



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA
FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

Gabriela Luiza Pereira

Belo Horizonte

2023

Gabriela Luiza Pereira

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA
FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

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

Orientadora: Profa. DSc. Luciana Peixoto Amaral

Belo Horizonte
2023

GABRIELA LUIZA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA
FINS NÃO POTÁVEIS EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

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

Aprovado em 28 de junho de 2023.

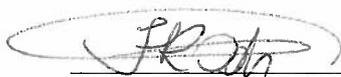
Banca examinadora:



Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora
Profa. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora



Lilia Maria de Oliveira
Profa. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais



Frederico Keizo Odan
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão ao Rei do universo, Deus, por me conduzir durante todos esses anos da graduação, concedendo-me graça e esperança nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Eloisa e Vandeir, pelo amor e suporte incondicional. Sem o apoio de vocês, não seria possível alcançar esse objetivo na minha vida acadêmica. Obrigada pelo constante incentivo e encorajamento.

À minha orientadora, Luciana Peixoto, por todos os conhecimentos, experiências e sugestões transmitidos. Obrigada por toda paciência, disponibilidade e apoio para o desenvolvimento deste projeto.

À Damares Luana e ao Israel Ferreira, que me auxiliaram nas análises das amostras no laboratório do CEFET.

A todos os professores e colegas do CEFET-MG, que contribuíram para a minha formação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Um agradecimento em especial para a Fabiana Pereira e ao Frederico Keizo, que me acompanharam na elaboração deste trabalho.

À toda a minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, me dando suporte e motivação durante o meu curso. Seu amor, carinho e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse concluí-lo com êxito.

A todos os demais que contribuíram de alguma forma para este trabalho, seja fornecendo material, dados ou informações.

RESUMO

PEREIRA, GABRIELA LUIZA. **Avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em um condomínio residencial**. 2023. 61. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

A água é um recurso natural, de valor econômico e a garantia de sua oferta se caracteriza como um direito fundamental e universal para a dignidade dos seres humanos. Estabelecer uma gestão dos recursos hídricos é uma forma de manejar seus diversos usos e garantir o abastecimento para gerações futuras. Dessa forma, a proposição de fontes alternativas para utilização responsável desse recurso é de grande relevância, com destaque para os sistemas de aproveitamento de água pluvial para abastecimento para fins não potáveis, que se configura como uma solução de preservação ambiental simples e de baixo custo. O presente trabalho propôs-se a avaliar o sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, em um condomínio residencial localizado no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. A partir de uma revisão sistemática da NBR 15.527/2019, analisou-se que o sistema apresenta diversas não conformidades, dentre as quais destaca-se a existência de conexão de tubos cruzados de água potável e não potável. Além disso, foi verificado, a partir do Método de Análise de Simulação para reservatórios, que o sistema apresenta uma confiabilidade de 75% e uma confiabilidade volumétrica de 36,8%, já que há grande extravasamento de água. Por fim, foi constatado que se todo o volume de água de chuva aproveitável fosse utilizado, haveria uma economia de até 12% no valor da conta de água para o condomínio. Assim, constata-se que a implantação de um sistema de captação de água de chuva (SAAC) contribui para a redução da utilização de água potável, apresentando benefícios econômicos, sociais e ambientais. Além disso, faz-se necessário a aprovação de leis e políticas para incentivar a implantação desses sistemas nas edificações em Belo Horizonte, o que contribuiria para atenuação dos picos de vazão e enchentes, comuns em épocas de chuva no município.

Palavras-chaves: Reuso de água. Sistema de aproveitamento de água de chuva. Simulação para reservatórios.

ABSTRACT

PEREIRA, GABRIELA LUIZA. **Evaluation of the Rainwater harvesting system for non-potable purposes in a residencial condominium.** 2023. 61. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Water is a natural resource with economic value and the guarantee of its supply is characterized as a fundamental and universal right for human dignity. Establishing water resource management is a way to manage its various uses and ensure supply for future generations. Therefore, the proposition of alternative sources for responsible use of this resource is of great relevance, especially the systems for rainwater harvesting for non-potable purposes, which represents a simple and cost-effective environmental preservation solution. This study aimed to evaluate the rainwater harvesting system for non-potable purposes in a residential condominium located in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais. Through a systematic review of the NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), it was analyzed that the system presents several nonconformities, among which stands out the existence of connection of crossed pipes of drinking and non-potable water. Additionally, using the Reservoir Simulation Analysis Method, it was found that the system has a reliability of 75% and an efficiency of 36.8%, due to significant water overflow. Finally, it was determined that if the entire volume of harvestable rainwater were utilized, there would be a savings of up to 12% in the water bill for the condominium. Thus, the implementation of a Rainwater Harvesting System (RHS) is proven to contribute to the reduction in the use of potable water, presenting economic, social, and environmental benefits. Furthermore, the approval of laws and policies to encourage the implementation of these systems in buildings in Belo Horizonte is necessary, as it would help mitigate peak flows and floods that are common during the rainy seasons in the city.

Keywords: Water reuse. Rainwater harvesting system. Reservoir simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Quantificação do volume de água presente no Planeta Terra.	16
Figura 3.2 – <i>Hotspots</i> de estresse hídrico global no ano de 2018.	18
Figura 3.3 - Esquema de um sistema de aproveitamento de água de chuva.....	21
Figura 3.4 - Área de captação por meio de telhas cerâmicas.	22
Figura 3.5 - Calha de PVC.....	23
Figura 3.6 – Representação dos condutores verticais e horizontais em um SAAC.....	23
Figura 3.7 – Representação de “ <i>first-flush</i> ”.....	24
Figura 3.8 - Filtro 3P Technik VF1.	25
Figura 4.1 - Laje onde é realizada a captação da água pluvial.	29
Figura 4.2 - Ralos para captação de água pluvial.....	30
Figura 4.3 - Reservatório de água pluvial.....	30
Figura 4.4 – Bomba utilizada para sucção da água do reservatório pluvial.	31
Figura 4.5 – Jardim do condomínio.....	32
Figura 4.6- Precipitação Acumulada Mensal e Temperatura Média Mensal em Belo Horizonte, MG.....	33
Figura 4.7 - Imagem de satélite do condomínio residencial.....	34
Figura 4.8 - Localização de pontos de emissão atmosférica nas proximidades do condomínio.	34
Figura 4.9 – Coleta de água do reservatório.....	35
Figura 4.10 – Coleta de água no ponto de uso.....	36
Figura 4.11 – Análise de Turbidez das amostras.....	37
Figura 4.12 – Análise de pH das amostras.	38
Figura 4.13 – Inoculação das amostras nos tubos com caldo lactosado.....	39
Figura 4.14 – Tubos preparados para serem incubados na estufa.	39
Figura 4.15 – Teste positivo a esquerda e negativo a direita.....	40
Figura 4.16 – Tubos preparados na estufa bacteriológica.	41
Figura 4.17 – Análise visual da presença de <i>E. Coli</i>	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Distribuição percentual dos recursos hídricos e populacionais no Mundo por continentes.....	17
Tabela 4.1 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis.....	36
Tabela 5.1 - Resultados analíticos das amostras nos três pontos de coleta da água da chuva..	46
Tabela 5.2 – Resultados positivos para coliformes totais nos pontos de amostragem.	47
Tabela 5.3 - Resultados positivos para <i>E.coli</i> das amostras.	48
Tabela 5.4 – Resultados do método NMP das amostras.....	49
Tabela 5.5 - Aplicação do Método de Simulação de Reservatórios.....	51
Tabela 5.6 – Potencial de economia hídrica caso todo o volume pluvial fosse aproveitado....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	American Public Health Association
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	Norma Brasileira
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SAAC	Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
WMO	World Meteorological Organization
WWF	World Wildlife Fund

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Os usos e a distribuição da água	15
3.2	Crise hídrica mundial	17
3.3	Aproveitamento de água de chuva	19
3.4	Componentes do Sistema de Captação de Água da Chuva	21
3.4.1	Área de captação	22
3.4.2	Calhas.....	22
3.4.3	Condutores verticais e horizontais	23
3.4.4	Dispositivo para descarte da água de precipitação inicial	24
3.4.5	Filtros de remoção de materiais em suspensão	24
3.4.6	Reservatório	25
3.5	Aspectos legais	25
3.6	Qualidade da água pluvial	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	Levantamento de dados e verificação do sistema	29
4.2	Área de Estudo	32
4.3	Amostragem e análise da água	35
4.3.1	Coleta das amostras	35
4.3.2	Procedimentos para análise das amostras	36
4.3.2.1	Turbidez	37
4.3.2.2	pH	37
4.3.2.3	Coliformes totais e Escherichia coli	38
4.4	Verificação de não-conformidades	42
4.5	Aplicação do Método de Simulação de reservatórios	42

4.6	Análise da economia hídrica a partir da implantação do sistema.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos de água.....	46
5.2	Resultados das análises de Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	47
5.3	Verificação de não-conformidades	49
5.4	Aplicação do Método de Simulação de reservatórios	50
5.5	Análise do potencial de economia hídrica com a implantação do sistema.....	52
6	CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	54
7	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A garantia de oferta de água configura-se como um direito fundamental e universal, uma vez que o recurso é indispensável para a dignidade dos seres humanos (ONU, 2010). O crescimento populacional atrelado à intensificação de práticas agrícolas e industriais, assim como a degradação de mananciais, o consumo desenfreado e as mudanças climáticas, têm causado problemas de estresse hídrico em várias regiões do mundo (ALVIM e SILVA, 2021). A gestão inadequada dos recursos hídricos também impede o atendimento às demandas qualitativas e quantitativas requeridas para seus diversos usos (MAY, 2004).

