwater. The results showed that, by sizing the reservoir using the Rippl method, a volume of 30 m³ was able to meet the monthly demand, generating a saving of 26% in the consumption of drinking water from the utility company and, consequently, in the value of the building's monthly bill, bringing a return on the investment required over a period of 17 years and 2 months. It was therefore concluded that the rainwater harvesting system is viable in technical and economic terms, as well as in terms of environmental sustainability.

Keywords: rainwater reuse, potable use, payback, Rippl method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Índice comparativo entre alguns países do consumo diário per capta de água	17
Figura 2 –Disponibilidade hídrica em relação a população por região brasileira.....	18
Figura 3 – Demanda hídrica por setor no Brasil em 2021	19
Figura 4 – Projeção da demanda hídrica por setor no Brasil em 2040.....	19
Figura 5 – Eventos de seca por região de 2020 a 2022.....	20
Figura 6 – Demanda percentual de água por setor em Minas Gerais.....	21
Figura 7 – Demanda por água nas regiões hidrográficas de Minas Gerais.....	22
Figura 8 – Bacia hidrográfica do Rio Verde (GD4)	22
Figura 9 – Médias climatológicas, temperatura e precipitação de Varginha/MG	23
Figura 10 – Sistema de fluxo total.....	24
Figura 11 – Sistema com derivação	25
Figura 12 – Sistema com volume adicional de retenção	25
Figura 13 – Sistema com volume adicional de retenção	26
Figura 14 – Reservatório de alvenaria	29
Figura 15 – Reservatório de plástico.....	30
Figura 16 – Reservatório de aço	30
Figura 17 – Possibilidades de instalação do reservatório na edificação	30
Figura 18 – Edificação e seu entorno.....	34
Figura 19 – Parâmetros k, a, b e c da equação IDF para Varginha/MG	35
Figura 20 – Estruturas hidráulicas de escoamento, seção da calha retangular e raio hidráulico.....	37
Figura 21 – Divisão da área de contribuição do telhado em seis partes	40
Figura 22 – Áreas de contribuição para telhados inclinados	40
Figura 23 – Superfície plana vertical única	41
Figura 24 – Duas superfícies planas adjacentes perpendiculares	41
Figura 25 – Três superfícies verticais adjacentes perpendiculares com duas delas opostas.....	41
Figura 26 – Combinações das indicações de cálculo em cada parte da cobertura...42	42
Figura 27 – Formatos de seção comuns na prática e tipos de calhas normativos42	42
Figura 28 – Calhas de platibanda (a) e água furtada (b) instaladas na edificação....43	43
Figura 29 – Dimensões das calhas instaladas no telhado da edificação	43
Figura 30 – Âbaco para dimensionamento de condutores verticais	45
Figura 31 – Posição (a) e diâmetro (b) dos condutores verticais instalados na edificação.....	45
Figura 32 – Diâmetro (a) e caixa de passagem (b) dos condutores horizontais da edificação	46
Figura 33 – Pátios utilizados como estacionamento	47
Figura 34 - Veículos da frota da empresa	47
Figura 35 – Áreas utilizada para jardins	48
Figura 36 – Características gerais do reservatório (cisterna).....	50
Figura 37 – Local para abrigo dos reservatórios de água potável da edificação.....	50
Figura 38 – Localização do reservatório destinado reserva de água pluvial da edificação.....	51
Figura 39 – Traçado da tubulação de recalque para o sistema de água pluvial da edificação.....	52

Figura 40 – Perda de carga localizada em metros de tubulação de PVC rígido	52
Figura 41 – Curva característica da bomba submersa Lorenzetti	53
Figura 42 – Chave bóia utilizada nos reservatórios superior e inferior.....	53
Figura 43 – Esquema de ligação em série das chaves bóia de controle de nível dos reservatórios superior e inferior.....	54
Figura 44 – Tubulações de alimentação de água do reservatório superior	54
Figura 45 - Período de retorno do investimento no sistema.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros mínimos de qualidade da água da chuva para usos não potáveis (NBR 15527/2019)	31
Tabela 2 – Coeficientes runoff para telhado de edificações	36
Tabela 3 - Volume consumido de água para uso não potável	37
Tabela 4 – Tabela de precipitação média ao longo de 30 anos	39
Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade dos materiais utilizados na confecção de calhas	44
Tabela 6 - Simulações dos valores para as características das calhas com formato retangular	44
Tabela 7 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em l/min)	46
Tabela 8 – Demanda de água para uso externo da edificação	48
Tabela 9 – Determinação do volume do reservatório pelo método de Rippl	49
Tabela 10 – Consumo mensal e anual da edificação	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ac1 – Área de Contribuição da Calha 1

Ac2 – Área de Contribuição da Calha 2

ANA – Agência Nacional de Águas

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DN – Diâmetro Nominal

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IHP – Instalações Hidráulicas Prediais

IPAP - Instalação Predial de Águas Pluviais

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

Qd1 – Vazão de Projeto 1

Qd2 – Vazão de Projeto 2

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

UNT – Unidade de Turbidez Nefelométrica

WWF – World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	14
3	OBJETIVOS	15
3.1	GERAL	15
3.2	ESPECÍFICOS	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	16
4.1.1	<i>Mundial</i>	16
4.1.2	<i>Brasileira</i>	18
4.2	A REUSO DE ÁGUA	24
4.2.1	<i>Sistemas adotados</i>	24
4.2.2	<i>Qualidade da água para fins não potáveis</i>	31
4.3	VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	32
5	METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO.....	33
5.1	ÁREA DE ESTUDO	34
5.2	CHUVA E VAZÃO DE PROJETO	34
5.3	INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS	36
5.4	CONSUMO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL NA EDIFICAÇÃO	37
5.5	SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	38
5.6	VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	38
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento da produção industrial e agropecuária são responsáveis pela maior demanda de água no planeta. De acordo com o Atlas Irrigação, de autoria da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021a), a agricultura irrigada é o setor que mais consome água no Brasil e no mundo, respondendo, aproximadamente, a 50% do consumo de água proveniente das fontes superficiais e subterrâneos, podendo chegar a 76% até o ano de 2030.

Além dos eventos climatológicos, outros fatores, como as políticas públicas ineficazes, o desperdício, as perdas no sistema de abastecimento público, a poluição devido a atividade humana, o conflito de usos, a demanda industrial e o crescimento populacional agravam bastante o problema da escassez hídrica no mundo. A consequência deste fato, é caracterizada pela oferta insuficiente de água em uma determinada região ou período. Diante disso, verifica-se que modificações na legislação, na forma de uso e na proposta de projetos sustentáveis podem minimizar os efeitos da falta de água.

Cada vez mais regiões sofrem com o problema da oferta de água, que atinge desproporcionalmente as camadas mais vulneráveis da sociedade, colocando as pessoas deste grupo social mais expostas a doenças e a desnutrição. De acordo com o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF, 2023), 739 milhões de crianças no mundo estão expostas a escassez de água, sendo que 1,1 milhão delas vivem no Brasil. Diante disto, em um futuro próximo, constata-se que a população não terá água para os usos prioritários, ou seja, dessedentação humana e animal.

Com relação ao consumo humano, a água pode ser utilizada para duas formas distintas: uma parte destinada a higiene pessoal, para beber e cozinhar alimentos, sendo esta função a que requer a potabilidade da água e a outra, que pode ser realizada com água não potável, se destina a lavagem de utensílios domésticos, roupas, carros e calçadas, além da rega de plantas e descarga em aparelhos sanitários. Diferente da água não potável, os usos prioritários exigem tratamento da água conforme descrito na Instrução Normativa nº 01, sendo o seu acesso um processo complexo em função dos diversos fatores envolvidos

que devem considerar requisitos como disponibilidade, qualidade/segurança, aceitabilidade de suas características pelo consumidor, acessibilidade física e financeira que assegurem os princípios gerais dos direitos humanos (Razzolini; Günther, 2008; Neves; Heller, 2016; PLANSAB, 2013).

Por outro lado, para suprir a demanda por água não potável, pode-se recorrer às técnicas de reutilização que visam diminuir a demanda dos recursos hídricos para este fim. Uma destas técnicas é a o reuso da água de chuva, que é uma alternativa simples, antiga e bastante difundida que requer pouca manutenção, sendo inclusive, incentivada nos países desenvolvidos. O uso desta técnica ainda precisa vencer as barreiras institucionais, sociais e econômicas, de forma a possibilitar a implementação sustentável da política de reuso de água (Sgroi *et al.*, 2018).

Os projetos que contemplam o reuso de águas pluviais nas edificações urbanas podem ser utilizados tanto para uso interno como para o controle da vazão de pico nos dias chuvosos. O armazenamento das águas pluviais em reservatórios nas edificações ameniza o escoamento superficial para as redes de drenagem diminuindo o volume que será direcionado para locais sujeitos ao alagamento nos períodos de chuvas intensas. Ademais, diminui o consumo de água na edificação reduzindo de forma significativa o valor da fatura mensal visto que a cobrança é feita tanto pelo abastecimento da água como pela coleta/tratamento do esgoto gerado. No Brasil, entretanto, apesar de incentivos do Plano Diretor de Manejo de Água Pluviais (BRASIL, 2007), a adoção desses sistemas ainda não se tornou uma prática habitual.

Neste contexto, foi desenvolvido um estudo visando a redução do consumo de água de um prédio comercial localizado na cidade de Varginha/MG, através da instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. A edificação estudada faz uso de grande volume de água potável, fornecida pela concessionária local, para lavagem de carros e pátios da empresa de forma rotineira, além da rega de jardins.

2 JUSTIFICATIVA

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência é destinado aos usos não potáveis (Annicchini, 2005). Este fato é preocupante

uma vez que a população utiliza água potável para carrear partículas decorrentes do uso sem a preocupação com a quantidade e qualidade deste recurso. Por outro lado, ainda tem o custo do tratamento da água para torná-la adequada para o consumo humano, ou seja, o consumidor paga água potável para usos não potável. No mais, as tarifas básicas de consumo de água utilizadas pelas concessionárias são reajustadas para compensar os custos crescentes associados à captação, transporte, tratamento e distribuição de água.

Nos edifícios comerciais, a realidade não é diferente. Nestes locais, o consumo é elevado devido ao fluxo de pessoas. Entretanto, esses tipos de edificação, em sua maioria, possuem grandes coberturas, que podem ser aproveitadas como área de captação, para assim compor um sistema de reaproveitamento da água precipitada e, conseqüentemente, reduzir a demanda e o custo da fatura (Júnior, 2019). De acordo com Annecchini (2005), o uso de fontes alternativas para o abastecimento de pontos de consumo de água não potável é uma prática importante para a sustentabilidade hídrica. O reuso da água de chuva traz grandes benefícios, como exemplos pode-se citar: a conservação do recurso hídrico, o menor uso de fontes superficiais para abastecimento e a redução do escoamento superficial que minimizam os problemas de enchente nas cidades (Annecchini, 2005).

A relevância deste estudo está ligada a proposta técnica, sustentável e simples para diminuir o consumo de água potável em uma edificação comercial. Para tanto, foi proposto um sistema de aproveitamento de águas pluviais para a lavagem dos veículos da frota e dos pátios e estacionamentos, além da rega de jardins. O armazenamento da água de chuva de maneira coletiva nos centros urbanos reduz os alagamentos recorrentes nos períodos chuvosos devido ao menor volume de água que será direcionado para redes de drenagem. Ademais, acredita-se que a implantação do sistema proposto para o prédio comercial estudado possa ser um exemplo de sustentabilidade ambiental e adotado na prática nas edificações de entorno.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Propor um sistema de captação de águas pluviais para uso não potável, com viabilidade técnica e econômica, visando a redução do consumo e do valor pago pela água utilizada em uma edificação comercial.

3.2 ESPECÍFICOS

- Medir o consumo atual de água na edificação comercial;
- Determinar o volume de água para lavagem dos veículos, dos pátios e estacionamentos, além da rega dos jardins;
- Avaliar o sistema de Instalação Predial de Água Pluvial existente;
- Propor um projeto de captação e reuso de água pluviais;
- Realizar um orçamento para implantação do projeto proposto;
- Verificar a viabilidade técnica e econômica de implantação do sistema de captação e reuso de água pluviais.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.1.1 *Mundial*

A relação entre a oferta e a demanda de água é um dos principais desafios da humanidade, considerando a quantidade disponível no mundo e a tendência de aumento de uso para as diversas finalidades (Alkaisi *et al.*, 2017). Atualmente, muitos países enfrentam a escassez hídrica, provocada por diversos fatores, sendo esses, o desordenado desenvolvimento das cidades, a poluição dos mananciais de abastecimento, o aquecimento do planeta, a alta demanda da agropecuária e da indústria, o crescimento da população e a mudança de seus hábitos.

De acordo com o World Wide Fund for Nature (WWF, 2023), 25 países, que abrigam um quarto da população mundial, enfrentam escassez hídrica extremamente alta a cada ano. Dentre eles, os cinco países que enfrentam a maior pressão hídrica no mundo são: Bahrein, Chipre, Kuwait, Líbano, Omã. Ademais, alguns países do Oriente Médio, a Índia e até algumas regiões brasileiras possuem muitas áreas que sofrem com o estresse hídrico, uma vez

que o consumo de água é superior à capacidade de renovação dos aquíferos no local. Muitos dos fatores que relacionam a falta de água são por razões econômicas, estruturais e sociais, embora os países desenvolvidos consumam muito mais água do que os subdesenvolvidos e emergentes, tanto nas práticas econômicas quanto no uso direto individual (Figura 1).

Figura 1 – Índice comparativo entre alguns países do consumo diário per capita de água

País	Consumo per capita (litros/dia para cada habitante)
Estados Unidos	575
Itália	385
México	365
Noruega	300
Alemanha	195
Brasil	185
Índia	135
China	85
Gana	35
Etiópia/Haiti	15

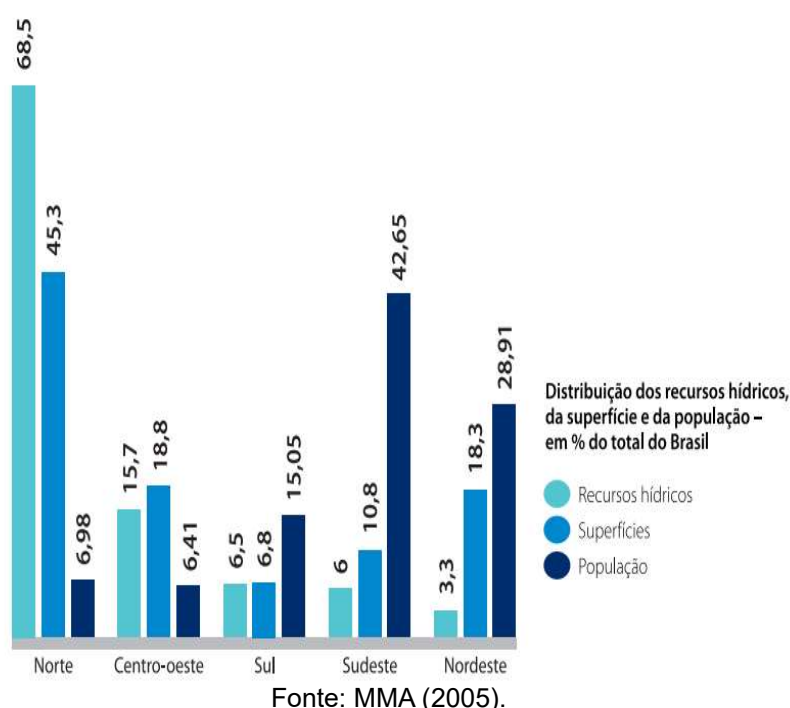
Fonte: Mundo da educação (2024).

Ainda de acordo com WWF as regiões com maior incidência, juntamente com o Oriente Médio, é o norte da África, onde 83% da população enfrenta escassez extremamente elevada, podendo chegar a 100% no ano de 2050 e o sul da Ásia que alcança 74% da população. Segundo a UNESCO (2023), 2 bilhões de pessoas (26% da população mundial) não têm acesso a água potável, e entre 2 e 3 bilhões de pessoas são afetadas pela escassez hídrica por pelo menos um mês ao ano. No período de 2021 a 2022, as secas mataram mais de 21 mil e provocaram US\$ 170 bilhões em perdas econômicas (CRED, 2023). A UNESCO estima que em 2050, entre 1,7 e 2,4 bilhões de pessoas residentes em áreas urbanas pelo mundo enfrentarão escassez de água, sendo que hoje em torno 930 milhões já estão expostas ao problema. Targa e Batista (2015) relataram que o planejamento de longo prazo da gestão da água é necessário, a fim de assegurar a disponibilidade de água e energia para consumo humano e de animais, para agricultura e indústria.