De acordo com a WWF-Brasil (2019), aproximadamente 70% da superfície terrestre é composta por água, sendo 1% dessa quantia correspondente à água doce, disponível para consumo humano. Essa parcela de água não é uniformemente distribuída no planeta Terra, variando de acordo com características geográficas, climatológicas e geológicas, além de questões políticas, econômicas e de gestão de cada região. Segundo o “*Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2000-2017*”, relatório da *World Health Organization e United Nations Children’s Fund* (UNICEF, 2019), bilhões de pessoas ainda sofrem com acesso precário à água potável e saneamento.

Considerando que as crises hídricas são obstáculos para o desenvolvimento econômico e sustentável (GOHARI et al., 2013), vários países têm avaliado fontes alternativas para utilização deste recurso, com destaque para o sistema de aproveitamento de água pluvial como uma possibilidade de abastecimento para fins não potáveis (LIMA; NUNES; SILVA, 2017). Além de contribuir para a segurança hídrica, gerando a redução no consumo de água potável, essa estratégia é uma medida de microdrenagem urbana, que permite a atenuação dos picos de vazão que causam enchentes (MITCHELL et al., 2008 apud GAITÁN; TEIXEIRA, 2020). Outrossim, ressalta-se que a utilização de água pluvial é uma solução de preservação ambiental simples e de baixo custo, que viabiliza o uso responsável do recurso (YOSHINO; FERNANDES, 2014).

Segundo Simioni, Ghisi e Gómez (2004), o aproveitamento de água da chuva utiliza-se de estruturas já existentes nas edificações, promove a redução dos investimentos de captação em mananciais, possui baixos impactos ambientais e auxilia na sustentabilidade de áreas urbanas. Esses sistemas apresentam potencial de economia médio de água potável de 53% (TESTON et

al., 2018), a depender das características climatológicas da região e da quantidade demandada para seus usos.

Em muitos casos, os sistemas de aproveitamento de água de chuva (SAAC) apresentam viabilidade técnica e econômica para edificações residenciais, propiciando uma redução significativa no consumo de água potável nos centros urbanos. Segundo a NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), a chuva pode ser aproveitada, após pré-tratamento, para atividades que não necessitam de água potável, tais como irrigação de jardins ou gramados, lavagem de carros, limpeza de calçadas e pátios e descarga de bacias sanitárias (BEZERRA et al., 2010). Outros usos também podem ser propostos, desde que haja tratamento adequado.

Assim sendo, o presente trabalho visa analisar o SAAC para fins não potáveis instalado em um condomínio residencial, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, ressaltando sua importância relacionada a benefícios ambientais, sociais e econômicos para o meio urbano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, em um condomínio residencial localizado no município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os componentes existentes no sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) para fins não potáveis;
- Verificar a operacionalização e manutenção do SAAC e, caso necessário, propor melhorias;
- Avaliar a qualidade da água de chuva para fins não potáveis antes da interceptação com a laje, dentro reservatório de acumulação e no ponto de consumo;
- Analisar, de maneira crítica, as possíveis não conformidades e falhas do sistema em relação à norma NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019);
- Estimar a confiabilidade e eficiência do sistema, a partir do Método de Análise de Simulação para reservatórios; e
- Analisar a economia de água com a implantação dos SAAC na edificação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

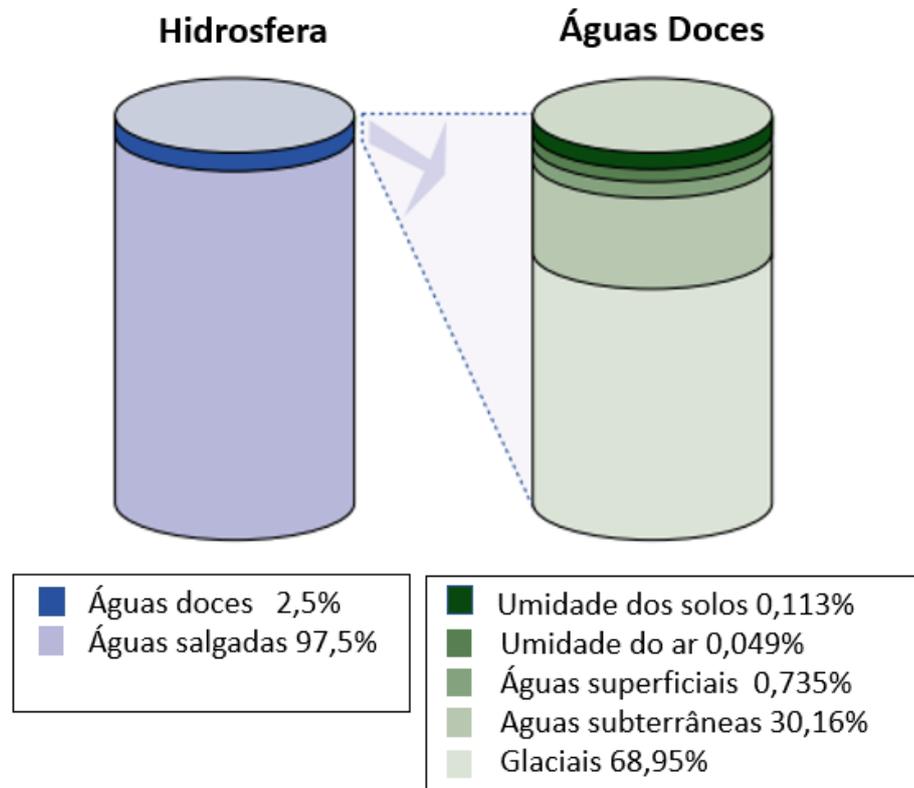
3.1 Os usos e a distribuição da água

A água é um recurso natural de valor econômico, responsável por assegurar o equilíbrio dos ecossistemas e necessária para o desenvolvimento dos seres vivos. Os recursos hídricos apresentam importância social e estratégica, sendo um fator considerável para o progresso e evolução da humanidade. Isso porque as primeiras civilizações humanas se consolidaram rapidamente nas proximidades de rios, onde a água era abundante. Como exemplo, tem-se o Egito, no qual foram construídos sistemas de irrigação próximos ao rio Nilo, tornando o solo produtivo e contribuindo para o desenvolvimento das civilizações (BRUNI, 1994).

Além de sistemas de irrigação, atualmente, os indivíduos necessitam dos recursos hídricos para diversos usos, podendo ser consuntivos ou não consuntivos. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2019), os usos consuntivos demandam a retirada de água do manancial, tais como dessedentação dos animais e abastecimento humano. Os usos não consuntivos referem-se à utilização de água sem que haja consumo ou perda significativa do recurso hídrico, como, por exemplo, o resfriamento de processos industriais.

De acordo com a WWF-Brasil (2019), aproximadamente 70% da superfície terrestre é composta por água. No entanto, 97,5% do recurso disponível é encontrado nos mares e oceanos, na forma de água salgada, e somente 2,5% é referente à água doce (OMM, 2005, p.1). Desta pequena percentagem de água doce, cerca de 70% estão nas geleiras e calotas e apenas 0,7% concerne às águas superficiais. Cabe ressaltar que grande parte da água disponível em fontes superficiais encontra-se com qualidade deteriorada, devido à intensa poluição de mananciais. Na Figura 3.1 é apresentada a distribuição mundial dos recursos hídricos.

Figura 3.1- Quantificação do volume de água presente no Planeta Terra.



Fonte: Adaptado de OMM (2005, p.1).

Mundialmente, há um desequilíbrio na oferta e demanda de água doce, tanto entre os tipos de mananciais, como entre as regiões e intra-regionalmente, já que existem variações sazonais e geográficas que influenciam na sua distribuição ao longo do regime hídrico. Segundo Silva (1998, apud AUGUSTO et al., 2012), a desigualdade da distribuição dos recursos hídricos contrasta com diferenças populacionais. A Ásia concentra 59,8% da população mundial, sendo o continente mais populoso, e apresenta 31,6% da disponibilidade total de água doce superficial disponível. Já as Américas contam com 13,6% dos habitantes e 41% da água do planeta (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Distribuição percentual dos recursos hídricos e populacionais no Mundo por continentes.

Continentes	Percentual da população mundial	Percentual da quantidade de água superficial disponível
África	15,0%	10,0%
Américas	13,6%	41,0%
Asia	59,8%	31,6%
Europa	10,9%	7,0%
Oceania/Austrália/Antártida	0,5%	10,3%

Fonte: Silva (1998, apud AUGUSTO et al., 2012).

No Brasil, também há desigualdades na disponibilidade hídrica, já que 70% da água encontra-se na Bacia Amazônica, região que possui a menor densidade populacional do país. Em contrapartida, no semiárido (região Nordeste), que conta com 30% da população brasileira, há somente 5% da água doce (CÂMARA, 2009, apud AUGUSTO et al., 2012). Dessa forma, faz-se necessário compreender a relação entre a disponibilidade de água doce e sua distribuição para consumo humano.

3.2 Crise hídrica mundial

A mudança das condições socioeconômicas e o aumento das densidades populacionais, bem como o uso insustentável e a má gestão de recursos hídricos, são fatores que afetam o sistema central de abastecimento de água a nível global. Isso porque o desenvolvimento de novos hábitos e atividades aumenta a demanda de água potável e não potável (ALIM et al., 2020).