4.1.2 Brasileira

No Brasil, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005), a disponibilidade de água doce superficial corresponde a 13,7% do volume mundial disponível. Dessa parcela, 70% está localizada na região amazônica, onde a concentração demográfica é menor e os 30% restantes estão distribuídos pelo resto do país. Na Figura 2, é mostrado as distribuições populacional e hídrica, total e superficial, nas 5 regiões brasileiras.

Figura 2 –Disponibilidade hídrica em relação a população por região brasileira

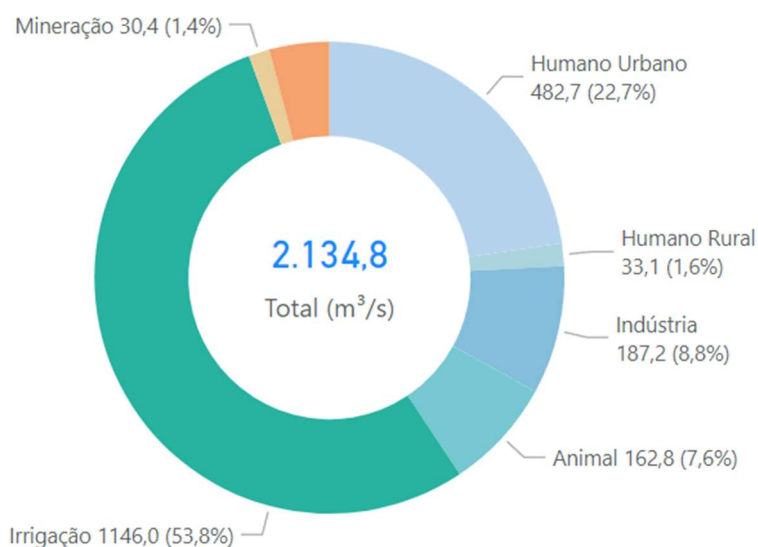


Na Figura 2, pode-se observar que a distribuição dos recursos hídricos regional é inversa a densidade populacional, ou seja, as regiões com menor concentração de pessoas, Norte e Centro-Oeste, tem maior percentual de recursos hídricos e as regiões onde se concentra a maior parte da população do país, Sudeste e Nordeste, tem menor disponibilidade de água para o abastecimento.

A demanda por água potável nas cidades brasileiras pode chegar próximo a 15 bilhões de m³ considerando o aumento previsto da população até o ano de 2040, o qual representará um aumento em torno 5 bilhões de m³ tomando como base o consumo de 1,5 bilhões de m³ no ano de 2017 (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020). Por outro lado, a ANA (2021b) relatou que o setor que mais

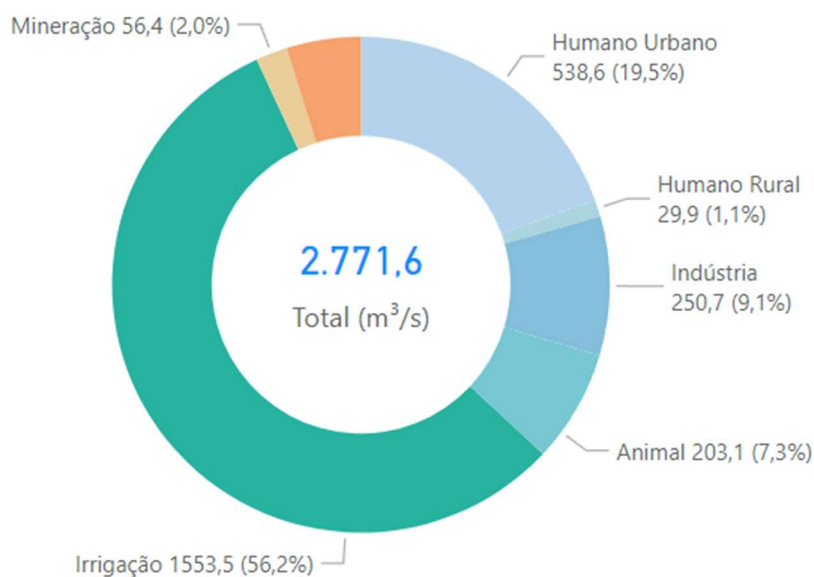
demandou água no país foi a agricultura irrigada, sendo responsável por 53,8% do total de 2134,8 m³/s consumidos, seguido pelo consumo humano urbano (22,7%) e pela indústria (8,8%). Estes dados são preocupantes, visto que será necessário maior demanda de alimentos e produtos industrializados com o crescimento da população. Nas Figura 3 e Figura 4, são apresentados a demanda hídrica de cada setor brasileiro em 2021 e a projeção de consumo para o ano de 2040.

Figura 3 – Demanda hídrica por setor no Brasil em 2021



Fonte: ANA (2021b).

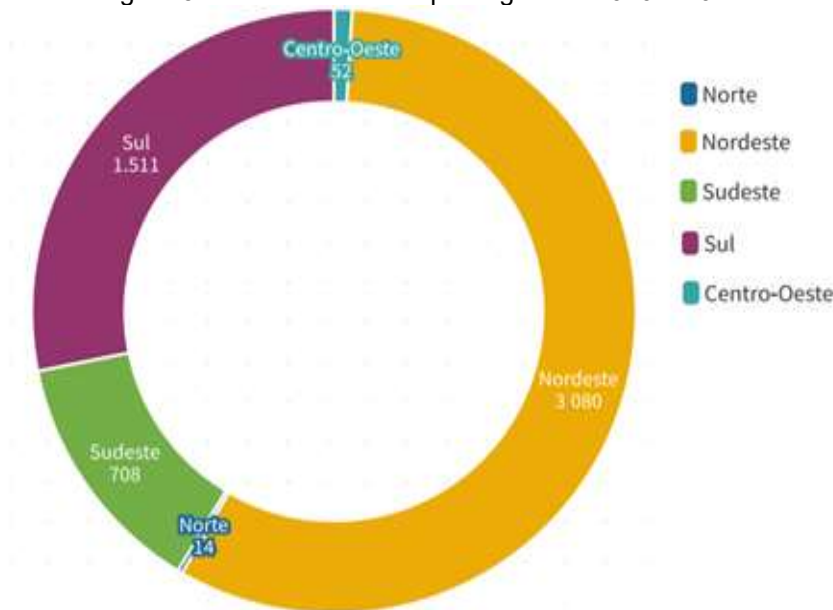
Figura 4 – Projeção da demanda hídrica por setor no Brasil em 2040



Fonte: ANA (2021b).

O aumento da demanda de água pode ser agravado com os eventos de secas e estiagens que ocorrem nas diferentes regiões brasileiras. É importante relatar que cerca de 25 milhões de pessoas já sofreram com os períodos de secas e estiagem no Brasil, totalizando 4195 eventos associados a danos humanos (ANA, 2024). Em 2022, a maior parte deles ocorreram na região Nordeste (45,1%) atingindo 58% do total das pessoas, seguida pela região Sul (39%) e Sudeste (12,1%). Na Figura 5, é mostrado a distribuição dos eventos de seca por região entre 2020 a 2022.

Figura 5 – Eventos de seca por região de 2020 a 2022



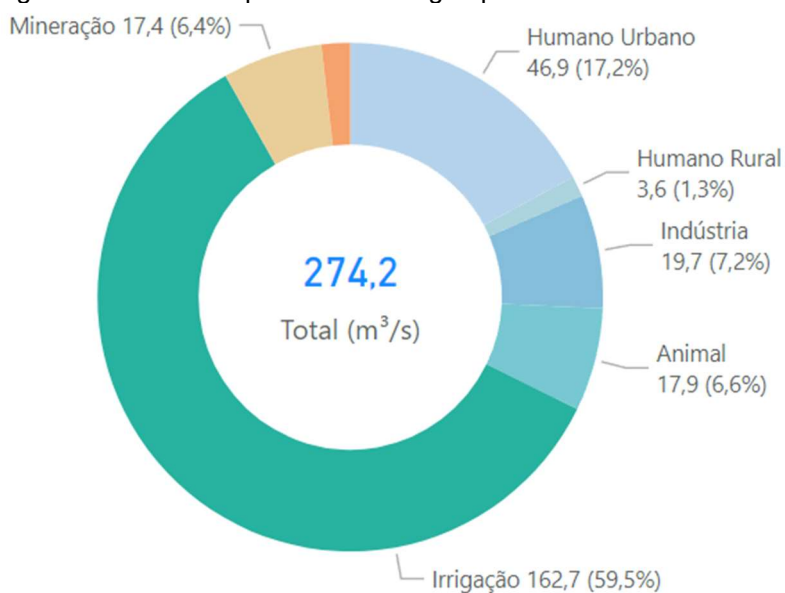
Fonte: Adaptado de ANA (2024).

A bacia Amazônica, onde se tem 70% do volume de água brasileiro, registrou a mais severa seca em 2023, onde mais de 600 mil pessoas dos cinco estados da região (Amazonas, Amapá, Acre, Pará e Rondônia) foram afetadas, além da vida aquática (THE NATURE CONSERVANCY, 2024). Entre 2003 e 2017, 51% dos municípios da federação decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública em decorrência de secas ou estiagem pelo menos uma vez, como aponta relatório da ANA (2019). As bacias hidrográficas mais afetadas estão localizadas na região semiárida, onde as temperaturas altas, as baixas amplitudes térmicas, a forte insolação, as altas taxas de evapotranspiração e os baixos índices pluviométricos influenciam diretamente no volume hídrico dos rios. Carvalho *et al.* (2017) relataram que as bacias do rio Paraopeba e do rio São Francisco foram agravadas pela ocorrência de períodos

chuvosos abaixo da média desde 2012 e pela demanda hídrica da indústria e do abastecimento público nas grandes cidades.

Em Minas Gerais, 25% dos municípios já apresentaram situações emergenciais decretadas em relação à escassez hídrica nos anos de 2003 a 2018, sendo o ano de 2016 o mais crítico do período (Fayer *et al.*, 2021). De acordo com a ANA (2021b), no ano de 2040, foi estimado que o consumo total de água em Minas Gerais pode chegar a 421,3 m³/s sendo que a irrigação irá representar a maior parcela (285,0 m³/s). Na Figura 6, é mostrado o consumo percentual de água por setor no estado de Minas Gerais.

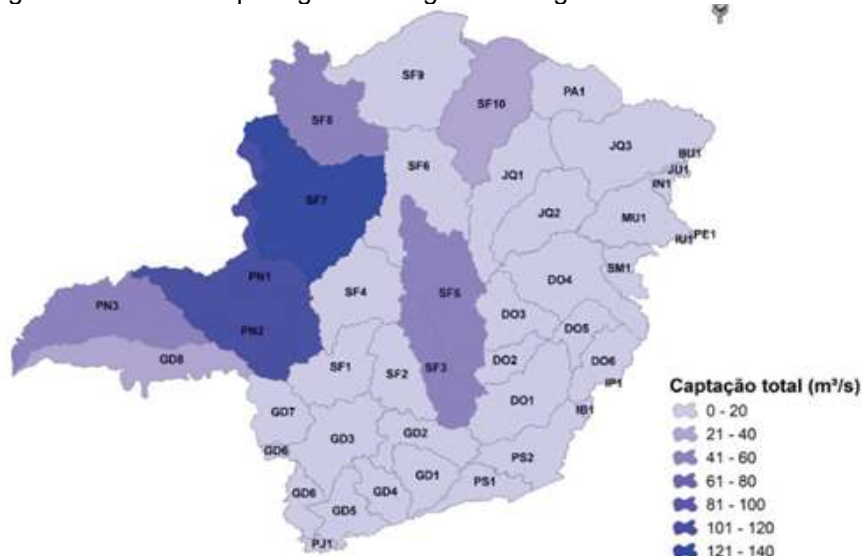
Figura 6 – Demanda percentual de água por setor em Minas Gerais



Fonte: ANA (2021b).

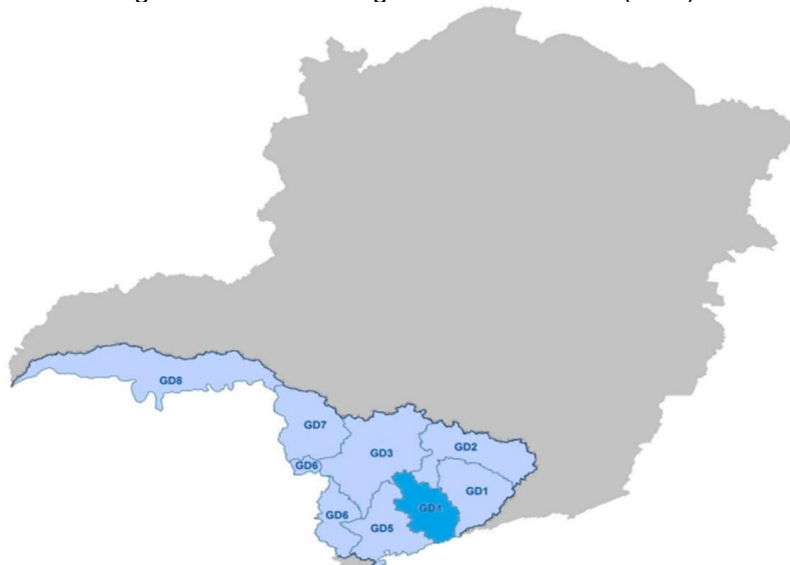
As maiores demandas estão na região Noroeste do estado, destacando-se as bacias do Rio Paracatu (SF7), afluentes do Alto Paranaíba (PN1) e Rio Araguari (PN2), o que evidencia a predominância do agronegócio na região. O consumo predominante de água na bacia dos Rios Paraopeba (SF3) e das Velhas (SF5) é para abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A bacia hidrográfica do rio Verde (GD4) abrange 31 municípios no sul do estado, incluindo a cidade de Varginha. Nas Figura 7 e Figura 8, são mostrados a demanda de água nas regiões hidrográficas de Minas Gerais e bacia hidrográfica do Rio Verde, respectivamente.

Figura 7 – Demanda por água nas regiões hidrográficas de Minas Gerais



Fonte: Adaptado de IGAM (2021).

Figura 8 – Bacia hidrográfica do Rio Verde (GD4)

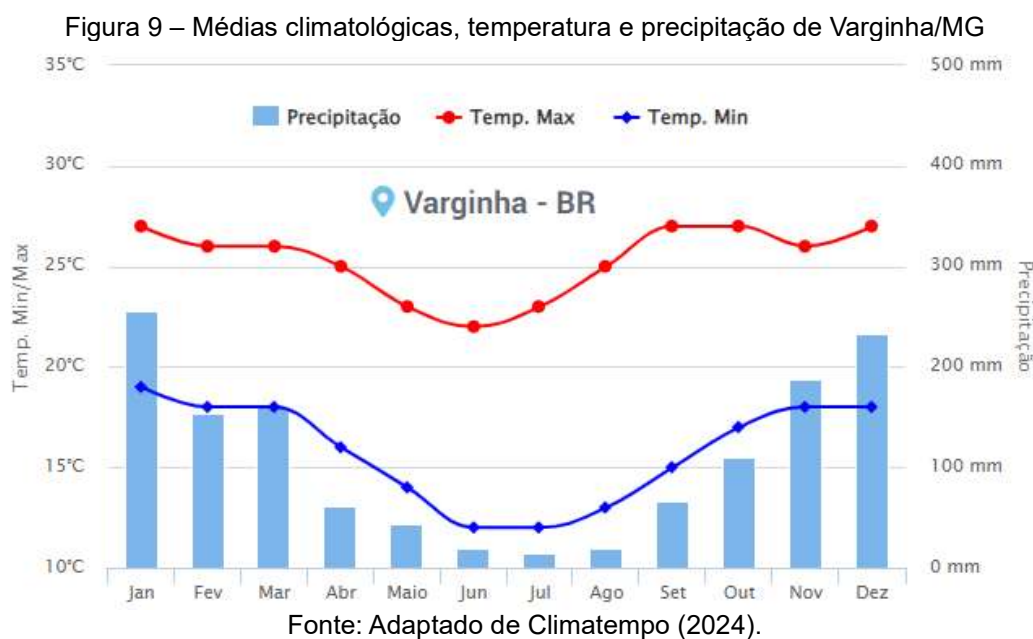


Fonte: IGAM (2021).