Ainda, as mudanças climáticas podem prejudicar o ciclo hidrológico, alterando o regime de distribuição de chuvas e potencializando o problema de escassez hídrica. Outros fatores como a taxa de evapotranspiração e características geológicas podem agravar a situação (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010).

O estresse hídrico ocorre quando a demanda por água excede a quantidade disponível ou quando a má qualidade restringe seu uso. Segundo o relatório “*State of Climate Services*” (WMO, 2021), aproximadamente 2,3 bilhões de pessoas vivem em países que enfrentam crise hídrica. Além disso, 3,6 bilhões de indivíduos não possuem acesso adequado à água por pelo menos um mês ao ano.

Globalmente, um quarto de todas as cidades já está com falta de água e experimenta escassez perene de água. No ano de 2018, as regiões com maior estresse hídrico foram Norte da África, Ásia Central, Sul da Ásia e Oeste Ásia, conforme é mostrado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Hotspots de estresse hídrico global no ano de 2018.



Fonte: WMO (2021).

A Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU), realizada em Nova York, em setembro de 2015, estabeleceu objetivos de disponibilidade e gestão sustentável da água, frente ao panorama mundial de crise hídrica. O sexto objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS), titulado como “Água Potável e Saneamento”, busca soluções e estratégias para universalização da água potável e saneamento (IPEA, 2019). Dessa forma, são visados esforços para aplicação de metodologias para fortalecer os conceitos de segurança hídrica e desenvolvimento das comunidades. Apesar disso, segundo a WMO (2021), 107 países não estão no caminho certo para gerir a água de forma sustentável até o ano de 2030, como o caso Kuwait, Líbia, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos, devido à falta de políticas necessárias para os crescentes desafios relacionados à água e às mudanças climáticas.

De acordo com Gohari et al. (2013), as crises hídricas são obstáculos para o desenvolvimento sustentável, causando problemas sociais, ambientais e econômicos, aumentando a vulnerabilidade de territórios e populações. Assim sendo, os governos devem repensar na infraestrutura e gestão dos recursos hídricos, propondo medidas para aumentar a

sustentabilidade urbana e hídrica, tais como tratamento e reuso de água residuária, dessalinização e aproveitamento da água de chuva (KOLAVANI; KOLAVANI, 2020).

O reuso de água está relacionado ao tratamento e reutilização de efluentes industriais ou residenciais. A qualidade da água residuária depende das atividades que são realizadas, variando de acordo com os processos, consumo de produtos químicos e estruturas relacionadas. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2022), a água pode ser reaproveitada para irrigação de campos para cultivos, usos industriais, irrigação paisagística, usos urbanos não potáveis, dentre outros. Entretanto, a presença de organismos patogênicos e compostos orgânicos sintéticos, muitas vezes, podem ser difíceis de ser tratados e totalmente eliminados. Logo, a metodologia depende da implantação de Estações de Tratamento de Esgotos e, a depender do tratamento a ser adotado, o custo torna-se elevado.

A dessalinização consiste em obter água para consumo através da remoção ou redução da concentração de sais e sólidos dissolvidos na água salgada. Neste processo, deve-se eliminar também outros componentes químicos, orgânicos e biológicos, podendo apresentar grande consumo de energia e despesas elevadas. Ademais, essa metodologia gera subprodutos, como a salmoura, que apresenta elevado potencial de impactos negativos quando descarregado inadequadamente sobre o meio ambiente (SANTOS, 2013).

Por fim, a coleta e o armazenamento da água de chuva permitem a destinação da água para outros fins, como comerciais, domésticos e industriais (CAMPISANO et al., 2017). É uma metodologia de baixo custo, que pode ser implementada em qualquer local, sem grandes estruturas e com baixos recursos financeiros.

3.3 Aproveitamento de água de chuva

O manejo e aproveitamento de águas pluviais é uma técnica antiga, adotada em civilizações milenares, como as astecas, maias e incas (TORQUATO; MOREIRA; BITTENCOURT, 2015). Há relatos de dispositivos de coleta e armazenamento de água de chuva no Oriente Médio, Europa e América Latina que remontam a sistemas construídos há mais de dois mil anos (GONÇALVES, 2006).

Diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento adotam práticas de armazenamento de água pluvial como alternativa de suprimento de recursos hídricos. Na Alemanha e Japão, a iniciativa de retenção de águas das chuvas foi implantada, em um primeiro momento, como

medida de prevenção e combate a enchentes. Posteriormente, os processos foram aprimorados e, hoje, o aproveitamento de água em residências, edifícios e instituições de ensino são comumente difundidos nestes países (TEIXEIRA et al., 2016).

Segundo Amos, Rahman e Gathenya (2018), na Austrália, as autoridades fornecem subsídios financeiros para instalação e reformas de sistemas de aproveitamento de água de chuva, sendo uma maneira utilizada para reduzir a demanda de água potável do sistema centralizado de abastecimento. Nos Estados Unidos também são impostos regulamentos para melhores práticas de gestão de águas pluviais e o aproveitamento de águas de chuva para fins não potáveis (DEMONTE et al., 2015).

Segundo Gonçalves (2006), o aproveitamento de água de chuva no Brasil passou a ter destaque nas últimas décadas, principalmente no Nordeste, onde o clima é semiárido. Devido às dificuldades de suprimento de água à população, o governo federal estabeleceu o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais (Programa Cisternas), financiado por órgãos governamentais desde 2003. O programa visa aproveitamento de água da chuva com armazenamento em cisternas, cujo público principal são as famílias rurais de baixa renda atingidas por secas ou faltas constantes de água e povos e comunidades tradicionais (BRASIL, 2020).

A instalação de um sistema de aproveitamento de água de chuva é uma alternativa importante para amenizar situações de seca e prevenir o colapso dos sistemas hídricos. Conforme a NBR 15.527, a água coletada em centros urbanos pode ser aproveitada para fins não potáveis, tais como descargas em bacias sanitárias e mictórios, irrigação para fins paisagísticos, lavagens de veículos e pisos e uso ornamental (ABNT, 2019). De acordo com Bezerra et al. (2010), outros usos podem ser propostos, desde que os requisitos de qualidade e segurança sanitária estabelecidos sejam atendidos.

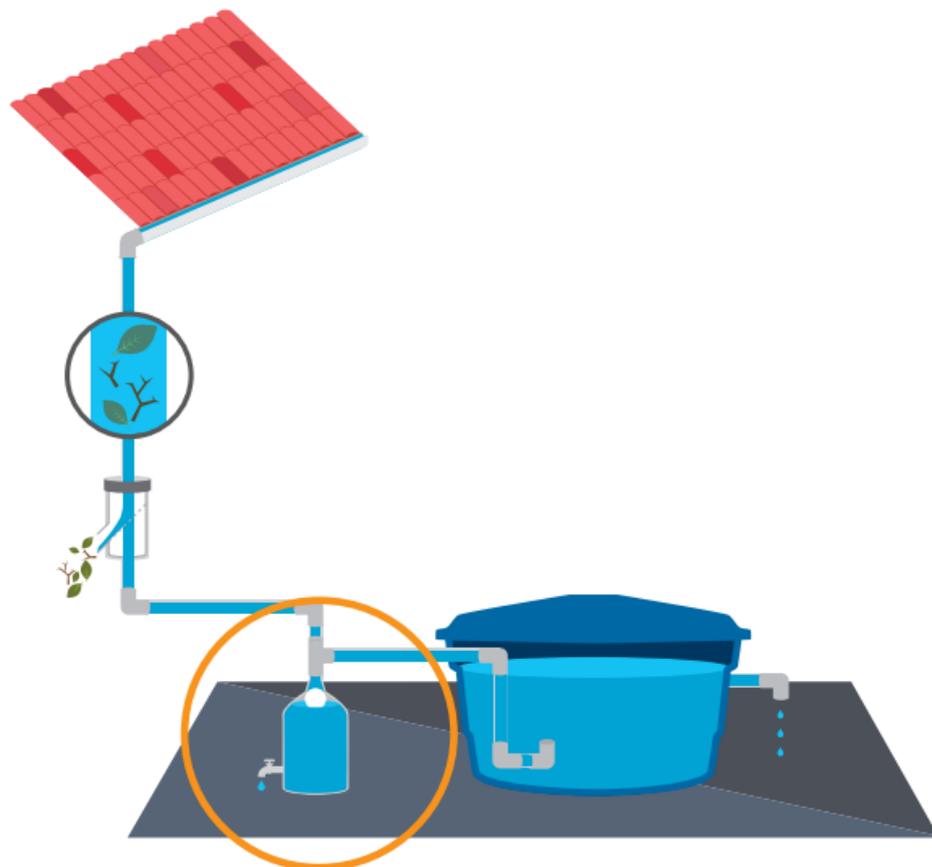
Os SAACs, geralmente, são adequados para qualquer tipo de edificação, podendo sua implantação ser feita desde a concepção de projetos ou após a construção do edifício. (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). A economia possível por meio dos sistemas depende diretamente da área de captação, pluviometria local, demanda de água e capacidade de reservação (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 2016). Souza e Ghisi (2012) obtiveram variações de 20% a 60% de economia para usos não potáveis em residências.

Além dos benefícios econômicos, o aproveitamento da água pluvial promove a descentralização do abastecimento público, amenização de secas, diminuição do estresse hídrico por meio de distribuição de água da chuva como fonte não potável complementar, principalmente em regiões onde a chuva é desigual e irregular ao longo do ano, redução do escoamento de águas pluviais nas metrópoles e mitigação das inundações.

3.4 Componentes do Sistema de Captação de Água da Chuva

Um sistema de aproveitamento de água de chuva é constituído por elementos para garantir a captação, o transporte, o armazenamento e a distribuição de água para o consumo (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Esquema de um sistema de aproveitamento de água de chuva.



Fonte: IPT (2015).

Segundo Tomaz (2010), os principais componentes para captação de água pluvial são área de captação, calhas, condutores verticais e horizontais, dispositivos de descarte das primeiras águas da chuva, filtros de remoção de materiais em suspensão e reservatório.

3.4.1 Área de captação

De acordo com a NBR 10.844 (ABNT, 1989), a área de captação é constituída pelas superfícies que conduzem a chuva interceptada para determinado ponto da instalação. No geral, telhados são utilizados para a função de captação, podendo ser compostos por telhas cerâmicas, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, dentre outros (TOMAZ, 2010). Na Figura 3.4 é apresentado um exemplo de uma área de captação de águas da chuva com telhas de fibrocimento.

Figura 3.4 - Área de captação por meio de telhas cerâmicas.



Fonte: MONTAPLAN CALHAS (2022?).

3.4.2 Calhas

Segundo NBR 10.844 (ABNT, 1989), a calha (Figura 3.5) refere-se a um canal responsável por recolher a água da (s) área (s) de captação e direcioná-la a um ponto de destino (ABNT, 1989). De acordo com Tomaz (2010), o material das calhas deve ser resistente à corrosão, liso, leve e rígido, apresentar longa durabilidade e não ser afetado por mudanças de temperatura. Podem ser escolhidas chapas galvanizadas, liga de alumínio e plásticos.

Figura 3.5 - Calha de PVC.



Fonte: TELHANORTE (2022?).

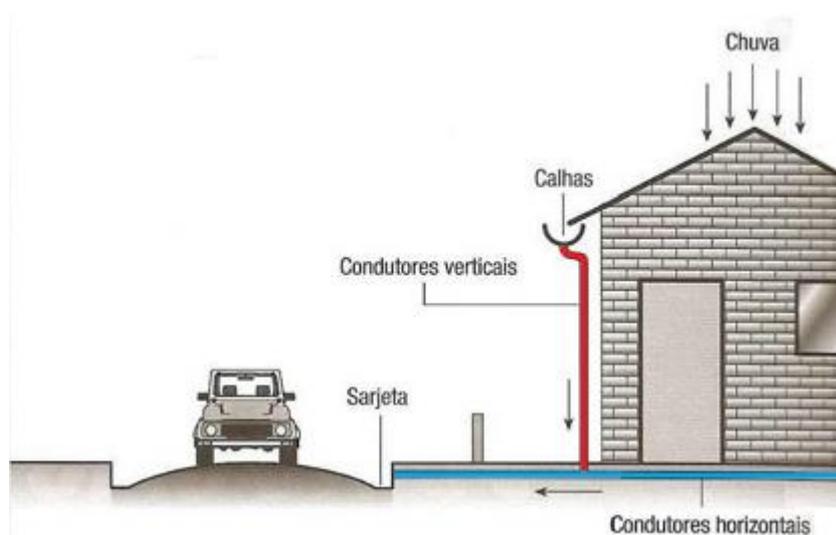
3.4.3 Condutores verticais e horizontais

A NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece que o condutor vertical (Figura 3.6) é a tubulação responsável por recolher as águas coletadas pelas calhas, coberturas e similares e transportá-las até a parte inferior da edificação.

O condutor horizontal (Figura 3.6) é um canal ou tubulação horizontal que recolhe e conduz as águas pluviais dos condutores verticais até locais permitidos pelos dispositivos legais (ABNT, 1989).

O dimensionamento das calhas e condutores deve preferencialmente seguir as diretrizes da norma NBR 10844/1989 (ABNT, 1989).

Figura 3.6 – Representação dos condutores verticais e horizontais em um SAAC.



Fonte: Viana (2015).

3.4.4 Dispositivo para descarte da água de precipitação inicial

A NBR 15.227 (ABNT, 2019) recomenda que seja instalado um dispositivo para descarte da precipitação inicial, comumente chamadas de “volume de água de descarte” ou “*first-flush*”. Esse dispositivo evita que um volume significativo de impurezas, como fezes de animais, folhas, galhos, seja direcionado para o reservatório.

O descarte pode ser feito manualmente, a partir de tubulações ou registros (Figura 3.7) ou automaticamente, através de dispositivos de autolimpeza (TOMAZ, 2010). A norma sugere um valor de descarte de 2mm por metro quadrado da área de captação, caso não tenham sido realizados estudos.

Figura 3.7 – Representação de “*first-flush*”.



Fonte: Ohnuma Junior et al. (2014).

3.4.5 Filtros de remoção de materiais em suspensão

Para assegurar a qualidade da água captada e impedir a passagem de folhas, gravetos, materiais que possam obstruir o sistema, recomenda-se a instalação de filtros (Figura 3.8).

Figura 3.8 - Filtro 3P Technik VF1.



Fonte: Budel (2014) apud Teixeira et al. (2017).

3.4.6 Reservatório

A água captada é direcionada, a partir dos condutores, para o reservatório ou cisterna para uso posterior. O volume dos reservatórios deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em consideração a área de captação, regime pluviométrico e demanda não potável a ser atendida (NBR 15527, 2019). Pode ser construído em concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, alvenaria de bloco armado, plásticos, poliéster, dentre outros materiais (TOMAZ, 2010).

Conforme descrito na NBR 15527 (2019), o reservatório deve ser seguro, possuir extravasor, dispositivo de esgotamento, inspeção e ventilação. Além disso, deve ser fechado e prever mecanismos que evitem a entrada de insetos ou outros animais.

A instalação do extravasor é recomendada para permitir a saída de água do sistema quando o reservatório receber um volume superior à sua capacidade de armazenamento. Isso deve ser realizado para evitar danos à estrutura do sistema.

3.5 Aspectos legais

A Lei nº 9.433, também conhecida como Lei das Águas, publicada em 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Os objetivos desta normativa são assegurar a disponibilidade necessária de água à atual e às futuras gerações, incentivar a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e prevenir contra eventos hidrológicos críticos de

origem natural ou causados por ação antrópica (BRASIL, 1997). Em 30 de outubro de 2017, foi estabelecida a Lei nº 13.501, que incluiu mais um objetivo à PNRH: “Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais” (BRASIL, 2017).

Segundo Castro et al. (2021), em nível federal, ainda não há ordenamento jurídico para tratar especificamente sobre o aproveitamento da água da chuva. A Lei nº 14.026, instituída em 15 de julho de 2020, trouxe atualizações para o marco legal do saneamento básico, incentivando o uso racional da água e a captação e o reuso de água de chuva. Além disso, a Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023, foi sancionada para estimular o uso das águas pluviais em novas edificações e em atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais. Ainda assim, nenhuma legislação foi criada para regulamentar e estabelecer casos de obrigatoriedade e diretrizes para efetivação dos SAACs. Dessa forma, algumas leis estaduais e regulamentos municipais sobre coleta de água de chuva para fins não potáveis foram instituídas para cobrir essa lacuna legislativa.

Atualmente, dos 26 estados brasileiros, 17 apresentam legislação que incentiva o aproveitamento de água da chuva (TAVARES et al., 2019). Os estados brasileiros têm ampliado seus mecanismos legais de incentivo ao aproveitamento de água da chuva, mas esse processo tem ocorrido de forma descentralizada. Além disso, poucas legislações apresentam medidas que efetivem a sua implementação, como aplicação de multas e ações de incentivo fiscal.

Em 02 de janeiro de 2007, a Lei Estadual nº 12.526 estabeleceu normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais, pela Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2007). Tornou-se obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m².

No Distrito Federal foi estabelecida a Lei nº 4181, de 21 de julho de 2008, que criou o Programa de Captação de Água da Chuva, cujos objetivos são a captação, o armazenamento e a utilização das águas pluviais pelas edificações urbanas (DISTRITO FEDERAL, 2008).

Em Curitiba, foi publicada em 2003 a Lei Municipal nº 10.785, que propôs o PURAE-Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (CURITIBA, 2003). Esse programa visa estabelecer medidas que induzam a conservação, o uso racional e a utilização de fontes alternativas para captação de água para todas as novas edificações do município paranaense.

Entre as metas do programa incluem-se a captação e o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. A obrigatoriedade em cumprir o PURAE foi efetivamente implantada quando entrou em vigor o Decreto Municipal nº 212/2007, que trouxe o novo Regulamento de Edificações do Município de Curitiba (CURITIBA, 2007).

Em Belo Horizonte, o Plano Diretor da cidade, aprovado em 2019 pela Lei nº 11.181, em seu artigo 161, sugere que a caixa de captação, ferramenta de controle da permeabilidade do solo nos terrenos, poderá ser utilizada como reservatório para reuso de águas pluviais.