Varginha está localizada na bacia hidrográfica do Ribeirão Santana que está inserido dentro da bacia hidrográfica do Rio Verde, que compõe a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) GD4, integrada à bacia hidrográfica do Rio Grande (Pereira et al., 2021). Estes mananciais, Ribeirão Santana e Rio Verde, são responsáveis pelo abastecimento de água no município de Varginha, que atendem 94,1% da população por meio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). De acordo com a ANA (2021b), o consumo de água da população em 2020 (134.793 habitantes) foi de 354 L/s e a projeção da demanda para 2035, quando Varginha atingir 141.550

habitantes pode chegar a 372 L/s. Com o crescimento população, é importante que medidas em relação ao consumo consciente e o reaproveitamento de água sejam adotados nas cidades.

De acordo com a Fundação Procafé (2024), após avaliar os dados pluviométricos desde 1974, Varginha apresenta chuvas distribuídas ao longo do ano de forma irregular. As maiores precipitações ocorrem no fim e início dos anos, ocorrendo períodos chuvas intensas que causam inundações e alagamentos em alguns pontos da cidade, como exemplos: as avenidas Otávio Marques de Paiva e Zoroastro Franco de Carvalho, nos anos 2020 de 2021 (Bueno, 2022; Vieira, 2023). Na Figura 9, é mostrado o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano, onde os dados representam médias climatológicas obtidas a partir de série histórica de 30 anos.



Além das épocas que ocorrem escassez hídrica, nos meses de maio a agosto, são observadas as baixas precipitações durante o ano, podendo acarretar menor oferta de água para a população. Este fato somado as perdas de água na rede durante o abastecimento e ao desperdício deste recurso durante as tarefas diárias são causas responsáveis pelos eventos críticos que geram medidas de maior controle no fornecimento regular de água pela COPASA.

4.2 A REUSO DE ÁGUA

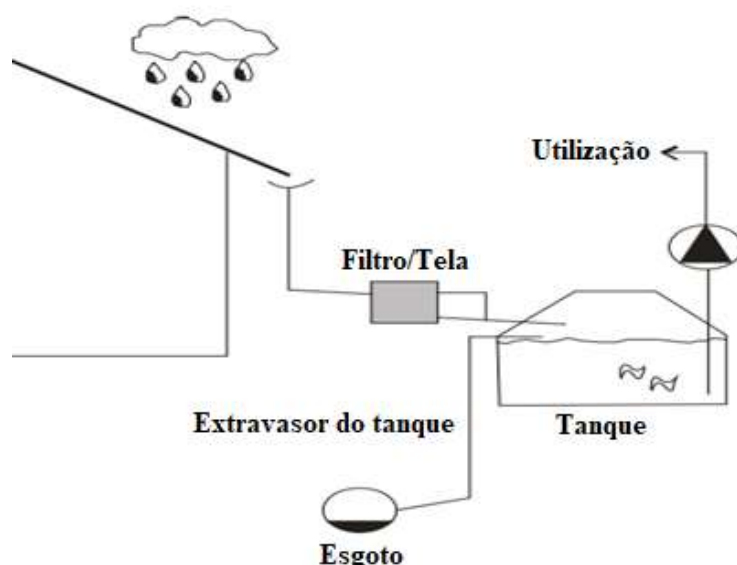
4.2.1 Sistemas adotados

O aproveitamento de água da chuva consiste em um sistema descentralizado com o objetivo de conservar os recursos hídricos, reduzindo o consumo de água potável (Koenig, 2003). Esta técnica realiza a captação da água da chuva que atinge uma superfície e são direcionadas através de calhas e/ou tubos até um reservatório para utilização posterior. As superfícies mais comuns são os telhados das edificações ou o próprio solo, onde a água captada em telhados oferece melhor qualidade quando comparada à captação oriunda de superfícies no solo (Lee *et al.*, 2000).

A água da chuva pode ser utilizada apenas para fins não potáveis, como rega de jardins, descargas em bacias sanitárias, limpeza de ruas e calçadas, lavagem de veículos e pátios, usos industriais e formação de espelhos d'água, conforme regulamenta a NBR 15527 (ABNT, 2019). De acordo com Herrmann e Schmida (1999), podem-se destacar os modelos de sistemas; fluxo total, derivação, volume adicional de retenção e infiltração no solo, para coleta de água da chuva.

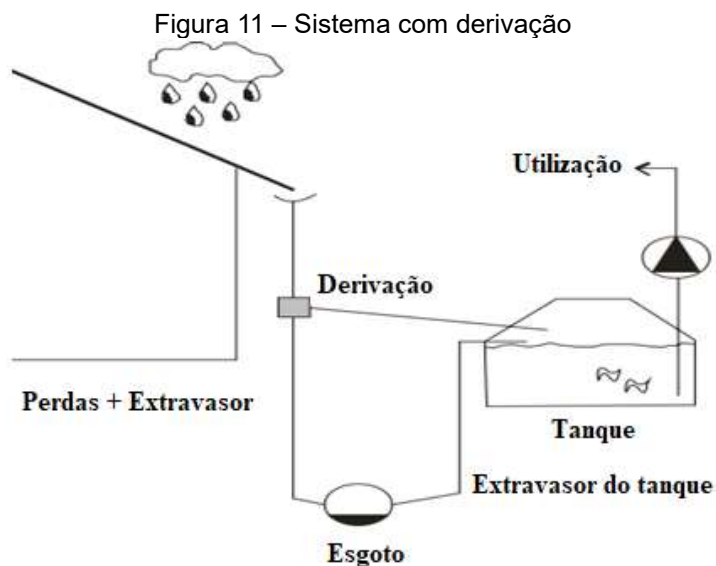
No sistema de fluxo total, a água coletada passa por um filtro antes de ser direcionada ao reservatório e a parte excedente é direcionada ao sistema de drenagem (Figura 10).

Figura 10 – Sistema de fluxo total



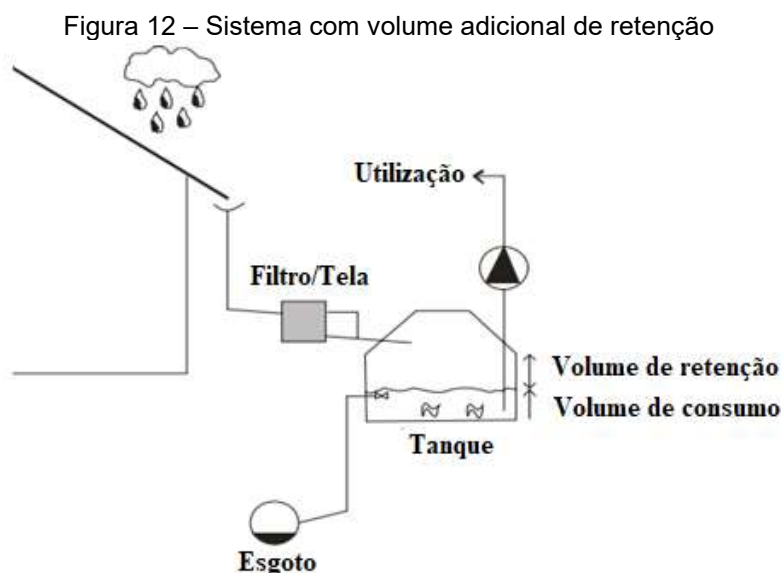
Fonte: Herrmann e Schmida (1999).

No sistema com derivação ou autolimpante ocorre o descarte da água da primeira chuva através de um desvio instalado no sistema, conduzindo a água ao sistema de drenagem para evitar armazenar impurezas (Figura 11).



Fonte: Herrmann e Schmida (1999).

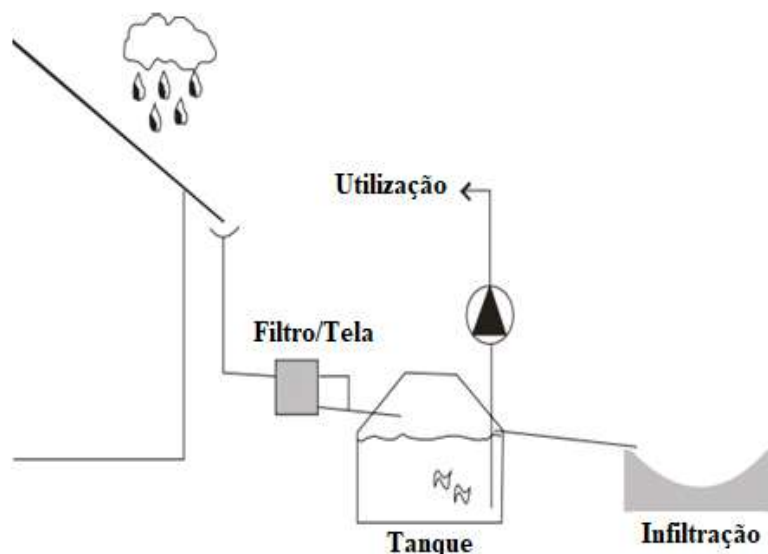
No sistema de volume adicional de retenção é utilizado um reservatório, maior que o necessário com intuito de evitar inundações, com uma válvula para regular a saída de água referente ao volume adicional (Figura 12).



Fonte: Herrmann e Schmida (1999).

No sistema com infiltração de água no solo, a água coletada passa por uma tela ou filtro antes de ser armazenada e o volume excedente é direcionado ao sistema de infiltração no solo (Figura 13).

Figura 13 – Sistema com volume adicional de retenção



Fonte: Herrmann e Schmida (1999).

Para o dimensionamento do reservatório, componente mais oneroso do sistema, a NBR 15527 (ABNT, 2019), apresenta os seguintes métodos: Rippl, Azevedo Netto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano, onde a escolha de um deles fica a critério do projetista. De acordo com Amorim e Pereira (2008), o reservatório do sistema não deve permanecer ocioso por um longo período bem como provocar o desperdício de água pluvial em detrimento da demanda necessária. Ademais, seu dimensionamento pode variar de região para região em função da variação dos dados pluviométricos e dos objetivos finais de uso. Em geral, o cálculo é realizado na tentativa de atender toda demanda no maior período possível e com o menor custo de implantação.

No método de Rippl a determinação do volume do reservatório é feita com base na área de captação e na precipitação mensal ou diária registrada, considerando que nem toda água precipitada é armazenada e correlacionando o volume ao consumo mensal da edificação, que pode ser constante ou variável (Amorim; Pereira, 2008). Campos *et al.* (2007) afirmaram que este método é o mais utilizado devido a sua facilidade de aplicação, mas, existem críticas acerca da sua utilização, principalmente no fato ter sido desenvolvido para grandes reservatórios o que acarretar um volume reservado superestimado. As Equações 1, 2 e 3 são utilizadas para calcular o volume do reservatório pelo método Rippl, conforme descrito por Favaretto *et al.* (2016).

$$Q(t) = P(t)AC \quad (1)$$

Onde:

$Q(t)$: volume de chuva captada no tempo t (m^3);

$P(t)$: precipitação no tempo t (mm);

A : área de captação (m^2);

C : coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (2)$$

Onde:

$S(t)$: volume de água no reservatório no tempo t (m^3);

$Q(t)$: volume de chuva captada no tempo t (m^3);

D : demanda ou consumo no tempo t (m^3).

$$V = \sum S(t), \text{ para valores } S(t) > 0 \quad (3)$$

Onde:

$V(t)$: volume do reservatório (m^3).

O método de Azevedo Netto, também conhecido como método Prático Brasileiro, é empírico e o cálculo do volume do reservatório é realizado por meio da Equação 4 (Rupp, Munarim; Ghisi, 2011).

$$V = 0,042PAT \quad (4)$$

Onde:

V : volume do reservatório (m^3);

P : precipitação média anual (mm);

A : área de captação em projeção no terreno (m^2);

T : número de meses de pouca chuva ou seca.

O método Prático Alemão também é empírico, sendo o reservatório dimensionado considerando o menor valor entre 6% do volume de água pluvial anual aproveitável ou 6% do consumo de água não potável. Para tanto, o volume do reservatório é calculado por meio da Equação 5 conforme apresentado por Rupp, Munarim; e Ghisi (2011).

$$V = \begin{cases} 0,06V_c \\ 0,06D \end{cases} \quad (5)$$

Onde:

V : volume do reservatório (m^3);

V_c : Volume anual de água pluvial captada (m^3);

D : demanda anual de água não potável (m^3).

O método Prático Inglês é baseado no volume ideal para o reservatório de 5% da precipitação média anual aproveitada pela área de captação, desprezando a demanda, conforme explicado por Favaretto et al. (2016). O volume do reservatório por esse método pode ser determinado pela Equação 6.

$$V = 0,05PA \quad (6)$$

Onde:

V: volume do reservatório (m³);

P: precipitação média anual (mm);

A: área de captação (m²).

Já no método Prático Australiano, Favaretto et al. (2016) destacaram que ele depende basicamente da média de precipitação mensal, da área de captação e da demanda exigida. Primeiramente, calcula-se o volume de água pluvial mensal captado por meio da Equação 7, como demonstrado por Rupp, Munarim e Ghisi (2011).

$$Q = AC(P - I) \quad (7)$$

Onde:

Q: volume mensal de água pluvial (L);

A: área de captação em projeção no terreno (m²);

C: coeficiente de escoamento superficial (0,80);

P: precipitação média mensal (mm);

I: interceptação da água que molha as superfícies e as perdas por evaporação conforme recomenda a NBR 15527 (ABNT, 2019), consideraram-se 2 mm.

Ainda de acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), o cálculo do volume do reservatório é feito por tentativas utilizando a Equação 8, no qual considera-se o reservatório vazio, no primeiro mês, até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança (Cf) entre 90 e 99%.

$$V(t) = V(t - 1)Q(t)D(t) \quad (8)$$

Onde:

V(t): volume de água pluvial no reservatório no final do mês (L);

V(t-1): volume de água pluvial no reservatório no início do mês (L);

Q(t): volume de água pluvial no mês (L);

D(t): demanda mensal de água não potável (L).

Quando $(V(t-1) + Q(t) - D(t)) < 0$, então $V(t) = 0$. A confiança C_f é estimada por meio da Equação 9.

$$C_f = 1 - \frac{N_r}{N} \quad (9)$$

Onde:

N_r : número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda;

N : número de meses considerado (geralmente 12 meses).

Mesmo não sendo um método de dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de águas pluviais comumente descrito na literatura, o programa computacional Netuno, desenvolvido no LabEEE/UFSC em 2004 (Amorim; Pereira, 2008) e validado por Rocha (2009) é bastante utilizado na região de Florianópolis/SC por sua facilidade de aplicação. O programa tem por objetivo determinar o potencial de economia de água potável em função da capacidade do reservatório, através da captação e aproveitamento de água pluvial para usos em que a água não exija potabilidade, como explicado por Rupp, Munarim e Ghisi (2011).

Com relação ao material de construção dos reservatórios, Oliveira, Christmann e Pierezan (2015) destacaram que podem ser de diversos tipos, como exemplos: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, dentre outros. Nas Figuras 14, 15 e 16, são exemplificados reservatórios de diferentes tipos de materiais.

Figura 14 – Reservatório de alvenaria



Fonte: Araújo (2020).

Figura 15 – Reservatório de plástico



Fonte: Efizi (2024).

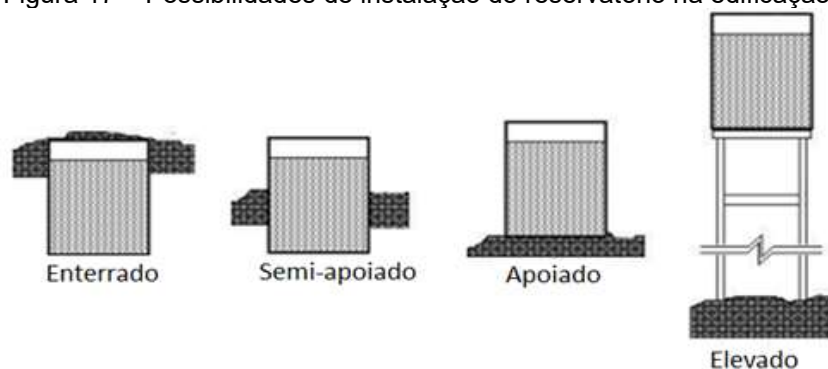
Figura 16 – Reservatório de aço



Fonte: AECWEB (2024).

Em relação a instalação do reservatório na edificação, Tomaz (2003) explica que pode estar apoiado, semi-apoiado, enterrado ou elevado, sendo que a escolha do tipo é feita de acordo com as condições do terreno. Na Figura 17, são exemplificados os tipos de reservatórios.

Figura 17 – Possibilidades de instalação do reservatório na edificação



Fonte: Adaptado de Reckziegel (2010).

Com relação aos outros componentes que compõem os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, tais como: área de captação, condutores horizontais e verticais, tubos e calhas, estes são dimensionados conforme a NBR 10844: 1989, conforme destacado por Bezerra, Christian, Teixeira e Farahbakhsh (2010).

4.2.2 Qualidade da água para fins não potáveis

May (2009) enfatiza que o reuso da água de chuva deve ser feito de forma segura, sendo necessário obedecer aos padrões de qualidade mínimos compatíveis aos usos não potáveis, para não colocar em risco a saúde dos usuários. Os parâmetros mínimos dos padrões de qualidade previstos para usos não potáveis são definidos pela NBR 15527 (ABNT, 2019) e devem ser monitorados com frequência mínima semestral (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros mínimos de qualidade da água da chuva para usos não potáveis (NBR 15527/2019)

Parâmetro	Valor
<i>Escherichia Coli</i> ^a	< 200/ 100 mL
Turbidez	< 5,0 uT
pH	6,0 a 9,0

^a A quantidade de coliformes deve ser menor que 200 unidades a cada volume de 100 mL.

Fonte: Oliveira (2019).

Mierzwa *et al.* (2007) e Teixeira *et al.* (2017) reportaram que as águas pluviais geralmente apresentam parâmetros de qualidade influenciados pelas condições do entorno em que ocorre a captação, como a proximidade de indústrias, rodovias e construções, que correspondem a pequenas partículas de sólidos (poluição do ar) e, também, a presença de vegetação arbórea e fezes de animais, dentre eles pássaros, que causam contaminação microbiológica da água.

Além dos aspectos previamente mencionados, a qualidade da água de chuva também varia em função do tipo do material utilizado na cobertura da edificação, convencional (cerâmicas e fibrocimento) ou telhado verde (Ghaffarian Hoseini *et al.*, 2016; Olaoye; Olaniyan, 2012). Mesmo utilizando telhado verde, Morgan, Celik e Retzlaff (2013) verificaram maior turbidez nas amostras

coletadas durante o primeiro momento das chuvas (550 UNT) seguida de redução após um segundo evento de chuva (50 UNT).

O descarte do volume inicial, considerado de lavagem de toda atmosfera e superfície de captação, é fundamental para diagnosticar a situação atmosférica antes de cada evento de chuvas (Guimarães *et al.*, 2016). Para prevenir a deterioração da qualidade da água no reservatório, a referida norma ainda recomenda o uso de grades e telas para remoção de sólidos indesejáveis como folhas, detritos e insetos. Salla *et al.*, (2013) relatou que o descarte dos primeiros 2,5 mm de água pluvial (*first flush*) associado ao sistema de retenção de sólidos suspensos na entrada do reservatório de armazenamento, seria suficiente para que todos os parâmetros de qualidade da água respeitassem as recomendações normativas.

4.3 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

A água de chuva é fornecida gratuitamente e o custo do armazenamento pode ser recuperado com a economia do volume de água tratada e, consequentemente, promover maior sustentabilidade devido à redução de energia gasta no tratamento da água bruta e menor demanda nos mananciais (Conicelli; Hirata, 2016). O aproveitamento pluvial é visto de forma positiva, sendo que a viabilidade econômica é realizada considerando o gasto para implantar o sistema de reuso com a redução da demanda de água potável, ou seja, comparando o valor pago consumido na residência pelo volume armazenado para os usos não potáveis (Zanella, 2016).

No mais, projetos que visam o uso de águas pluviais na edificação tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores e, entre eles, Giacchini e Andrade Filho (2006), Silva (2007) e Andrade *et al.* (2019) comprovaram viabilidade técnica e econômica em seus estudos. Basicamente, a implantação do sistema depende da precipitação, da área de captação e da demanda de água. (Ribeiro; Gomes, 2020), Herrmann e Schmida (1999) relataram que um sistema padrão contribui significativamente para a preservação dos mananciais, uma vez que utiliza água não potável para descargas em vasos sanitários, irrigação de áreas verdes e, em alguns casos, até mesmo para abastecer máquinas de lavar roupas em residências.

Por outro lado, a implantação do sistema torna-se útil para residências cujo consumo de água fica em torno de 25 m³/mês (Mota; Manzanares; Silva, 2006). Para residências com consumo inferiores, o sistema torna-se inviável, pois a taxa de retorno do investimento é bastante pequena considerando os custos de implantação e as tarifas praticadas pelas concessionárias. Pode ser que futuramente, com o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis, o sistema possa ser viável para consumos inferiores a 25 m³/mês. Outro ponto favorável é a redução da tarifa para menores consumos de água, visto que a cobrança pelo uso é feita de forma subsidiada, ou seja, a tarifa está relacionada com os volumes faturados em bloco e com a proporção de seus valores entre os tipos de consumidores (Martins; Fortunato, 2007).

Júnior, Dias e Gadelha (2008) reportaram que a identificação dos benefícios e custos em projetos de engenharia começam pela definição da vida útil ou alcance, nas Instalações Hidráulicas Prediais (IHP) é da ordem de 20 anos. De acordo com os pesquisadores, o aproveitamento de águas pluviais é viável economicamente para os cenários de maior demanda de água não potáveis, ou seja, reservatórios maiores fornecem maior retorno do investimento financeiro para qualquer que seja o cenário de cobrança das tarifas. Ademais, subsídios do governo, incentivando a consciência ambiental, poderia aumentar o número de reservatórios de água pluvial (Roebuck; Oltean; Tait, 2011; Guedes; Ribeiro; Vieira, 2014).

5 METODOLOGIA APLICADA NO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em três partes, sendo elas: 1) análise técnica comparativa entre as instalações de água pluvial, existente e calculada, com base na NBR 10884 (ABNT, 1989); 2) dimensionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis utilizando a NBR 15527 (ABNT 2019) e 3) viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva utilizando a Instalação Predial de Água Pluvial (IPAP) já construídas na edificação.

5.1 ÁREA DE ESTUDO

O projeto do sistema de reuso foi proposto para uma edificação comercial, construída no final da década de 80, localizada na cidade de Varginha – MG onde está instalada uma emissora de televisão. A água potável, fornecida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), é utilizada para lavagem de pátios e carros da frota da empresa, além da rega dos jardins. Na Figura 18, é mostrado a localização da edificação e o seu entorno, onde é observado as antenas parabólicas, responsáveis pela recepção via satélite dos sinais de televisão, instaladas sobre o telhado.

Figura 18 – Edificação e seu entorno



Fonte: Autor (2024).

5.2 CHUVA E VAZÃO DE PROJETO

Para determinar a intensidade pluviométrica do local, foi utilizado a equação IDF (intensidade, duração e frequência), proposta por Koutsoyiannis *et al.* (1998), com base em análises probabilísticas de chuvas máximas, conforme mostrado na Equação 10. A equação IDF é amplamente empregada em obras de engenharia, que envolvem hidrologia e hidráulica, para prever chuvas extremas para um tempo de retorno considerado para o projeto.

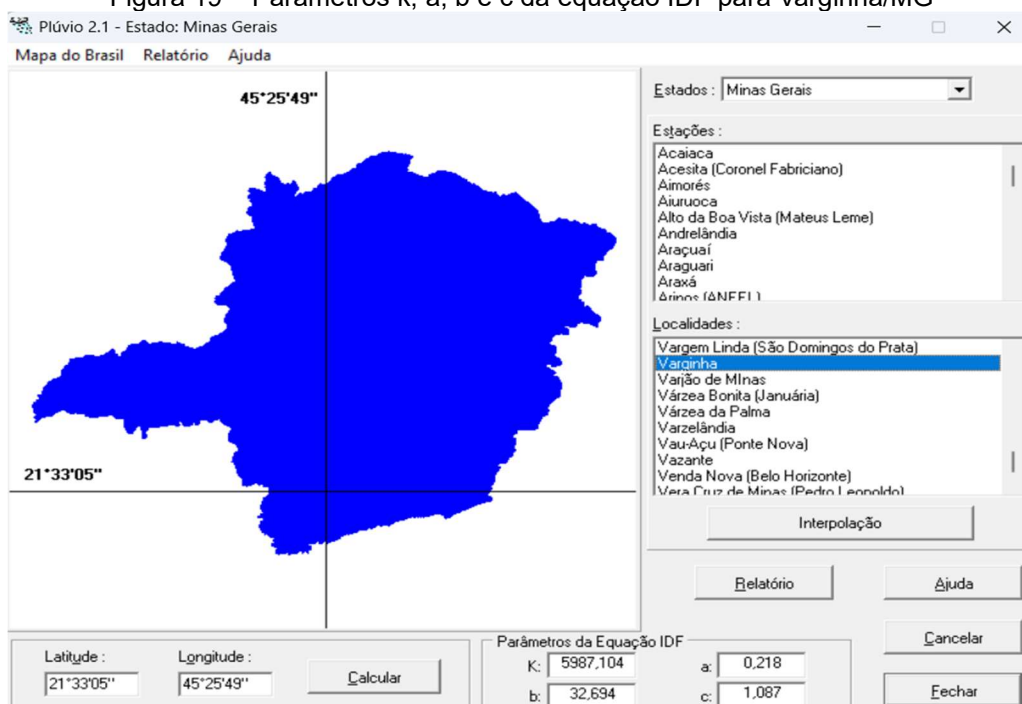
$$I = \frac{KT_r^a}{(t + b)^c} \quad (10)$$

Onde:

I: intensidade da precipitação em milímetros por hora (mm/h);
 K, a, c: parâmetros ajustados com base nos dados históricos de precipitação que dependem da localização geográfica;
 T_r: tempo de retorno (anos);
 t: tempo de duração da chuva (minutos).

Para o tempo de retorno T_r e para o tempo de duração t, a NBR 10844 (ABNT, 1989) recomenda 25 anos para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possam ser tolerados e 5 minutos de duração para que chuva contribua para o escoamento, respectivamente. Os parâmetros K, a, b e c foram obtidos a partir do software Pluvio 2.1 (Universidade Federal de Viçosa, 2020) (Figura 19), que faz uma interpolação de dados para o fornecimento destes valores para a cidade de Varginha.

Figura 19 – Parâmetros k, a, b e c da equação IDF para Varginha/MG



Fonte: Pluvio 2.1 (2024).

Conhecendo a intensidade pluviométrica do local e a área de contribuição da edificação, foi calculado a vazão de projeto do telhado pelo método racional (Equação 11).

$$Q_d = \frac{CIAc}{60} \quad (11)$$

Onde:

Q_d: vazão de projeto da chuva (L/min);

C: coeficiente de *runoff* (adimensional);
 I: intensidade pluviométrica (mm/h);
 Ac: área de contribuição (m²).

O coeficiente *runoff*, que representa a razão entre os volumes de água precipitado e escoado superficialmente, depende da natureza da superfície. Na Tabela 2, são mostradas as faixas de valores do coeficiente *runoff* para diferentes materiais utilizados em coberturas de edificações.

Tabela 2 – Coeficientes runoff para telhado de edificações

Material do telhado	Coeficiente de runoff
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, pvc	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2011).

No estudo, foi considerado coeficiente runoff igual a 1 para representar a condição crítica do escoamento, ou seja, 100% volume precipitado contribuiu de forma efetiva para a vazão de projeto.

5.3 INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS

A Instalação Predial de Água Pluvial (IPAP), dimensionada com base na NBR 10884 (ABNT, 1989), foi utilizada para avaliação do funcionamento do sistema de drenagem existente na edificação. Como não existe o projeto da IPAP, as informações foram obtidas *in loco* através do registro fotográfico e das medidas por meio de trena das estruturas hidráulicas do sistema de drenagem. Com as informações coletadas foram feitas representações do sistema de drenagem no Revit.

As calhas foram dimensionadas pela equação de Manning-Strikler (Equação 12) e os diâmetros dos condutores verticais e horizontais foram obtidos por ábacos e tabela (itens 5.6 e 5.7 da NBR 10844), respectivamente.

$$Q_c = 60000 \frac{S}{n} R_h^{2/3} i^{1/2} \quad (12)$$

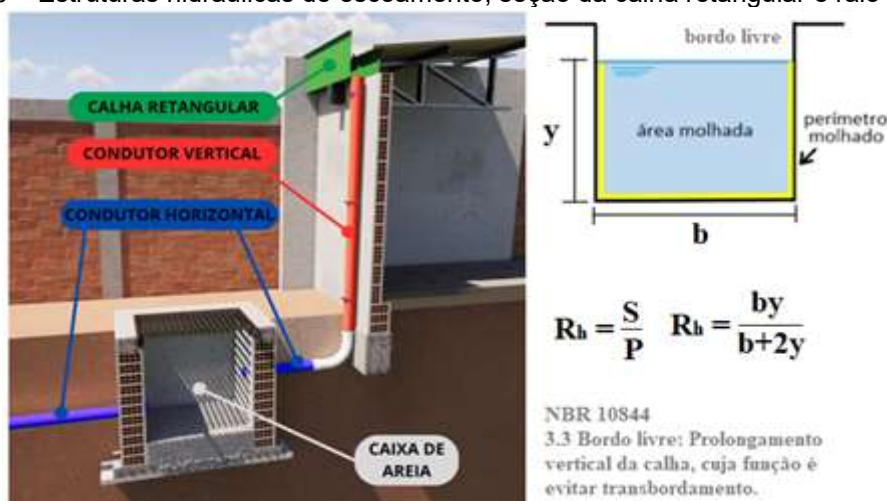
Onde:

Q_c: vazão de projeto da calha (L/min);

S: área da seção molhada (m²)
n: coeficiente de rugosidade (adimensional);
R_h: raio hidráulico (m);
i: declividade da calha (m/m).

As estruturas hidráulicas já instaladas na edificação, assim como o corte da seção de escoamento da calha com o bordo livre e as equações para o cálculo do raios hidráulico foram representados na Figura 20.

Figura 20 – Estruturas hidráulicas de escoamento, seção da calha retangular e raio hidráulico



Fonte: Adaptado de Projetista Pleno (2024); NBR 10844 (ABNT, 1989).

5.4 CONSUMO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL NA EDIFICAÇÃO

O consumo de água em uma residência depende tanto da tipologia da edificação como do clima, da localidade, do número de usuários e das influências socioculturais, entre outros fatores (Medeiros *et al.*, 2023). Para simular o consumo de água para o uso externo na edificação, foi utilizado como referência volumes de literatura, conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Volume consumido de água para uso não potável

Uso	Unidade	Consumo (L)	Referência
Lavagem de pátios	(L/m ²)/dia	1 a 2	Tomaz (1999)
Lavagem de carros	L/carro	150	Tomaz (2003)
Rega de jardins e gramados	(L/dia)m ²	1,5	Creder (2006)

Fonte: Do autor (2024).

Com os volumes da Tabela 3 e o histórico de consumo, obtido pelas informações da edificação com a COPASA, foi estimado a demanda média mensal para os usos não potáveis, ou seja, regar plantas e lavar os veículos e os pátios, do local.

5.5 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A edificação possui uma instalação IPAP que faz a coleta das águas de chuvas, advindas dos telhados e, as direciona para o sistema de drenagem urbano. Então, o sistema de aproveitamento de água pluviais foi proposto com o objetivo de aproveitar IPAP existente na edificação sendo necessário dimensionar o reservatório inferior de água pluviais de acordo com a NBR 15527 (ABNT 2019) pelo método Rippl e o sistema de recalque conforme literatura técnica. O método Rippl utiliza as médias mensais de chuva para atender a demanda estimada para uso não potáveis.

5.6. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Além de reduzir o desperdício, fontes alternativas para usos não potáveis geram economia na fatura mensal, pois, passa a utilizar a água de chuva no lugar da água potável, cujo tratamento é cobrado pela concessionária, para fins menos nobres (Rezende; Pizzo, 2007). A viabilidade econômica foi avaliada com base no volume de água potável economizado mensalmente na fatura em comparação com o consumo antes da implantação do sistema. O tempo gasto para recuperação do investimento foi determinado pelo método *payback* que é mais fácil de ser utilizado e compreendido e, também, mostra quando o retorno financeiro do investimento inicial é obtido (Casarotto; Kopittke, 2000). Este método (Equação 13) utiliza uma taxa mínima de juros chamada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa uma taxa mínima de retorno que um investidor espera obter quando investe em um projeto, considerando o risco envolvido e o custo de oportunidade do capital (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2013).

$$VP_t = \frac{FC_t}{(1 + i)^t} \quad (13)$$

Onde:

VP_t: valor presente no período t;

FC_t: fluxo de caixa no período t.

i: taxa de desconto (custo de oportunidade ou TMA);

t: tempo (em anos, meses, etc.).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varginha possui clima tropical de altitude, com estações bem definidas e chuvas intensas que geralmente ocorrem no início e final do ano. Analisando a série histórica de 30 anos, foi observado que o período chuvoso abrange os meses de novembro a março, sendo janeiro o mês com maior ocorrência de precipitações, registrando a média de 255 mm e a estação seca compreende os meses de junho a agosto, tendo julho como o mês menos chuvoso, onde a média foi apenas 15 mm (Climatempo, 2024). Na Tabela 4, é apresentada a média de precipitação mensal para a série histórica de 30 anos.