Ressalta-se que existem normas técnicas voltadas aos requisitos para instalações de SAACs. Em 1989, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 10.844 de instalações de águas prediais, que fixou exigências e critérios necessários aos projetos de instalações de drenagens de águas sendo aplicados em coberturas de edifícios, terraços, pátios, quintais e similares (ABNT, 1989). Além disso, em 2007, foi criada a NBR 15.527, que foi atualizada em 2019, denominada “Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”. Esta norma tem como principal objetivo fornecer requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

3.6 Qualidade da água pluvial

As características geográficas do ponto de amostragem, bem como as condições atmosféricas locais, como intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos e estação do ano são fatores que influenciam na composição da água que é precipitada (TOMAZ, 2010). Além disso, as atividades desenvolvidas na região e emissão de poluentes por fontes industriais, agrícolas, de mineração, de construção civil ou fontes móveis alteram a qualidade do ar, interferindo diretamente na água pluvial (GONÇALVES, 2006). Isso porque a reação dos gases e poluentes na atmosfera, como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), forma ácidos que contribuem para a diminuição do pH da chuva (TOMAZ, 2010). As regiões que contam com vegetações e áreas verdes apresentam uma melhor qualidade do ar, já que as árvores atuam no sequestro de carbono e absorvem outros gases poluentes.

Para definição dos usos apropriados para água da chuva, sejam potáveis ou não potáveis, ressalta-se a importância do conhecimento de suas características qualitativas. A qualidade da água pluvial pode sofrer deterioração durante o caminho percorrido pela água pluvial até o uso final desejado, ou seja, antes de atingir o solo, durante a coleta na área de captação, na passagem

dos condutores, dentro do reservatório de armazenamento e nos pontos de uso (TOMAZ, 2010). Sendo assim, a NBR 15.527 (ABNT, 2019) trata do aproveitamento de águas pluviais e estabelece valores para parâmetros de qualidade nos quais a água pluvial deve ser enquadrada para sua utilização estabelecida.

Conforme a NBR 15.527, os parâmetros devem ser monitorados por meio de análises laboratoriais, com frequência mínima semestral, com amostra coletada na saída do reservatório de distribuição e/ou após tratamento (ABNT, 2019). Caso necessário, poderão ser propostos tratamentos por meio da utilização de ozônio, cloro, ultravioleta ou outras tecnologias para usos mais restritivos.

Ressalta-se que devem ser realizadas inspeção e manutenção periódica de todos os componentes do sistema, conforme estabelecido na NBR 15.527 (ABNT, 2019), a fim de evitar o acúmulo de sujeiras e a proliferação de microrganismos e vetores.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento de dados e verificação do sistema

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram realizadas visitas ao condomínio estudado, com o intuito de identificar e verificar os componentes operacionais do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Foi analisada a área de captação da água de chuva, a partir da visualização das plantas de cobertura da edificação (Figura 4.1). Diferentemente do convencional para SAACs, a água é captada a partir de ralos (Figura 4.2), localizados nas lajes das coberturas do condomínio, sem o uso de calhas.

Figura 4.1 - Laje onde é realizada a captação da água pluvial.



Fonte: A autora (2023).

Figura 4.2 - Ralos para captação de água pluvial.



Fonte: A autora (2023).

Como não há projetos e plantas do sistema de aproveitamento de água de chuva para a edificação, supõe-se que toda a água coletada é direcionada, a partir de condutores verticais, para o reservatório, que se encontra enterrado na garagem (Figura 4.3). Observou-se que não há descarte das primeiras águas da chuva, nem pré-tratamento da água captada.

Figura 4.3 - Reservatório de água pluvial.



Fonte: A autora (2023).

Enquanto houver água no reservatório, a bomba (Figura 4.4) pode ser acionada, possibilitando a reutilização da água pluvial. Uma das válvulas direciona a água para uma torneira, próxima à saída da garagem. O restante das válvulas permite o direcionamento da água para os aspersores do jardim externo.

Figura 4.4 – Bomba utilizada para sucção da água do reservatório pluvial.



Fonte: A autora (2023).

Em épocas de secas, a bomba mantém-se desligada e utiliza-se a água fornecida pela concessionária local, Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), para irrigação do jardim (Figura 4.5). A rega é realizada com frequência de 3 vezes na semana.

Figura 4.5 – Jardim do condomínio.



Fonte: A autora (2023).

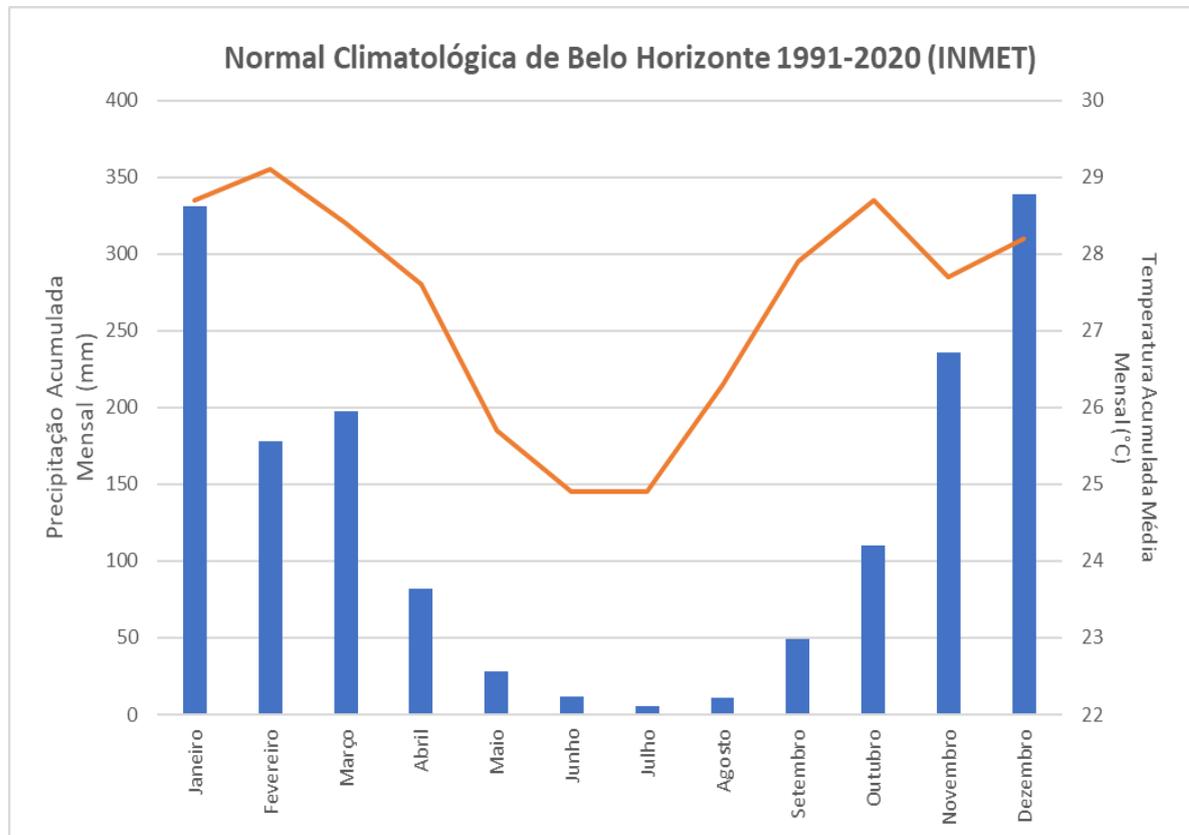
4.2 Área de Estudo

O município de Belo Horizonte localiza-se na região central de Minas Gerais, contando com uma população de 2.375.151 pessoas, de acordo com o último censo do IBGE, realizado em 2010. Sua população encontra-se distribuída ao longo de uma área de 331,354 km² (IBGE, 2021), sendo dividida em nove regionais: Barreiro, Centro-Sul, Leste, Noroeste, Nordeste, Norte, Oeste, Pampulha e Venda Nova (PBH, 2010).

De acordo com Assis (2010), Belo Horizonte apresenta variação altimétrica de 675m a 1520m, com uma altitude média de 860m. A capital mineira possui clima tropical, marcado por estações bem definidas: período seco e frio entre os meses de abril e setembro, e período chuvoso e quente entre outubro e março. Na Figura 4.6 são mostradas a precipitação acumulada mensal e a temperatura média mensal do município, considerando uma série histórica de 1991 a 2020, de uma estação pluviométrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022?). A precipitação acumulada média anual encontrada é de 1578,3 mm, enquanto a temperatura média anual é de 22,1°C (INMET, 2022?).

Cabe destacar que as variações de temperatura e a distribuição temporal e espacial da precipitação exercem influência direta nas análises quantitativa e qualitativa das águas pluviais.

Figura 4.6- Precipitação Acumulada Mensal e Temperatura Média Mensal em Belo Horizonte, MG.



Fonte: INMET (2022?).

O condomínio, objeto do estudo (Figura 4.7), está situado na região noroeste de Belo Horizonte, nas proximidades do Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo e Avenida Dom Pedro II, que apresentam fluxo intenso de veículos diariamente. Além disso, localiza-se perto do desativado Aeroporto Carlos Prates, que atendia ao Aeroclube do Estado de Minas Gerais até abril de 2023 (Figura 4.8). Esses são alguns fatores que podem influenciar na concentração de poluentes na atmosfera e, como consequência, na qualidade da água precipitada.