Tabela 4 – Tabela de precipitação média ao longo de 30 anos

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	255
Fevereiro	153
Março	160
Abril	62
Maio	43
Junho	20
Julho	15
Agosto	20
Setembro	67
Outubro	110
Novembro	188
Dezembro	233

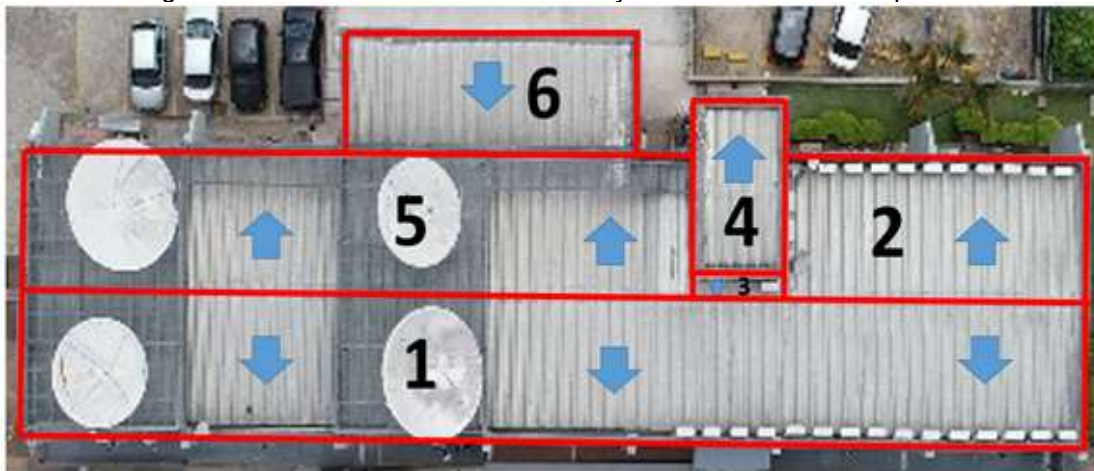
Fonte: Adaptado de Climatempo (2024).

O índice pluviométrico (I), referente a chuva máxima, foi de 233,65 mm/h, considerando o tempo de retorno de 25 anos e a duração da precipitação de 5 min, conforme calculado no memorial de cálculo (APÊNDICE I), utilizando a equação IDF (Equação 10) modificada com os parâmetros k, a, b e c obtidos do software Pluvio 2.1 para a cidade de Varginha.

A IPAP da edificação é composta por uma cobertura construída com telhas metálicas termoacústicas, cujo sistema de drenagem possui duas calhas metálicas galvanizadas, além de rufos, pingadeiras, condutores verticais de ferro fundido e condutores horizontais de PVC. As medições do telhado e das

platibandas foram realizadas *in loco* por meio de uma trena e representadas no projeto arquitetônico, utilizando o software Revit (Autodesk, 2023) (APÊNDICE II). Com o layout da cobertura da edificação, foram calculadas as áreas de contribuição (A_{c1} e A_{c2}) que ecoam para as calhas 1 e 2, conforme as indicações de cálculo da NBR 10844 (ABNT, 1989). Como o telhado é bastante grande, a área foi dividida em seis partes, numeradas de 1 a 6 conforme mostrado na foto da Figura 21.

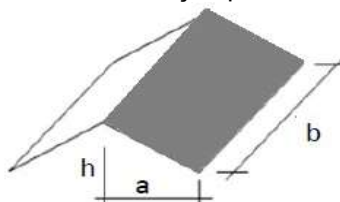
Figura 21 – Divisão da área de contribuição do telhado em seis partes



Fonte: Do autor (2024).

Após observar o sentido das águas, foi verificado que as seis áreas de contribuição são formadas por telhados inclinados e platibandas. Sendo assim, foram utilizadas as indicações de cálculo para as superfícies inclinada (Figura 22), plana vertical única (Figura 23), duas planas verticais adjacentes perpendiculares (Figura 24) e três planas verticais adjacentes perpendiculares com duas delas opostas (Figura 25).

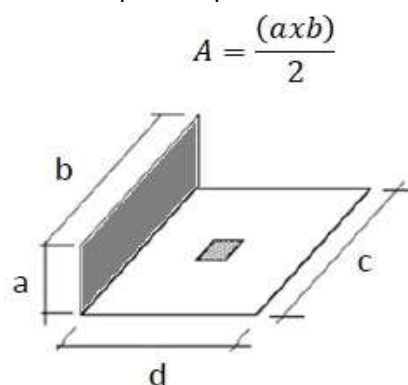
Figura 22 – Áreas de contribuição para telhados inclinados



$$A = \left(a + \frac{h}{2} \right) \times b$$

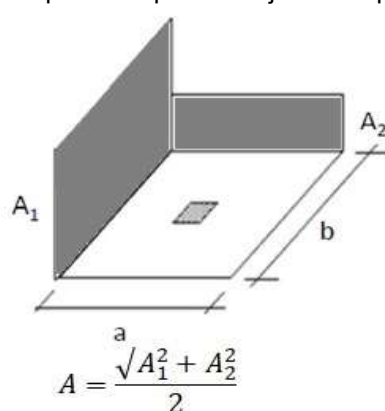
Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Figura 23 – Superfície plana vertical única



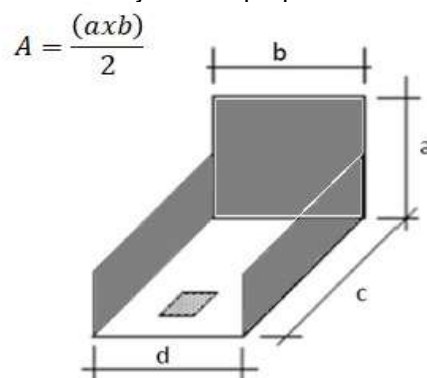
Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Figura 24 – Duas superfícies planas adjacentes perpendiculares



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

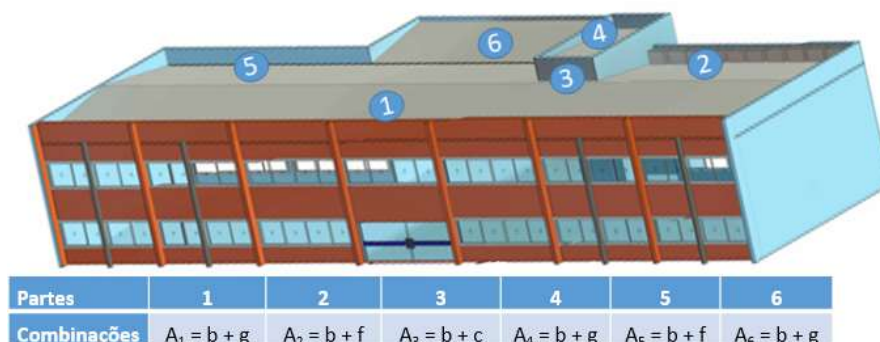
Figura 25 – Três superfícies verticais adjacentes perpendiculares com duas delas opostas



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

A área de contribuição de cada calha (A_{c1} e A_{c2}), foi calculada pela soma das áreas combinadas, ou seja, calha 1 recebe água da parte 1 e a calha 2 recebe água das partes 2, 3, 4, 5 e 6. Na Figura 26, é mostrada a perspectiva isométrica do telhado e as combinações das indicações de cálculo em cada parte, utilizando as equações propostas pela norma técnica que consideram a direção do vento como causa da maior quantidade de chuva interceptada.

Figura 26 – Combinações das indicações de cálculo em cada parte da cobertura

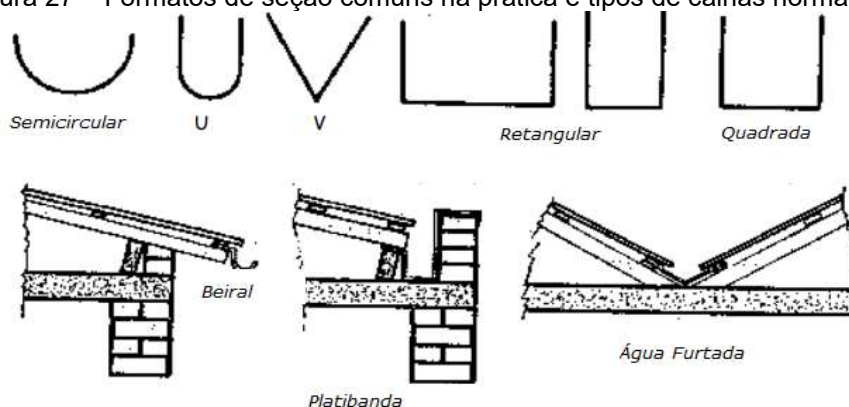


Fonte: Do autor (2024).

Considerando as combinações apresentadas na Figura 26, foram obtidas as áreas de contribuição (A_{c1} e A_{c2}) e as vazões de projeto (Q_{d1} e Q_{d2}), ou seja, 238,21 m² e 927,63 L/mim para a calha 1 e, 286,39 m² e 1115,25 L/min para a calha 2, utilizando a Equação 11, conforme calculados no APÊNDICE I. Com as vazões de projeto (Q_{d1} e Q_{d2}), foi possível avaliar se as calhas colocadas na edificação conseguem escoar a água da chuva sem ocorrência de transbordamento.

No item 5.5 da NBR 10844, é informado sobre as características das calhas. Embora, a norma técnica faz referência sobre os tipos beiral, platibanda e água furtada e o formato semicircular, foi observado que na prática aparecem outros formatos para as seções e, também, outras denominações para as calhas (Figura 27). Segundo Ghizi e Gugel (2005), geralmente as calhas apresentam as seções em V, U, semicircular, quadrada ou retangular.

Figura 27 – Formatos de seção comuns na prática e tipos de calhas normativos



Fonte: Lisboa (2008).

No telhado da edificação, as duas calhas instaladas são, na maioria, de platibanda e, somente, o trecho de encontro entre as áreas, parte de A_5 com A_6 ,

é do tipo água furtada. Após as medições *in loco*, foi verificado que as calhas 1 e 2 possuem as mesmas dimensões, sendo elas 30 cm de largura (L) e 15 cm de altura (h) e formato retangular. Na Figura 28, é mostrado a foto das calhas, platibanda e água furtada (denominada na prática como coxo devido ao formato retangular e não em V).

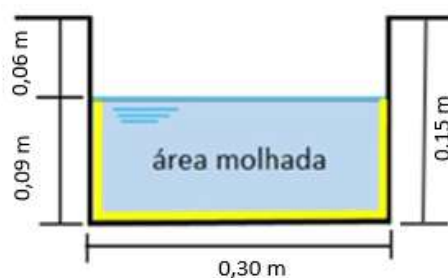
Figura 28 – Calhas de platibanda (a) e água furtada (b) instaladas na edificação



Fonte: Do autor (2024).

Ao contrário das calhas de beiral que podem extravasar para as áreas externas, as calhas internas necessitam de bordo livre, porém, a NBR 10844 (ABNT, 1989) não define qual o valor de prolongamento vertical deve ser adotado para evitar o transbordamento da água pluvial. É importante ressaltar que na prática, os projetistas utilizam $2/5y$ ou mesmo valor da altura da lâmina d'água (y) desde que não excedam 7,5 ou 8,0 cm de bordo livre, nos padrões técnicos internacionais e brasileiros, respectivamente. Para evitar o transbordo, foi utilizado $1/3y$ como bordo livre, ou seja, mesmo valor adotado por Oliveira (2016). Na Figura 29, é representado as dimensões das calhas existentes na edificação considerando o bordo livre.

Figura 29 – Dimensões das calhas instaladas no telhado da edificação



Fonte: Do autor (2024).

Por meio da altura (h) da calha (15,0 cm), foram considerados 9,0 cm e 6,0 cm de lâmina d'água (y) e bordo livre, respectivamente. Sendo o valor do bordo livre menor que 8,0 cm conforme padrão técnico brasileiro. As calhas que foram instaladas na edificação têm 1% de inclinação de fundo e são de aço galvanizado, ou seja, possuem coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,011 (n) conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficiente de rugosidade dos materiais utilizados na confecção de calhas

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não alisado	0,013
alvenaria de tijolos não revestida	0,015

Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Com as dimensões e as informações supracitadas foi calculada a vazão das calhas instaladas na edificação pela equação de Manning-Strickler (Equação 12), conforme cálculo apresentado no APÊNDICE I. Como as dimensões das calhas são iguais, a vazão foi de 2162,07 L/min para ambas, sendo este valor muito maior que a vazão de projeto. É importante ressaltar que as calhas estão superdimensionadas, podendo ter sido construídas com dimensões mínimas de 22 cm de largura (L) e 12,5 cm de altura, conforme calha C exemplificada na Tabela 6.

Tabela 6 - Simulações dos valores para as características das calhas com formato retangular

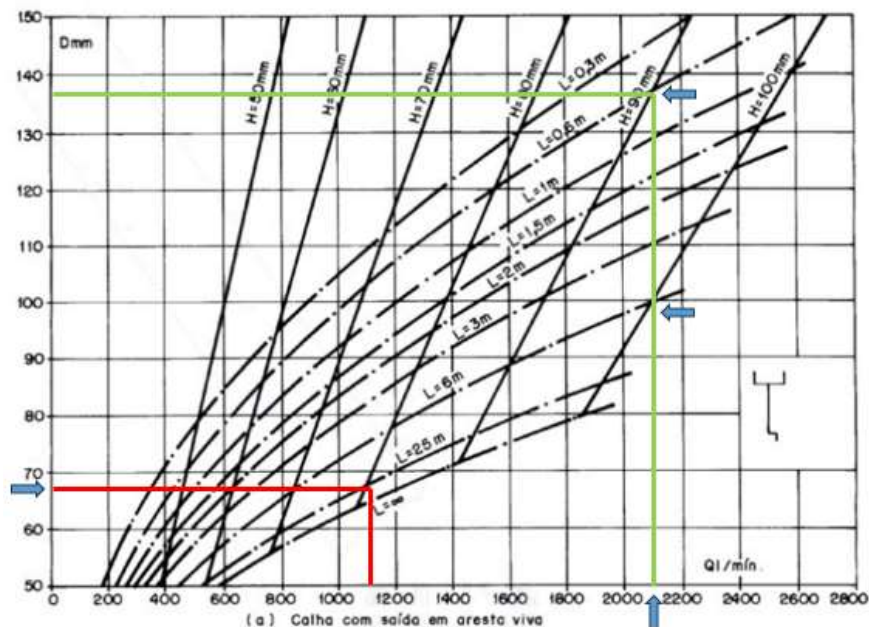
Características	Unidades de medida	Calha A	Calha B	Calha C
Largura (L)	m	0,30	0,25	0,22
Altura (h)	m	0,150	0,133	0,125
Lâmina d'água (y)	m	0,090	0,080	0,075
Bordo livre (2/3y)	m	0,060	0,053	0,050
Área molhada (A)	m ²	0,027	0,020	0,017
Perímetro molhado (P)	m	0,48	0,31	0,37
Raio hidráulico (R _h)	m	0,056	0,049	0,045
Vazão da calha (Q _c)	L/min	2162,07	1456,42	1131,79

Fonte: Do autor (2024).

Com relação aos condutores verticais, a NBR 10844 (ABNT, 1989) recomenda que o dimensionamento seja feito através da utilização de dois ábacos, que diferem entre si pelo formato da estrutura hidráulica de saída da calha, aresta viva ou funil de saída. Considerando a vazão de 1115,25 L/min, que

representa a situação crítica, em termos de volume escoado, foi encontrado diâmetro abaixo de 70 mm, linha vermelha representada no ábaco com saída em aresta viva mostrada na Figura 30.

Figura 30 – Ábaco para dimensionamento de condutores verticais



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

De acordo com o item 5.6.3 da NBR 10844 (ABNT, 1989), deve-se adotar 70 mm que corresponde ao diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular.

Na edificação estão instalados quatro condutores verticais de ferro fundido em cada lado da edificação, ou seja, oito condutores no total. Cada condutor possui diâmetro (D) de 135 mm e comprimento (L) de 6,0 metros, conforme apresentado na foto mostrada na Figura 31.

Figura 31 – Posição (a) e diâmetro (b) dos condutores verticais instalados na edificação



Fonte: Do autor (2024).

As calhas direcionam a vazão para os oito condutores verticais, ou seja, quatro para cada uma delas. Utilizando o diâmetro (D), a altura da lâmina d'água na calha (y) e o comprimento do condutor vertical (L) instalado na edificação, foi verificado que a vazão de projeto pode chegar em torno de 2100 L/min (linha verde mostrada na Figura 30).

Em relação aos condutores horizontais foi medido *in loco* 150 mm que corresponde a vazão de escoamento de 1190 L/min, conforme informações retiradas da Tabela 7, considerando o coeficiente de rugosidade de 0,011 e inclinação de fundo de 2%. Como os condutores se encontram instalados abaixo do piso do pátio, não foi possível medir a inclinação dos condutores horizontais, então foi considerada a inclinação indicada para a maior vazão de projeto (1115,25 L/min). Na Figura 32, e na Tabela 7 são mostrados os valores normativos, a medição do diâmetro dos condutores horizontais *in loco* (a) e a vista por cima da caixa de passagem (b) que funciona como ponto de desagüe destes tubos, respectivamente.

Tabela 7 - Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em l/min)

Diâmetro interno (D) (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Figura 32 – Diâmetro (a) e caixa de passagem (b) dos condutores horizontais da edificação



Fonte: Do autor (2024).

Com as informações do sistema de drenagem instalado, foi verificado que o volume que os condutores verticais podem drenar é cerca de duas vezes maior que a vazão de projeto da calha na pior situação de escoamento. Outro ponto observado foi em relação aos condutores horizontais estarem próximos ao fundo das caixas de passagem, ou seja, elas não funcionam como caixa de areia.

A edificação possui quatro pátios (Figura 33) que são utilizados para estacionamento de 11 veículos da empresa (Figura 34) e cinco áreas de jardins (Figura 35) com áreas de 1329,18 m² e 112,65 m², respectivamente.

Figura 33 – Pátios utilizados como estacionamento



Fonte: Do autor (2024).

Figura 34 - Veículos da frota da empresa



Fonte: Do autor (2024).

Figura 35 – Áreas utilizada para jardins



Fonte: Do autor (2024).

Os pátios são lavados duas vezes ao mês, os carros são lavados uma vez por semana e os jardins são regados três vezes por semana. Com as informações a respeito do uso de água potável para regar os jardins e lavar os pátios e os carros foi calculado a demanda de água total para realização destas atividades. Na Tabela 8, é mostrado o consumo de água mensal utilizado para o uso externo da edificação.

Tabela 8 – Demanda de água para uso externo da edificação

Uso	Unidade	Consumo per capita	Frequência	Demanda mensal
Lavagem de pátios	(L/m²)*dia	1 a 2	2 vezes/mês	5316,72 L/mês
Lavagem de carros	(L/carro)*dia	150	1 vez/semana	6600 L/mês
Rega de jardins	(L/m²)*dia	1,5	2 vezes/semana	2027,7 L/mês

Fonte: Do autor (2024).

Por meio do consumo per capita, indicado por Tomaz (2009) como referência para cada um dos usos da edificação, foi obtido 13944,42 L/mês para satisfazer a demanda total de água. Como a demanda mensal é alta, foi verificado a necessidade de reaproveitar a água de chuva para o uso externo, visto que a edificação possui área de contribuição grande. Então, a demanda mensal foi utilizada para o dimensionamento do reservatório (cisterna) de água pluvial.

O dimensionamento correto do reservatório é importante para atender a demanda, diminuir o valor da fatura mensal e promover a sustentabilidade

ambiental. Neste sentido, Rezende e Tecedor (2017), Brandão e Marcon (2018) constataram que para grandes edificações, os melhores resultados obtidos para dimensionar o reservatório é através do método de Rippl, frente aos outros métodos sugeridos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Como a edificação é grande e o consumo de água é alto, o reservatório foi dimensionado pelo método Rippl (Tabela 9).

Tabela 9 – Determinação do volume do reservatório pelo método de Rippl

Meses	Chuva média	Demanda	Área de captação	Volume de chuva	Diferença de volume	Volume acumulado	Situação
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³	
Jan	255	13,94	238,40	60,79	-46,85	0	Extravasando
Fev	153	13,94	238,40	36,48	-22,53	0	Extravasando
Mar	160	13,94	238,40	38,14	-24,20	0	Extravasando
Abr	62	13,94	238,40	14,78	-0,84	0	Extravasando
Mai	43	13,94	238,40	10,25	3,69	3,69	Esvaziando
Jun	20	13,94	238,40	4,77	9,18	12,87	Esvaziando
Jul	15	13,94	238,40	3,58	10,37	23,24	Esvaziando
Ago	20	13,94	238,40	4,77	9,18	32,41	Enchendo
Set	67	13,94	238,40	15,97	-2,03	0	Extravasando
Out	110	13,94	238,40	26,22	-12,28	0	Extravasando
Nov	188	13,94	238,40	44,82	-30,87	0	Extravasando
Dez	233	13,94	238,40	55,55	-41,60	0	Extravasando

Fonte: Do autor (2024).

Considerando que a demanda de água foi superada nos meses de janeiro a maio e de setembro a dezembro. Nos meses com as menores intensidade pluviométrica mensal ocorreram o esvaziamento reservatório que voltou a encher em agosto. Então, para suprir a demanda de água para usos externos será necessário instalar um reservatório de 32410 L. Para tanto, foi escolhido um reservatório de 30000 L que apesar de ser um volume abaixo do calculado, é um volume comercial mais próximo do indicado, além disso, Mierzwa, Munarim e Ghisi (2007) concluíram que o método tende a superdimensionar o reservatório quando prioriza a garantia total do abastecimento. Este reservatório será alimentado por 4 condutores verticais de 150 mm de diâmetro que substituíram os antigos condutores verticais de ferro fundido devido à dificuldade de encontrar filtro de chuva e outras conexões para o diâmetro de 135 mm. Na Figura 36, é mostrado as características gerais do reservatório escolhido para a reserva de água de chuva.

Figura 36 – Características gerais do reservatório (cisterna)



Fonte: Adaptado da Fortlev (2024).

A instalação do reservatório será na cota abaixo do nível do solo de um dos pátios, onde o desnível geométrico favorece o escoamento por gravidade. Na edificação, existem quatro reservatórios no total, sendo que três ficarão para o abastecimento de água potável da edificação e um será utilizado para a reserva de água pluvial. Os reservatórios estão abrigados em local coberto acima do nível do telhado que é o ponto mais alto da edificação (Figura 37).

Figura 37 – Local para abrigo dos reservatórios de água potável da edificação



Fonte: Do autor (2024).

O reservatório que será utilizado para reserva de água da chuva possui 1000 L e está ligado aos demais por meio de vasos comunicantes. Como a água de chuva será utilizada para fins não potáveis, este reservatório será desconectado dos demais. Na Figura 38, é mostrado a localização do reservatório para armazenamento de água pluvial.

Figura 38 – Localização do reservatório destinado reserva de água pluvial da edificação



Fonte: Do autor (2024).

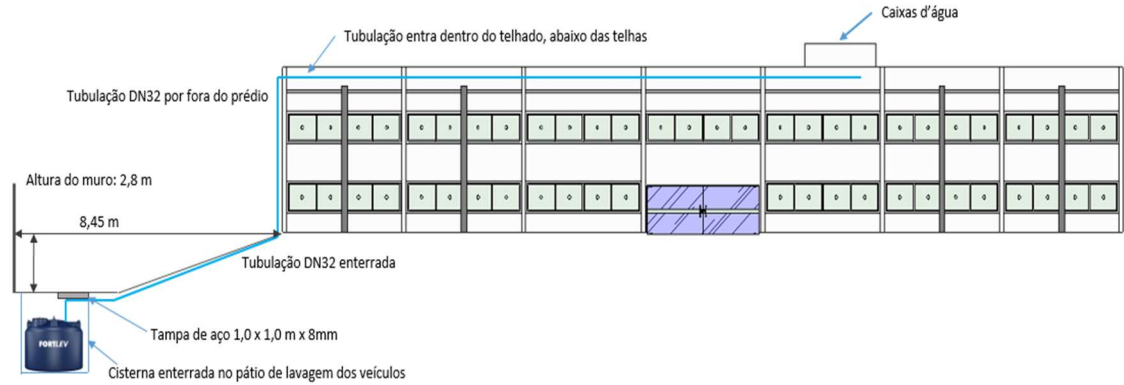
A escolha do reservatório possibilitou economia de material (tubulações, conexões, reservatório, etc.) e mão de obra, já que ele se encontra instalado na posição mais próxima do reservatório inferior (cisterna). Ademais, é importante salientar que os três reservatórios são capazes de atender o consumo de água potável da edificação. Por outro lado, a NBR 5626 (ABNT, 2020) permite que o volume reservado seja definido a critério do projetista, desde que sejam observadas as características de cada localidade.

A água pluvial será recalçada, da cisterna até o reservatório superior, por meio de uma bomba submersa. Como o reservatório já possui as tubulações e os acessórios hidráulicos e, também, para evitar outro furo para uma nova entrada de água, foi utilizado o mesmo diâmetro para a tubulação de recalque, ou seja, 32 mm (DN). Com a definição do local para a cisterna e pela escolha da localização dos reservatórios foi representado o traçado da tubulação para definir os materiais hidráulicos necessários para a instalação da bomba submersa, conforme mostrados no APÊNDICE III.

A bomba foi dimensionada para recalcar o consumo diário (CD) de 500 L/d durante um ciclo de cinco horas de funcionamento, que representa o tempo gasto para a limpeza do pátio com maior área. Nestas condições foi obtido uma vazão horária (Q_h) de 100 L/h, correspondente a 20% de CD. Para levar a água de chuva a partir do nível mínimo da cisterna, condição crítica em termos de volume reservado, é necessário fornecer energia suficiente para vencer a altura

geométrica (desnível) e a perda de carga. Na Figura 39, é mostrado uma representação do traçado da tubulação de recalque que foi obtida a partir do projeto do sistema de bombeamento.

Figura 39 – Traçado da tubulação de recalque para o sistema de água pluvial da edificação



Fonte: Do autor (2024).

A energia (altura manométrica) gasta pela bomba para vencer o desnível e a perda de carga foi 15,98 m, considerando 10% de segurança no projeto. Para se obter a perda de carga unitária foi necessário obter o fator de atrito (f) para a tubulação utilizada através do diagrama de Moody (Azevedo Netto, 1998) que relaciona a rugosidade relativa do tubo com o número de Reynolds. A perda de carga total foi calculada utilizando o fator de atrito (f) multiplicado pela soma entre os comprimentos real (tubo) e equivalentes (conexões). Na Figura 40, é mostrado os comprimentos equivalentes de cada conexão hidráulica com diferentes diâmetros.

Figura 40 – Perda de carga localizada em metros de tubulação de PVC rígido

Diâmetro nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem direta	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de canaliz.	Válvula de pé e crivo	Válvula retenção		Registro globo aberto	Registro gaveta aberto	Registro ângulo aberto
DN (mm)	Ref. (pol.)												Tipo leve	Tipo pesado			
15	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32	(1 1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	(1 1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60	(2 1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
75	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,5	40,0	0,9	20,0
100	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
150	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fonte: Macintyre (2023).

Os cálculos para determinar a vazão horária (Q_h) e a altura manométrica (H_m) foram mostrados no APÊNDICE I e o projeto do sistema de recalque foi mostrado no APÊNDICE II. Por meio da altura manométrica ($H_m = 15,98 \text{ m}$) e da vazão horária ($Q_h = 100 \text{ L/h}$) foi escolhida a bomba submersa Lorenzetti BSL-POP. Na Figura 41, é mostrada a curva característica da bomba.

Figura 41 – Curva característica da bomba submersa Lorenzetti



Fonte: Adaptado Lorenzetti (2025).

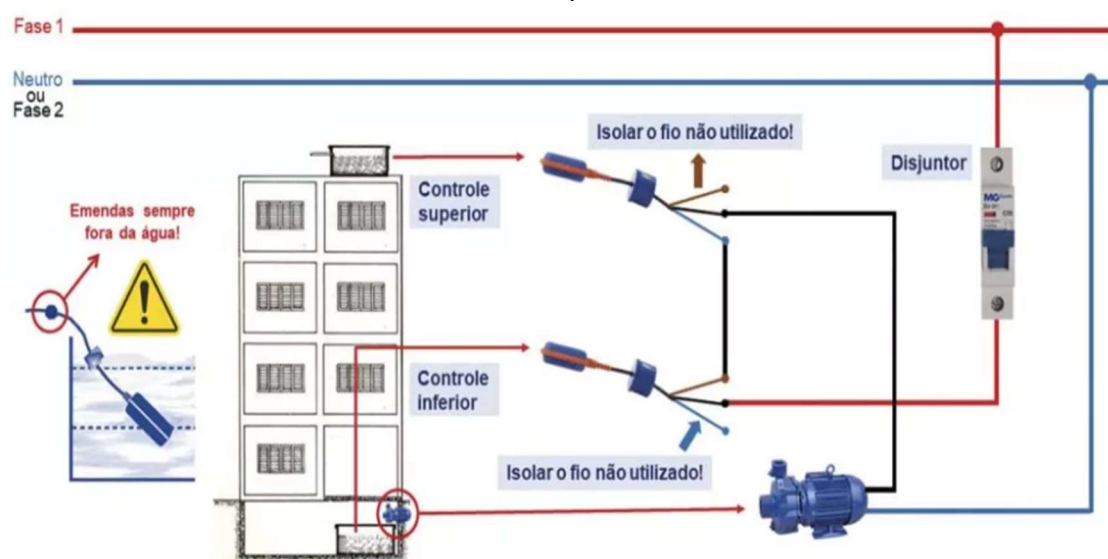
Para controlar o nível dos reservatórios superior e inferior, foram utilizadas duas chaves de nível tipo boia (Figura 42) interligadas por condutor elétrico isolado com cobertura de PVC (cabo PP) de duas vias de $1,5 \text{ mm}^2$ de seção, que controlarão o acionamento da bomba conforme o nível destes reservatórios. Uma chave bóia foi instalada no reservatório superior e outra instalada no reservatório inferior, em um esquema de ligação elétrica em série (Figura 43) que garante que a bomba seja acionada sempre que o nível do reservatório superior atinja uma lâmina d'água de 20 cm dentro do reservatório e interrompa ou impeça seu funcionamento automaticamente sempre que o reservatório inferior atinja um nível mínimo de 30 cm de altura de lâmina d'água dentro do reservatório inferior.

Figura 42 – Chave bóia utilizada nos reservatórios superior e inferior



Fonte: MarGirius (2025).

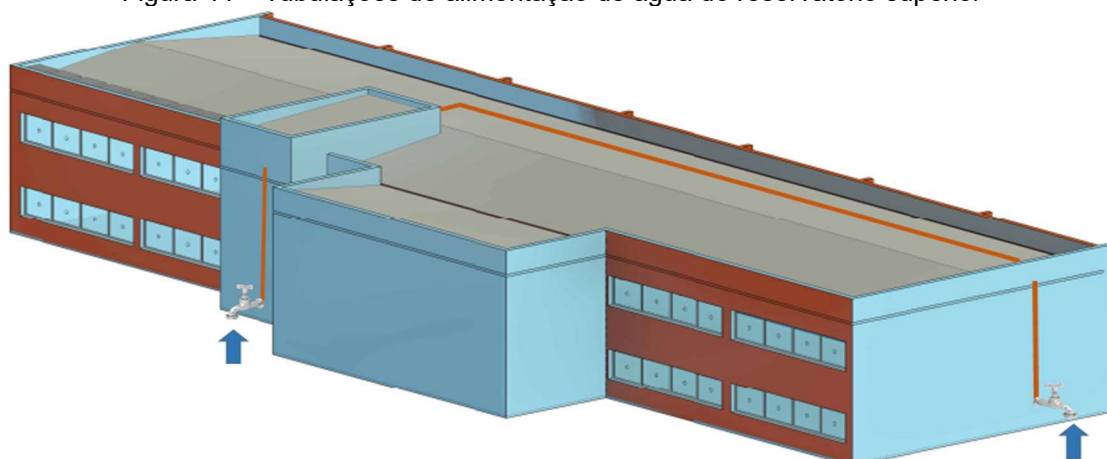
Figura 43 – Esquema de ligação em série das chaves bóia de controle de nível dos reservatórios superior e inferior



Fonte: Martírios (2025).

Para que a água armazenada no reservatório superior seja distribuída, de forma que atenda aos pontos de consumo, foram instaladas duas tubulações de $\frac{1}{2}$ polegada em dois pontos distintos da edificação. A Figura 44 demonstra as instalações dessa distribuição na edificação. Essa distribuição permitirá que o usuário consiga utilizar a água armazenada deste reservatório nos diversos pátios da edificação utilizando mangueiras.

Figura 44 – Tubulações de alimentação de água do reservatório superior



Fonte: Do autor (2024).