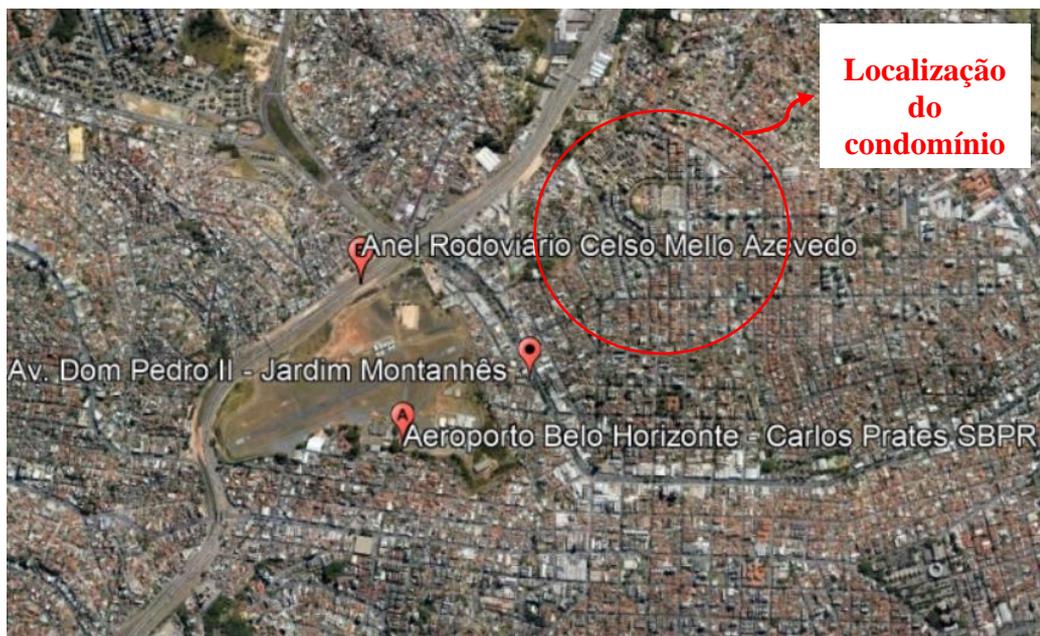
Por se tratar de um bairro residencial, a região não conta com indústrias ou outras fontes de poluição atmosférica.

Figura 4.7 - Imagem de satélite do condomínio residencial.



Fonte: Google (2020).

Figura 4.8 - Localização de pontos de emissão atmosférica nas proximidades do condomínio.



Fonte: Google (2020).

4.3 Amostragem e análise da água

4.3.1 Coleta das amostras

Para análise da qualidade da água ao longo do sistema de captação e reuso da água de chuva, foram realizadas amostragens em três pontos: (1) antes da interceptação com a cobertura; (2) no reservatório; e (3) na torneira, próximo à saída da garagem.

As amostras do reservatório e ponto de uso foram coletadas, em triplicatas, seguindo orientações do *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2005), no período da tarde do dia 10 de janeiro de 2023. Foram utilizados frascos de polietileno, com volume de 100ml, previamente autoclavados (Figuras 4.9 e 4.10). Para a coleta da água precipitada, utilizou-se um balde esterilizado, que se manteve exposto durante a madrugada do mesmo dia, que contou com uma precipitação acumulada de 8mm (INMET, 2023).

Figura 4.9 – Coleta de água do reservatório.



Fonte: A autora (2023).

Figura 4.10 – Coleta de água no ponto de uso.



Fonte: A autora (2023).

As amostras foram armazenadas em bolsas térmicas, com gelo, para transporte e deslocamento até o CEFET-MG para a realização das análises.

4.3.2 Procedimentos para análise das amostras

De acordo com a norma NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), para o aproveitamento da água da chuva de cobertura para fins não potáveis devem ser atendidos parâmetros mínimos de qualidade, conforme a Tabela 4.1 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis. Dessa forma, foram coletadas amostras para análises dos parâmetros de turbidez, pH e *Escherichia Coli*.

Tabela 4.1 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis.

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

Fonte: Adaptado da ABNT (2019).

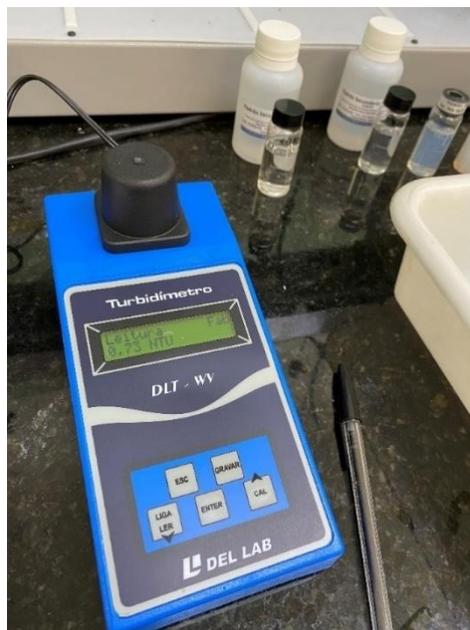
Tais parâmetros foram analisados, em triplicatas, no Laboratório de Análises Ambientais e Sanitárias, do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, localizado no Campus I do CEFET-MG. A metodologia adotada está estabelecida no *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2005).

4.3.2.1 Turbidez

A turbidez é uma propriedade física que indica o grau de interferência da passagem da luz através da água (VON SPERLING, 1996), expresso em Unidade Nefelométrica de Turbidez (uT). Essa intervenção ocorre principalmente pela presença de sólidos em suspensão, que reduzem a penetração da luz e, também, podem servir de abrigo para microrganismos.

Para determinação da turbidez, foi utilizado o Turbidímetro DLT W, modelo Del Lab, previamente calibrado (Figura 4.11).

Figura 4.11 – Análise de Turbidez das amostras.



Fonte: A autora (2023).

4.3.2.2 pH

De acordo com Von Sperling (1996), o potencial hidrogeniônico (pH) expressa a concentração de íons hidrogênio H^+ , em uma amostra de água. Isso indica a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade do fluido, variando em uma escala numérica de 0 a 14.

Para verificação do pH, foi utilizado pHmetro digital DL-PH, modelo Del Lab, disponibilizado pelo Departamento de Química Tecnológica do CEFET-MG. O pHmetro foi previamente calibrado com soluções padrão, de pH 4,0 e pH 7,0.

Figura 4.12 – Análise de pH das amostras.



Fonte: A autora (2023).

4.3.2.3 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Segundo a FUNASA (2013), os coliformes totais são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos. Essas bactérias fermentam a lactose, produzindo ácido e gás carbônico em 24 a 48 horas, a aproximadamente 35 °C.

A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo coliforme, de origem exclusivamente fecal, que realiza a fermentação de lactose e manitol, produzindo ácido e gás a 44,5 °C, em 24 horas (FUNASA, 2013). Esse microrganismo encontra-se presente no trato digestivo de animais de sangue quente e, portanto, é um indicador de contaminação fecal nas águas.

Na análise de água, inicialmente, é realizada a identificação dos coliformes totais, seguida pela determinação de coliformes fecais, como a *Escherichia coli*. Para verificação da presença desses organismos nas amostras, é utilizado o Método dos Tubos Múltiplos (TM).

No dia 10 de janeiro, foi realizado o teste presuntivo, no qual foram preparados 15 tubos de ensaio, com tubos de Durham em seu interior, contendo caldo lactosado de concentração simples, para identificar a presença de coliformes totais. Em 5 tubos foram inoculados 10 ml de amostra, em outros 5 foram inoculados 1 ml de amostra e nos 5 tubos restantes foram inoculados 0,1ml da amostra para serem incubados na estufa a 35 °C. Ressalta-se que foram feitas triplicatas para cada um dos pontos analisados (Figuras 4.13 e 4.14).

Figura 4.13 – Inoculação das amostras nos tubos com caldo lactosado.



Fonte: A autora (2023).

Figura 4.14 – Tubos preparados para serem incubados na estufa.



Fonte: A autora (2023).

Após 24 horas, no dia 11 de janeiro, foi realizada a análise dos tubos. Os tubos de Durham que apresentaram gás em sua superfície interna indicaram que houve fermentação da lactose e, conseqüentemente, apontaram resultado positivo para o teste presuntivo, conforme pode ser observado na Figura 4.15. Os tubos positivados foram encaminhadas para o teste confirmativo.

As amostras que não apresentaram gás em seu interior retornaram para a estufa, para permanecerem por mais 24 horas.

Figura 4.15 – Teste positivo a esquerda e negativo a direita.



Fonte: A autora (2023).

Para realização do teste confirmativo, com o intuito de verificar a presença de *E. Coli*, foi utilizado o procedimento de repicagem. Dessa forma, foram preparados tubos contendo caldo nutritivo EC MEDIUM W/MUG, que permitem a sobrevivência apenas de bactérias Grampositivas fecais (FUNASA, 2013). Assim, com uma alça de platina, previamente flambada, foram retirados de cada tubo positivado uma pequena amostra para ser inoculada no tubo correspondente com o caldo. Após inoculação, os tubos foram incubados em estufa bacteriológica a 35° C por mais 24 horas (Figura 4.16).

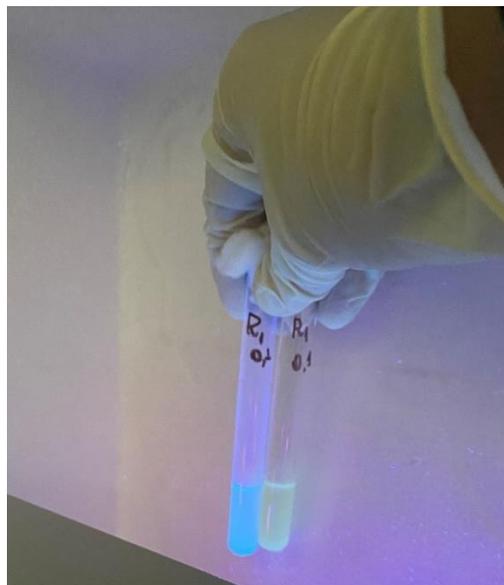
Figura 4.16 – Tubos preparados na estufa bacteriológica.



Fonte: A autora (2023).

No dia 12 de janeiro, após período de incubação, foi realizada análise visual dos tubos sob luz ultravioleta de comprimento de onda de 365 nanômetros. A *E. Coli*, na presença do caldo, produz a enzima β -glicuronidase, que, por sua vez, hidrolisa o EC MUG e provoca uma mudança de cor no meio. Os tubos que constataram a presença de *E. Coli* apresentaram fluorescência azul.

Figura 4.17 – Análise visual da presença de *E. Coli*.



Fonte: A autora (2023).

A partir dos resultados obtidos, verificou-se o quantitativo de *Escherichia coli* com base no método do número mais provável (NMP) de organismos em cada 100ml de amostra. Esse método apresenta limite de confiança de 95% e se baseia na observação das combinações de resultados positivos do teste confirmativo, em que 5 tubos foram usados para cada diluição (10mL, 1,0mL e 0,1mL).

4.4 Verificação de não-conformidades

A partir do levantamento das características físicas do local e, com base em uma revisão sistemática da NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), que estabelece requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis, foi possível realizar uma avaliação crítica do sistema implantado e, a partir disso, propor melhorias e adequações.

4.5 Aplicação do Método de Simulação de reservatórios

Para avaliar a capacidade do reservatório existente em relação aos usos atendidos pela água da chuva na edificação, ou seja, a confiabilidade do sistema implantado, foi utilizado o Método de Simulação (TOMAZ, 2010). Essa etapa foi realizada em planilha eletrônica Excel, sendo necessários os seguintes dados de entrada: dados da precipitação média mensal, volume do reservatório, demanda de água mensal para o uso estipulado, área de captação da chuva e seu coeficiente de escoamento. Neste estudo, considerou-se apenas a demanda de água requerida pelos aspersores do jardim.

A partir da relação entre tais parâmetros, foi possível compreender o que ocorre em cada mês, se há sobra de água (*overflow*) ou há falta de água, necessitando de reposição pela concessionária local para suprir a demanda (TOMAZ, 2010). Ressalta-se que, em caso de extravasamento de volume captado, podem ser propostos usos alternativos, como lavagem da quadra e pátio de lazer.

O volume do reservatório e a área de captação da chuva foram determinados *in loco*, bem como a partir da visualização das plantas baixas do condomínio. A série histórica de precipitação foi obtida por meio de dados disponibilizados pelo INMET (2022?). Por último, a demanda de água mensal para irrigação dos jardins foi calculada a partir da Equação 4.1.

$$D = \frac{A \times P \times F}{1000} \quad (4.1)$$

Onde:

D = demanda de água para irrigação de jardins (m³/mês);

A = área de jardim (m²);

P = parâmetro de engenharia estimado para cada uso (litros/dia/m²). Para regas de jardim, será adotado o valor de 2 litros/dia/m² (TOMAZ, 2010);

F = frequência mensal de rega;

O volume de chuva em um determinado tempo “t” será determinado pela Equação 4.2, estando sujeito à restrição apresentada na Equação 4.3.

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad (4.2)$$

$$0 \leq S(t) \leq V \quad (4.3)$$

Em que:

S(t) = volume de água no reservatório no tempo t (m³);

V = volume do reservatório (m³);

C = Coeficiente de *runoff* do telhado (adimensional). Será adotado valor de 0,95, referente a pavimento de concreto (LEED *existing buildings*, 2009 apud TOMAZ, 2010);

P(t) = Precipitação média mensal (mm);

A = Área de captação (m²).

Em seguida, aplicou-se a equação da continuidade (Equação 4.4). Neste método, supõe-se que o reservatório se encontra cheio no instante inicial de contagem do tempo “t”, e os dados históricos são representativos para as condições futuras. Os parâmetros de evaporação da água e perdas por vazamentos no reservatório não foram considerados.

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (4.4)$$

Onde:

S(t) = volume de água no reservatório no tempo t (m³);

S(t-1) = volume de água no reservatório no tempo t-1 (m³);

Q(t) = volume de chuva no tempo t (m³);

D(t) = demanda no tempo t (m³).

Foram determinados, também, a confiança e a confiabilidade volumétrica do sistema, duas variáveis muito usadas em aproveitamento de água de chuva (TOMAZ, 2010). Segundo

McMahon (1993 apud TOMAZ, 2010), a confiança é estabelecida a partir da proporção de tempo que o reservatório é capaz de atender a demanda, conforme Equação 4.5.

$$C = \frac{nr}{n} \quad (4.5)$$

Onde:

C = confiança do sistema, em porcentagem (%);

nr = número de meses que o reservatório atendeu a demanda;

n = número total de meses (12 meses).

A confiabilidade volumétrica mensal do reservatório, também conhecida como confiabilidade volumétrica, é mensurada a partir da relação entre o volume total de água pluvial aproveitada e o volume total de água pluvial captada (MCMAHON, 1993 apud TOMAZ, 2010), sendo o cálculo representado pela Equação 4.6.

$$Cv = 100 \times \frac{(Qt - Et - St)}{Qt} \quad (4.6)$$

Onde:

Cv = confiabilidade volumétrica do reservatório, em porcentagem (%);

Qt = volume total de chuva anual (m³);

Et = volume total de extravasamento anual (m³);

St = volume total de suprimento anual pela COPASA (m³).

Por fim, o percentual mensal de atendimento à demanda é dado pela relação da quantidade de água de chuva demandada mensalmente e volume necessário para suprimento mensal, a partir da Equação 4.7.

$$DA = 100 \times \frac{(D - St)}{D} \quad (4.7)$$

Sendo:

DA = demanda atendida, em porcentagem (%);

D = demanda de água para irrigação de jardins (m³/mês);

St = volume de suprimento mensal pela COPASA (m³/mês).

4.6 Análise da economia hídrica a partir da implantação do sistema

Com o intuito de verificar a economia de água que o SAAC proporciona, bem como os benefícios ambientais e sociais associados à aplicação do sistema, foi realizada uma comparação entre o consumo de água do condomínio com o volume de chuva mensal, calculado no item anterior (Equação 4.2).

Para essa comparação, foi necessário consultar o consumo mensal, em m³, de água potável do condomínio, disponível nas contas de água. Assim, foi possível analisar quanto o volume de chuva representa em relação à água demandada pelo prédio e, dessa forma, estimar a economia hídrica que o sistema de aproveitamento de água de chuva oferece.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos de água

Os resultados obtidos, em triplicatas, nas análises dos parâmetros de turbidez e pH, antes da interceptação com a cobertura, dentro reservatório de acumulação e no ponto de consumo podem ser observados, respectivamente, na Tabela 5.1. Dessa forma, foi possível verificar a alteração da qualidade da água, que passa pelo SAAC, desde a captação até a destinação final.

Tabela 5.1 - Resultados analíticos das amostras nos três pontos de coleta da água da chuva.

Ponto de amostragem	Amostras	Parâmetros	
		pH	Turbidez (uT)
Antes de interceptar a cobertura	1	6,53	1,83
	2	6,46	2,17
	3	6,55	1,95
	Média	6,51	1,95
	DP	0,0386	0,1537
	<hr/>		
Reservatório	1	7,64	1,69
	2	7,59	1,66
	3	7,58	1,78
	Média	7,6	1,71
	DP	0,0262	0,051
	<hr/>		
Torneira	1	7,26	4,85
	2	7,24	3,04
	3	6,69	0,96
	Média	7,06	2,95
	DP	0,2641	1,5893
	<hr/>		

Fonte: A autora (2023).

Observa-se que o valor para turbidez é inferior na água do reservatório em comparação com a água coletada diretamente da atmosfera, em função do processo de decantação que ocorre no tanque de armazenamento. O maior resultado para turbidez foi encontrado em uma das amostras da torneira, provavelmente devido à presença de sedimentos residuais na tubulação. Os dados de turbidez da torneira variaram consideravelmente entre as amostras, apresentando desvio padrão acima de 1,0.

Com relação ao pH, verifica-se que a maior média foi encontrada no reservatório, seguida pela torneira. A amostra de água pluvial antes de ser interceptada a cobertura, apresentou menor média para o parâmetro. Os dados de pH da torneira apresentaram, também, uma maior variação dos dados, com maior desvio padrão.

É importante ressaltar que os valores de pH atenderam aos requisitos da NBR 15.527 (ABNT, 2019), estando na faixa de 6,0 – 9,0. Os resultados para turbidez também estiveram de acordo com a norma, apresentando valores inferiores a 5,0 uT.

5.2 Resultados das análises de Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

Os resultados do teste presuntivo para análise de coliformes totais, utilizando-se o caldo lactosado diluído nas proporções 1:1; 1:10 e 1:100, estão representados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resultados positivos para coliformes totais nos pontos de amostragem.

Ponto de amostragem	Amostras	10 (ml)	1 (ml)	0,1 (ml)
Antes de interceptar a cobertura	1	5	1	3
	2	5	3	1
	3	5	4	2
Reservatório	1	5	5	5
	2	5	5	4
	3	5	4	5
Torneira	1	4	0	0
	2	0	0	0
	3	1	0	0

Fonte: A autora (2023).