A responsável pelo abastecimento de água potável da edificação é a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) onde o consumo médio anual foi obtido através das faturas emitidas pela concessionária, medida em m^3 , com a fatura inicial referente ao mês de julho de 2023 até o mês de junho de

2024. O consumo mensal e o valor de cada fatura estão explicitados na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo mensal e anual da edificação

CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL NA EDIFICAÇÃO		
MÊS (ANO)	CONSUMO (m³)	VALOR
JULHO (2023)	57	R\$ 1.137,46
AGOSTO (2023)	56	R\$ 1.112,98
SETEMBRO (2023)	57	R\$ 1.137,46
OUTUBRO (2023)	57	R\$ 1.137,46
NOVEMBRO (2023)	55	R\$ 1.088,50
DEZEMBRO (2023)	59	R\$ 1.186,44
JANEIRO (2024)	45	R\$ 847,20
FEVEREIRO (2024)	50	R\$ 1.006,61
MARÇO (2024)	44	R\$ 853,53
ABRIL (2024)	52	R\$ 1.057,64
MAIO (2024)	48	R\$ 955,58
JUNHO (2024)	65	R\$ 1.389,32
TOTAL ANUAL	645	R\$ 12.910,18
MÉDIA MENSAL	53,75	R\$ 1.075,85

Fonte: Do autor (2024).

Através dos dados obtidos da Tabela 10, pode-se concluir que o valor médio do m³ de água potável cobrado pela concessionária é de R\$20,02 e o consumo mensal médio tem um custo de R\$1075,85. Considerando que a edificação consome aproximadamente 14 m³ mensalmente para atividades que não requerem água potável, conforme demonstrado na

Tabela 8, a possibilidade de economia com base no consumo médio anual de 645 m³ (Tabela 10) está em torno de 26% do valor (R\$3363,36) com a instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais. O aporte financeiro necessário para implantar o sistema foi demonstrado no APENDICE III atingiu o valor de R\$38.721,46, valor que abrange o custo dos componentes do sistema e a mão de obra para implantação na edificação.

Para avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais na edificação, foi utilizado o método de payback descontado, que mede o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, levando em consideração a desvalorização do dinheiro no

tempo, causada por fatores como inflação, custo de oportunidade e risco, utilizando a fórmula do valor presente descontado (Equação 13).

Como o trabalho aqui desenvolvido não tem a intenção de obter lucro com o capital investido na implantação do sistema, tendo como objetivo principal a sustentabilidade através da economia de água potável a partir de uma fonte gratuita que é a chuva, a taxa mínima de juros empregada foi a inflação, afim de preservar o poder de compra do valor investido. Segundo o IBGE (2024), o acumulado para o ano de 2024 foi de 4,83%, sendo esse, portanto, o valor aplicado para correção do poder de compra do capital investido.

Considerando a economia de R\$3363,36 (26% do total anual) e o aporte financeiro de R\$38.721,46 feito para instalação do sistema, pode-se obter o tempo de retorno do investimento feito, que foi de 17 anos e 2 meses, conforme mostrado no gráfico da Figura 45.



Fonte: Do autor (2024).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de drenagem pluvial da edificação está superdimensionado em comparação com a instalação predial dimensionada em conformidade com a NBR 10844 (ABNT, 1989). As caixas de areia instaladas para ligar os condutores verticais com os horizontais não cumprem a função de retenção de partículas devido a ligação dos tubos horizontais rentes ao fundo.

O sistema de reaproveitamento de água de chuva foi viável tecnicamente, pois, será construído na parte inferior do terreno favorecendo o escoamento por gravidade, não utilizará área de estacionamento e a capacidade do reservatório, obtida pelo método Rippl, apresentou volume facilmente encontrado no

mercado. O sistema precisou de uma bomba para funcionamento e foi sugerido o uso de um dos reservatórios de água potável para armazenar a água de reuso.

Com o orçamento dos componentes para instalação do reservatório, considerando parte do sistema existente, foi observado que o retorno ocorrerá em 17 anos e 2 meses após a implantação do sistema de reuso de água pluvial. O sistema de aproveitamento foi viável em termos econômicos, pois, irá reduzir o valor pago na fatura mensal e o retorno do investimento ocorrerá a médio prazo.

O reaproveitamento de águas pluviais é uma medida ambientalmente correta visto que consumo de água em atividades, sem exigência de qualidade à nível de potabilidade na edificação, representou 26% da demanda total. Por fim, ressalta a importância de aplicar a sustentabilidade ambiental nos projetos de engenharia por todos os profissionais da construção civil.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista as análises e os resultados obtidos no estudo, foram sugeridos como trabalhos futuros:

- Analisar a viabilidade técnica e econômica em projetos que substituem água potável por águas pluviais nas descargas das bacias sanitárias.
- Promover estudos sobre o uso consciente da água potável com o intuito de diminuir o consumo na edificação.
- Utilizar energia fotovoltaica para o funcionamento da bomba de pressurização do sistema de aproveitamento de águas pluviais;
- Desenvolver um sistema de captação que utiliza dispositivos de controle de nível com tecnologia de funcionamento mais avançada.

REFERÊNCIAS DE LITERATURA

AECWEB. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/quais-os-tipos-e-como-escolher-reservatorios-de-agua/24667>> Acessado em: 20/junho/2024.

ALKAISI A.; MOSSAD, R. M.; SHARIFIAN-BARFOROUSH, A. A review of the water desalination systems integrated with renewable energy. **Energy Procedia**, v. 110, p. 268-274, 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação**. 2021a. <Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/>> Acessado em: 16/ maio/2024.

Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água no Brasil. 2021b. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMWE2ZTE1NmItOGUyZS00ZTc1LTljMzUtNDgwYjVhODcyNWl1liwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGltNDY5YS04YjRkLTlY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>> Acessado em: 12/maio/2024.

Recursos Hídricos do Brasil 2018. 2019. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2018**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf> Acessado em: 12/maio/2024.

Recursos Hídricos do Brasil 2023. 2024. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil 2023**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>> Acessado em: 12/maio/2024.

ANDRADE, A. E. F.; ATHAYDE JÚNIOR, B. G.; CARNEIRO, M. A.; FERRAZ, E. K. V. Estudo da viabilidade econômica para sistemas de aproveitamento de águas de chuva na sede da companhia de trens urbanos em João Pessoa / PB. **Blucher Engineering Proceedings**, v.6, n.2, p.560-568, 2019.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória – ES. 2005. 150 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, 2005.

ARAÚJO, E. M. Cisternas: uma tecnologia para armazenamento de água no semiárido. **Série Tecnologias para o campo**, v.1, n.1, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5626**: Instalação predial de água fria – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT NBR 15527: água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 10844:** Instalações Prediais de Águas Pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 16783:** uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro, 2019.

AUTODESK. Revit: versão 2023 [software]. [S.l.]: Autodesk, 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/products/revit/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

AZEVEDO NETTO, J. **Manual de hidráulica**. 8. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 654 p.

BEZERRA, S. M. C.; CHRISTIAN, P.; TEIXEIRA, C. AZEMBUJA; F. K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT 15527:2007 e Decreto de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, p.219-231, 2010.

BRANDÃO, J. L. B.; MARCON, P. Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária. **Eng. Sanitária e Ambiental**, v.23, n.6, p1031-1041, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.055, de 1º de junho de 1995**. Dispõe sobre a extração, industrialização, comercialização e o uso do amianto e dos produtos que o contêm. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2 jun. 1995.

BUENO, R. T. Proposta de um reservatório de retenção de cheia para a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho em Varginha-MG. 83 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/MG, Varginha, 2022.

CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M. S. O.; NOUR, E. A. A.; FRANÇA, V. H; ALVIM, C. R. Sistemas de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos. **SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMA PREDIAIS**, v.10, 2007.

CARVALHO, J. D.; MELO, M. C.; RIBAS LUIZA, P. R.; SOUZA, P. P. Metodologia utilizada para o monitoramento hidrometeorológico referente ao abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH no ano de 2015. **3º Congresso Internacional RESAG**. 15 p. 2017. Disponível em: <<http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/trabalhos/aprovado?q=monitoramento>>. Acessado em 15/maio/2024.

CASAROTTO, F.; KOPITKE, N. **Análise de investimentos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CONICELLI, B. P.; HIRATA, R. Novos paradigmas na gestão das águas subterrâneas. **Águas subterrâneas**: (São Paulo). 2016.

MEDEIROS, A. G.; GUEDES, M. J. F; COSTA, M. R. O.; DOMBROSKI, S. A. G.; LUCENA, A. D. Sistema de informações (SI) no âmbito do monitoramento da qualidade de água para consumo humano em um campus universitário. Registro

de programa de computador n. BR512023002178-4. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Depositante: Universidade Federal Rural, 2022.

CRED. 2023. **2022 Disasters in Numbers**. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Disponível em: <<https://reliefweb.int/report/world/2022-disasters-numbers>>Acessado em 18/junho/2024.

DE AMORIM, S. V.; DE ANDRADE P., JOSÉ, D. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, v.8, n.2, p.53-66, 2008.

DE OLIVEIRA, T. D.; CHRITMANN, S. S.; PIEREZAN, J. B. Aproveitamento, captação e (re)uso das águas pluviais na arquitetura. **Revista GEDECON – Gestão e Desenvolvimento em Contexto**, v.2, n.2, p.01-15, 2015.

DIAS, I. C. S. Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa. 132 f. **Dissertação** (Mestre em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

FAYER, G. C.; PEREIRA, J. C.; RIBEIRO, L. G.; JUNIOR, N. B.; FERREIRA, P. M. Crise hídrica: Evolução dos decretos estaduais sobre escassez hídrica em Minas Gerais. **III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do SUL**, n.1999, p.1-10, 2017.

FAVRETTO, C. R.; CASTRO, A. S.; QUADRO, M. S., LEANDRO, D.; DAMÉ, R. C. F. Métodos de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial no município de Bento Gonçalves (RS). **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.2, n.2, p.17-24, 2016.

FORTLEV. **Tanque de polietileno 30.000L**. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/tanque-de-polietileno-30-000l/#produtoEspecificacoes>>Acessado em: 24/janeiro/2025.

FUNDAÇÃO PROCAFÉ. **Boletim de Avisos N° 308**. 2024. Disponível em: <https://e326244a-ec26-4337-83ca-9389b084c1a2.usrfiles.com/ugd/e32624_83d9457d17a14c56961d9866ee8f40b9.pdf> Acessado em: 15/maio/2024.

GHAFFARIAN HOSEINI, A.; TOOKEY, J.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; YUSOFF, S. M.; HASSAN, N. B. State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 1, p. 95-104, 2016.

GIACCHINI, M.; ANDRADE FILHO, A. G. Utilização da água de chuva nas edificações industriais. In: **II Encontro de engenharia e tecnologia dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: CEFET / Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/28%20UTILIZACAO%20DA>

[%20AGUA%20CHUVA%20NAS%20EDIFICACOES%20INDUSTRIAIS.pdf](#)>Acessado : 25/junho/2024.

GHISI, E.; GUGEL, C. E. Instalações prediais de águas pluviais. **Apostila da disciplina ECV5317** – Instalações I. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

GUEDES, M. J. F.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n.2, p. 23-134, 2014.

GUIMARÃES, R. M.; OHNUMA JR, A. A.; DA SILVA, L. P.; BILA, D. M.; JACOB, R. V. B.; ROCHA, B. C. S. Qualidade da água da chuva com barreira de proteção instalada em um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais. In: **10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, Belém-PA. 15-19 nov. 2016.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v.1, n.4, p. 307-316, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (**IBGE**). Inflação de 2024 medida pelo IPCA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>> Acesso em: 26/janeiro/2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Demanda Futura por água nas Cidades Brasileira – 2017 a 2040**. 2020. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Demanda_futura_por_agua_-_Instituto_Trata_Brasil_-_26-08-2020a.pdf> Acessado em: 12/maio/2024.

JÚNIOR, E. N. B. **Análise do potencial de aproveitamento de água pluvial em edifício comercial em Natal – RN**. 22f. TCC (Graduação) – Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

KOENIG, K. Rainwater harvesting public need or private pleasure? *Water* 21, London: IWA, 2003.

LEE, K. T. et al. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. **J. agric. Eng Res**, v. 3, n.77, p. 343-348, 2000.

LISBOA, M. B. Estudo de viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuva em uma escola pública no município de Seara - SC. 2008. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LORENZETTI. **BSL Pop: bomba submersa**. Disponível em: <https://www.lorenzetti.com.br/produto/bslpop>. Acessado em: 25/janeiro/2025.

MACINTYRE, A. J. Instalações hidráulicas prediais e industriais. 4. ed. Rio de Janeiro: **LTC**, 2023.

MARTINS, R.; FORTUNATO, A. Residential water demand under block rates—a Portuguese case study. **Water policy**, v.9, n.2, p.217-230, 2007.

MARGIRIUS. **Como ligar duas chaves boia em uma bomba?** Disponível em: <https://www.margirius.com.br/blog/como-ligar-duas-chaves-boia-em-uma-bomba/>. Acessado em: 25/janeiro/2025.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. 2009. 200f. **Tese** (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, IVANILDO; SILVA, M.C.C; RODRIGUES, L.B. Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, p. 29-37, 2007.

MIERZWA, J. C.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial utilizando o método de Rippl. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.2, p.235-245, 2007.

MORGAN, S.; CELIK, S.; RETZLAFF, W. Green Roof Storm-Water Runoff Quantity and Quality. **Journal of Environmental Engineering**, v.139, n.4, p. 471-478, 2013.

NEVES, P. S.; HELLER L. O direito humano à água e ao esgotamento sanitário como instrumento para promoção da saúde de populações vulneráveis. **Ciênc. Saúde Colet.**, v.21, n.6, 2016.

REZENDE, M. B.; MARINA; D. M.; SILVA, R. A. L. VIABILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA VASOS SANITÁRIOS. **Revista Ciências do Ambiente on-line**, v.2, n.2, 2006.

OLAOYE, R. A.; OLANIYAN, O. S.. Quality of Rainwater From Different Roof Material. **International Journal of Engineering and Technology**, v.2, n.8, p.1413-1421, 2012.

OLIVEIRA, R. C. Influência das séries históricas de dados pluviométricos no dimensionamento do sistema predial de aproveitamento de água pluvial de uma unidade de ensino. 2019. 82f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) – Curso de Bacharel em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019.

PEREIRA, J. A.; OLIVEIRA, A. S.; ALCÂNTRA, E.; DE PAULA, R. F.; MARQUES, V.; MENDONÇA, A. T. Usos do solo e conflitos nas áreas de preservação permanente na bacia do Ribeirão Santana. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.20. n.2, 2021.

PLANSAB - **Plano Nacional de Saneamento Básico** - Brasília, DF: Ministério das Cidades; 2013. Disponível em:<plansab_06-12-2013 (economia.gov.br)> Acessado em: 25/maio/2024.

PROJETISTA PLENO. **NBR 10844: drenagem pluvial**. Disponível em: <<https://projelistapleno.com/nbr-10844-drenagem-pluvial/>>Acessado em: 20/janeiro/2025.

RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde soc.**, v.17, n.1, 2008.

REZENDE, J. H.; TECEDOR, N. Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527. **Rev. Ambient. Água**, v.12, n.6, 2017

RESENDE, R.; PIZZO, H. S. Estimativa de suficiência de água de chuva para fins não nobres em residência unifamiliar na cidade de Juiz de Fora – MG. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 24., 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABES, 2007.

RECKZIEGEL, C. R. **Cisternas para o aproveitamento de água da chuva: uso não potável em escolas municipais de Horizontina**. Disponível em: <[Http://www.fahor.com.br/publicacoes/saep/2010_cisternas_escolas_horizontina.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/saep/2010_cisternas_escolas_horizontina.pdf)>Acesso em: 19/junho/2024.

RIBEIRO, D. F. F.; GASPAR, G. A. M. G. **Análise de viabilidade da captação e reuso de água da chuva através do sistema de cisterna waterbox em residência unifamiliar na cidade de Varginha (MG)** - 2020. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1390>>Acessado em: 20/junho/2024.

ROCHA, V. L. Validação do Algoritmo do Programa Netuno para Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações. 166f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ROEBUCK, RICHARD. M.; OLTEAN, D. C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. **Water and Environment Journal**, v. 25, n.3, p.355-365, 2011.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. Corporate Finance. 10. ed. **McGraw-Hill**, 2013.

SALLA, M. R.; LOPES, G. B.; PEREIRA, C. E.; NETO, J. C. M.; PINHEIRO, A. M. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.13, n.2, p.167-181, 2013.

SGROI, M.; VAGLIASINDI, F. F. G.; ROCCARO, P. Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. Current Opinion in **Environmental Science & Health**, v.2, p.20-25, 2018.

STORMGEO COMPANY; **Climatologia em Varginha, BR**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/206/varginha-mg>> Acessado em: 23/junho/2023.

SILVA, G. Aproveitamento de água de chuva em um prédio industrial e numa escola pública – estudo de caso. 2007. 103 p. **Dissertação** (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, 2007.

SUSTENTÁVEL, Consumo. Manual de educação. **Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC**, p. 06, 2005. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>Acessado em: 20/abril/2024

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v.10, n.2, 2015.

TEIXEIRA, C. A.; BUDEL, M. A.; DE CARVALHO, K. Q. BEZERRA, S. M. C.; GHISI, E. Estudo comparativo da qualidade da água da chuva coletada em telhado com telhas de concreto e em telhado verde para usos não potáveis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 135-155, 2017.

THE NATURE CONSERVANCY. **Como equilibrar a demanda por água entre agropecuária e a população?** 2024. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/equilibrar-demanda-por-agua-agropecuaria-populacao/> Acessado em: 13/maio/2024.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. **Navegar Editora**, São Paulo, p. 251, 1999.

TOMAZ, P. Água de Chuva para Áreas Urbanas e fins não potáveis. **Navegar Editora**, São Paulo, p.184, 2003.

TOMAZ, P. Cálculos hidráulicos e hidrológicos para obras municipais. São Paulo: **Navegar Editora**, 2011.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Imminent risk of global water crisis, warns the UN World Water Development Report 2023**. 2023. Disponível em: <<https://www.unesco.org/en/articles/imminent-risk-global-water-crisis-warns-un-world-water-development-report-2023>> Acessado em: 2/abril/2024 Acessado em 13/maio/2024.

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância. **Relatório da situação**. 2023. Disponível em: <<https://www.unicef.org/Relatório da situação | UNICEF Brasil>> Acessado em: 25/maio/2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Pluvio*: versão 2.1 [software]. Viçosa, MG: UFV, 2020. Disponível em: <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: 18 dez. 2024.

VIEIRA, S. C. R. Avaliação diagnóstica do sistema de drenagem localizado na Avenida Otávio Marques de Paiva no município de Varginha-mg, após implantação de canalização de curso de água. 99 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/MG, Varginha, 2023.

VIVACQUA, M. C. R. Qualidade da água do escoamento superficial urbano: revisão visando o uso local. 185 F. **Dissertação** (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

WWF - World Wide Fund for Nature. **Falta de água potável preocupa 81% dos brasileiros, aponta estudo, 2023.** Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?85100/Falta-de-agua-potavel-preocupa-81-dos-brasileiros-aponta-estudo>> Acessado em: 13/maio/2024.

ZANELLA, L. Viabilidade técnica e econômica da captação de água de chuva no meio urbano. In: SANTOS, Delfran Batista dos et all. (Orgs.) **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: INSA, 2016. Cap. 7, p. 147-168.

APÊNDICE I – Memorial de cálculo - Dimensionamento da IPAP

- Intensidade pluviométrica para Varginha/MG**

$$I = \frac{5987,104 r^{0,218}}{(t + 32,694)^{1,087}} \quad I = \frac{5987,104 * 25^{0,218}}{(5 + 32,694)^{1,087}} \quad I = 233,65 \text{ mm/h}$$

- Área de contribuição do telhado**

$$A_{C1} = A_1$$

$$A_{C1} = \left(5,10 + \frac{0,75}{2}\right) * 40,72 + \left(\frac{0,75 * 40,72}{2}\right) = 222,94 + 15,27 = 238,21 \text{ m}^2$$

$$A_{C2} = A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

$$A_{C2} = \left[\left(3,95 + \frac{0,75}{2}\right) * 11,00 + \frac{\sqrt{(11,88 * 0,75)^2 + (5,10 * 0,75)^2}}{2} \right] + \left[\left(5,90 + \frac{0,75}{2}\right) * 3,10 + \frac{0,75 * 3,10}{2} \right] +$$

$$\left[\left(3,95 + \frac{0,75}{2}\right) * 11,00 + \frac{0,75 * 11,00}{2} \right] + \left[\left(5,10 + \frac{0,75}{2}\right) * 24,34 + \frac{\sqrt{(11,80 * 0,75)^2 + (5,10 * 0,75)^2}}{2} \right] +$$

$$\left[\left(5,90 + \frac{0,75}{2}\right) * 3,10 + \frac{0,75 * 11,00}{2} \right] = 47,58 + 4,85 + 19,45 + 1,16 + 47,56 + 4,13 + 133,26 + 4,82 + 19,45 + 4,13$$

$$A_{C2} = 286,39 \text{ m}^2$$

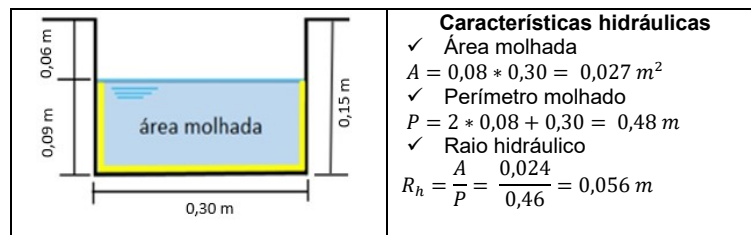
- Vazão de projeto:**

$$Q_{d1} = \frac{CIA_{C1}}{60} \quad Q_d = \frac{1 * 233,65 * 238,21}{60} \quad Q_d = 927,63 \text{ L/min}$$

$$Q_{d2} = \frac{CIA_{C2}}{60} \quad Q_d = \frac{1 * 233,65 * 286,39}{60} \quad Q_d = 1115,25 \text{ L/min}$$

- Vazão da calha instalada na edificação**

$$Q_c = 60000 \frac{S}{n} R_h^{2/3} i^{1/2} \quad Q_c = 60000 * \frac{0,027}{0,011} * (0,056^2)^{2/3} * (0,01^2)^{1/2} \quad Q_c = 2162,07 \text{ L/min}$$



- Dimensionamento da bomba de recalque:**

- ✓ Vazão necessária para 5 horas de funcionamento:

$$Q_h = \frac{CD}{T} \quad Q_h = \frac{500 \text{ L/d}}{5 \text{ h/d}} = 100 \frac{\text{L}}{\text{h}} \quad \text{ou } 2,77 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- ✓ Fator de atrito:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015}{32} = 0,000047 \text{ (Rugosidade relativa)} \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad V = \frac{4 * 2,77 \times 10^{-5}}{\pi * (0,032)^2} \quad V = 0,034 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Velocidade média)}$$

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu} \quad Re = \frac{0,032 * 0,034 * 1000}{1,01 \times 10^{-3}} \quad Re = 1077,23 \text{ (Número de Reynolds)}$$

$$f = 0,027 \text{ (Fator de Atrito – Diagrama de Moody)}$$

- ✓ Perda de carga unitária:

$$J = 0,0827 \frac{fQ^2}{D^5} \quad J = 0,0827 \frac{0,0227 * (2,77 \times 10^{-5})^2}{0,032^5} \quad J = 0,00052 \text{ m/m}$$

- ✓ Comprimento total:

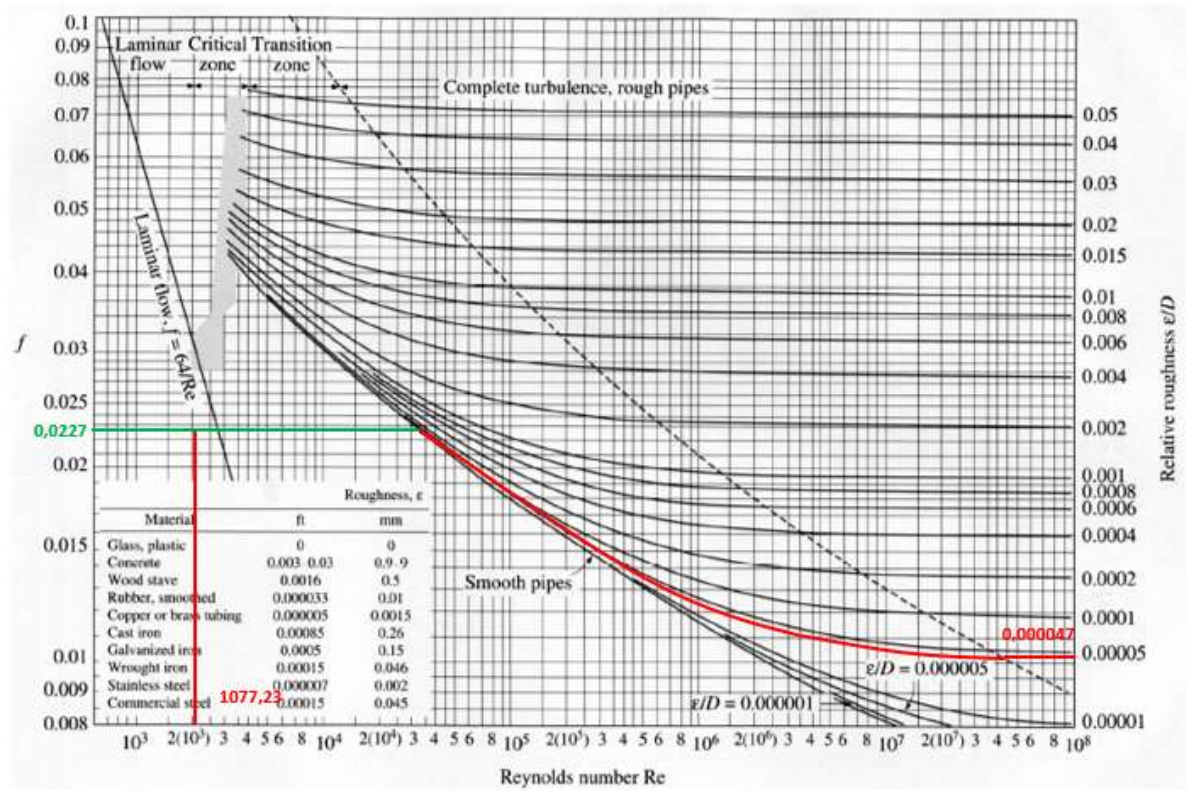
$$L_T = L_r + L_e = 51,5 + 9,0 = 60,5 \text{ m}$$

- ✓ Perda de carga:

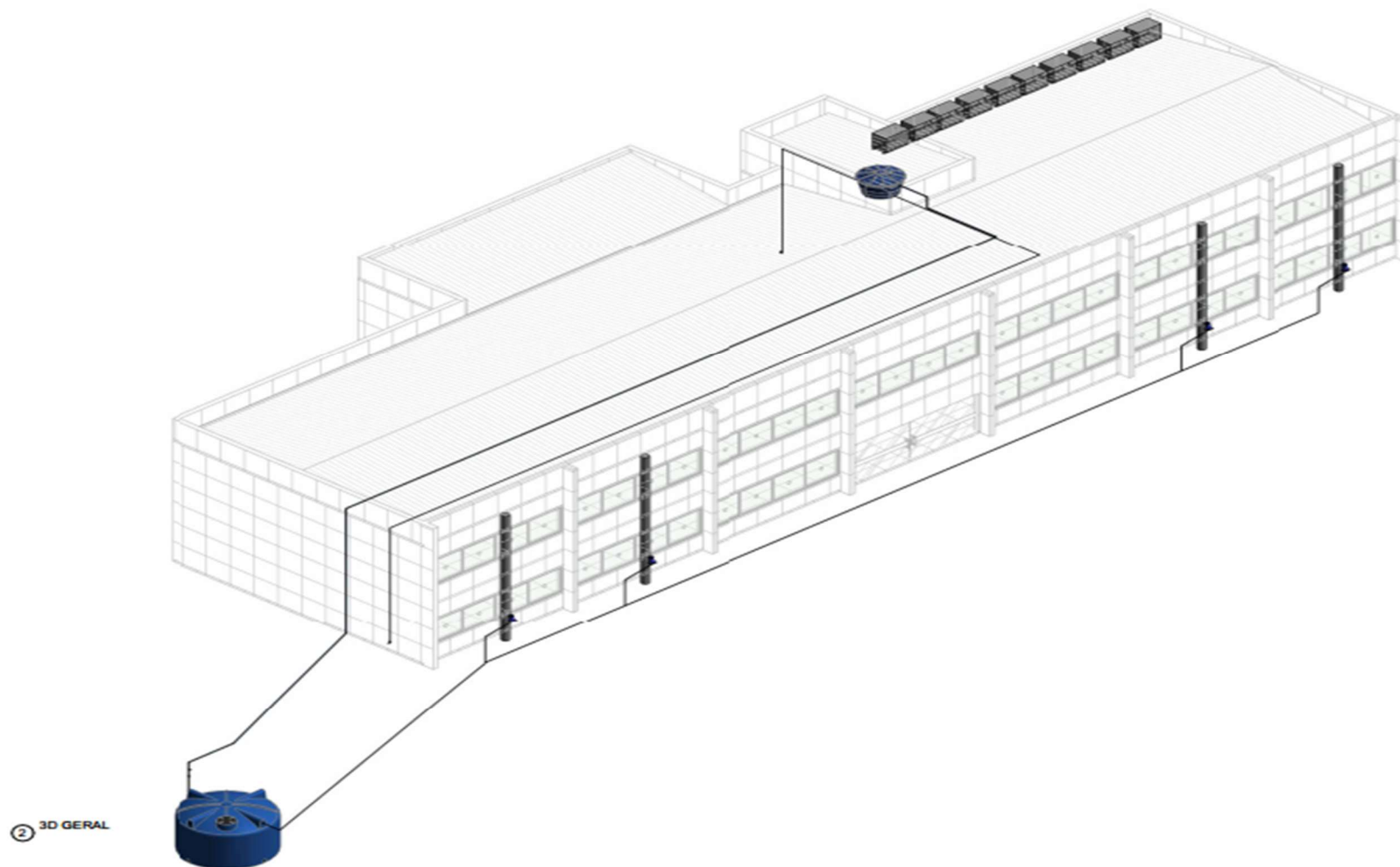
$$hf = j * L_T = 0,00052 * 60,5 = 0,0315 \text{ m}$$

- ✓ Altura manométrica

$$H_m = HG + hf = 14,5 + 0,0315 = 14,53 + 10\% = 15,98 \text{ m}$$



APÊNDICE II – Representação do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais proposta para a edificação



APÊNDICE III – Orçamento dos materiais necessários para implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais

	Peça	Qtde.	Unidade	Valor
Sistema de Captação	Tubo esgoto 150 mm	12	barras	R\$2.558,04
	Filtro de chuva Regato 150	4	peças	R\$2.340,00
	Joelho para esgoto 150 mm	5	peças	R\$188,55
	Conexão Tê para esgoto 150 mm	3	peças	R\$167,43
	Cisterna 30 mil litros em polietileno	1	peças	R\$28.499,00
Sistema de Recalque	mangueira flexível 3/4"	1	metro	R\$1,20
	Adaptador de mangueira / rosca ¾ para DN32 em latão	1	peça	R\$24,90
	abraçadeira de aço inox 20-25 mm	1	peça	R\$3,00
	tubo PVC rígido DN 32 soldável	9	barras	R\$490,50
	luva de união PVC rígido DN 32	5	peças	R\$11,90
	curva 90° PVC rígido DN 32	6	peças	R\$54,00
	Válvula unidirecional DN 32	1	peça	R\$32,34
	Registro de gaveta DN 32	1	peça	R\$75,90
	Abraçadeira tipo U 32 mm	3	peças	R\$5,40
	Bucha nylon 6 mm com anel	6	peças	R\$1,20
	Parafuso p/ bucha 6 mm	6	peças	R\$2,10
	Bomba submersa Lorenzetti BSP-POP	1	peça	R\$315,90
	Condutor elétrico isolado com cobertura de PVC 2 vias de 1,5mm²	50	metros	R\$199,50
	Chave de nível tipo bóia CB 2003	2	peças	R\$94,16
Tubulação de Distribuição	Tubo PVC rígido marrom 1/2"	11	barras	R\$257,62
	Tê PVC rígido marrom soldável 1/2"	1	peça	R\$2,00
	Joelho PVC rígido marrom 1/2" soldável	6	peças	R\$7,02
	Joelho PVC 1/2" soldável com bucha de latão	2	peças	R\$13,00
	Torneira de jardim	2	peças	R\$59,80
	Luva de união soldável PVC rígido marrom 1/2"	10	peças	R\$100,00
	Abraçadeira tipo U 20 mm	10	peças	R\$6,00
	Bucha nylon 6 mm com anel	20	peças	R\$4,00
	Parafuso p/ bucha 6 mm	20	peças	R\$7,00
	Mão de Obra			R\$3.200,00
			TOTAL	R\$38.721,46