Observa-se que, dos 45 tubos analisados para cada ponto, 29 apresentaram presença de coliformes totais nas amostras de chuva, 43 apresentaram teste positivo nas amostras do reservatório e apenas 5 foram positivados nas amostras da torneira. O valor encontrado para o reservatório ocorreu, provavelmente, devido ao acúmulo de bactérias em seu interior, já que nunca passou por limpeza. Supõe-se que a diminuição dos organismos na amostra da torneira se deu em função da presença de cloro residual na tubulação. Isso porque a canalização é cruzada, existindo mistura da água da COPASA com a água bombeada do reservatório.

Para os valores de *E. Coli*, obtidos a partir do teste confirmativo, com o uso do caldo nutritivo EC MEDIUM W/MUG, foram obtidos os resultados da Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Resultados positivos para *E.coli* das amostras.

Ponto de amostragem	Amostras	10 (ml)	1 (ml)	0,1 (ml)
Antes de interceptar a cobertura	1	4	1	3
	2	5	2	1
	3	3	4	1
Reservatório	1	4	2	3
	2	4	2	0
	3	5	1	1
Torneira	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0

Fonte: A autora (2023).

Observa-se que, dos 45 tubos para cada ponto, 24 apresentaram presença de *E. Coli* nas amostras de chuva, 22 apresentaram teste positivo nas amostras do reservatório e nenhum foi positivado nas amostras da torneira.

O cloro residual da tubulação pode ter interferido no resultado das análises, já que essa substância consegue desestabilizar a ação da *E. coli*. Quanto mais tempo em contato com uma amostra de água, maior a sua capacidade de matar os organismos existentes.

Para obtenção de uma amostra mais representativa do local, seria necessário utilizar o tiosulfato de sódio, que tem a propriedade de neutralizar a ação do cloro. Dessa forma, a amostra seria preservada até a realização das análises e, assim, seria possível verificar se, de fato, o cloro interferiu nos resultados.

A partir do método do número mais provável (NMP) de organismos, verificou-se que os três pontos analisados apresentaram valores inferiores a 200/100 ml de *Escherichia coli* nas amostras coletadas, conforme estabelecido na norma NBR 15.527 (ABNT, 2019). Os resultados estão contemplados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados do método NMP das amostras.

Ponto de amostragem	Combinação de positivos	NMP./100 mL	Limite Inferior	Limite Superior
Antes de interceptar a cobertura	4-1-3	31	10	70
	5-2-1	70	22	170
	3-4-1	24	9,8	70
	Média	42	-	-
	Desvio Padrão	20	-	-
Reservatório	4-2-3	38	14	100
	4-2-0	22	6,8	50
	5-1-1	46	14	120
	Média	35	-	-
	Desvio Padrão	10	-	-
Torneira	0-0-0	<1,8	-	6,8
	0-0-0	<1,8	-	6,8
	0-0-0	<1,8	-	6,8
	Média	<1,8	-	-
	Desvio Padrão	0	-	-

Fonte: Adaptado de APHA (2005).

5.3 Verificação de não-conformidades

O sistema de aproveitamento de água de chuva não estava previsto no projeto inicial de drenagem das águas pluviais do condomínio. Percebe-se que não houve um planejamento e dimensionamento prévio do volume do reservatório e área de captação, e há cruzamento de água potável e não potável (da chuva). Além disso, o regime pluviométrico e a demanda não potável não foram previamente definidos.

Com relação a NBR 15.527 (ABNT, 2019) observaram-se as seguintes não conformidades:

- a.** Não há pré-tratamento da água captada antes de sua reservação;
- b.** Não há dispositivos para remoção de sólidos indesejáveis (detritos, folhas, insetos, etc.) para prevenir o risco de deterioração da qualidade da água no reservatório de armazenamento de água de chuva;
- c.** O reservatório de armazenamento de água de chuva, bem como os trechos de tubulação de recalque e distribuição do sistema de água não potável não apresentam identificação.
- d.** Não há diferenciação das tubulações e demais componentes de água não potável em relação às tubulações de água potável.

- e. O sistema de distribuição de água de chuva não é independente, havendo tubulação cruzada.
- f. Os pontos de consumo não são de uso restrito e não apresentam placa de advertência indicando que a água é não potável.
- g. Não foram previstos acessos para inspeção e desobstrução das tubulações.
- h. Os parâmetros de qualidade da água de chuva para fins não potáveis não são monitorados periodicamente, com frequência mínima semestral.
- i. Não há tratamento da água armazenada.
- j. Não há realização de inspeção e manutenção periódica dos componentes do sistema.
- k. Não há limpeza do reservatório.

5.4 Aplicação do Método de Simulação de reservatórios

O jardim externo do condomínio apresenta uma área total de 266,5 m² e a irrigação é realizada com frequência semanal de 3 vezes, totalizando uma média de 12 vezes ao mês. Considerando o uso de 2 litros/dia/m² (TOMAZ, 2010) e utilizando a Equação 4.1, obteve-se o valor de demanda mensal de água para irrigação do jardim de 6,40 m³.

Além disso, a área de captação da cobertura do condomínio é de 130 m² e o volume do reservatório é de aproximadamente 11 m³. Dessa forma, obteve-se os resultados dispostos na Tabela 5.5, conforme o Método de Simulação.

Tabela 5.5 - Aplicação do Método de Simulação de Reservatórios.

Meses	Demanda	Precipitação o média mensal	Área de captação da cobertura	Coficiente de run-off	Volume de água de chuva aproveitável (Eq. 4.2)	Volume do reservatório	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo (t- 1)	Volume de chuva armazenada no reservatório no tempo (t)	Volume de extravasamento	Volume de suprimento	Demanda atendida
	(m ³)	P (mm)	A (m ²)	C	Q(t) (m ³)	(m ³)	S _(t-1) (m ³)	S _(t) (m ³)	(m ³)	(m ³)	%
Jan	6,40	330,90	130,00	0,95	40,87		0,00	11,00	23,47	0,00	100,00
Fev	6,40	177,70	130,00	0,95	21,95		11,00	11,00	15,55	0,00	100,00
Mar	6,40	197,50	130,00	0,95	24,39		11,00	11,00	18,00	0,00	100,00
Abr	6,40	82,30	130,00	0,95	10,16		11,00	11,00	3,77	0,00	100,00
Mai	6,40	28,10	130,00	0,95	3,47		11,00	8,07	0,00	0,00	100,00
Jun	6,40	11,40	130,00	0,95	1,41		8,07	3,09	0,00	0,00	100,00
Jul	6,40	5,40	130,00	0,95	0,67	11,0	3,09	0,00	0,00	2,64	58,68
Ago	6,40	10,60	130,00	0,95	1,31		0,00	0,00	0,00	5,09	20,47
Set	6,40	49,20	130,00	0,95	6,08		0,00	0,00	0,00	0,32	95,00
Out	6,40	110,10	130,00	0,95	13,60		0,00	7,20	0,00	0,00	100,00
Nov	6,40	236,00	130,00	0,95	29,15		7,20	11,00	18,95	0,00	100,00
Dez	6,40	339,10	130,00	0,95	41,88		11,00	11,00	35,48	0,00	100,00
TOT						-					
AL	76,75	1.578,30	-	-	194,92		-	-	115,22	8,05	89,51

Fonte: A autora (2023).

Nos meses mais chuvosos, de outubro a abril, ocorre extravasamento de água. Dessa forma, há um excedente anual de água do reservatório de aproximadamente 115 m³, que poderia ser destinada para outra utilidade, como a limpeza dos pátios de lazer, após tratamento prévio adequado.

A partir da Equação 4.5 obteve-se uma confiança do sistema de 75%, já que, dos 12 meses analisados, apenas 3 não atenderam a demanda. Isso já era esperado para julho, agosto e setembro, que são meses de seca em Belo Horizonte. Portanto, nesse período houve necessidade de suprimento com água da concessionária local.

A eficiência ou confiabilidade volumétrica obtida para o reservatório, a partir da Equação 4.6, foi de 36,8%. Dessa forma, percebe-se que o volume de 11 m³ não é capaz de armazenar a quantidade de água captada durante os meses mais chuvosos. Considerando o padrão de consumo e as características pluviométricas da cidade, o reservatório deveria apresentar maior volume para sua confiabilidade aumentar.

Um reservatório com volume de 20 m³ permitiria o atendimento de 100% da demanda em todos os meses do ano e apresentaria uma confiabilidade volumétrica de 50%.

5.5 Análise do potencial de economia hídrica com a implantação do sistema

Considerando que, na maior parte do ano, o volume de água de chuva mensal aproveitável é superior ao volume do reservatório, não é possível armazenar toda a água captada, havendo grande extravasamento, conforme verificado no item 5.4.

A partir da Tabela 5.6, é possível verificar quanto o volume potencialmente aproveitável de água de chuva representa em relação ao consumo mensal total do condomínio, tendo como base o histórico de consumo do ano de 2022.

Tabela 5.6 – Potencial de economia hídrica caso todo o volume pluvial fosse aproveitado.

Meses	Volume faturado (L)	Volume faturado (m³)	Volume de água de chuva aproveitável (m³)	Potencial de aproveitamento da água de chuva (%)
jan/22	331000	331	41	12
fev/22	352000	352	22	6
mar/22	339000	339	24	7
abr/22	364000	364	10	3
mai/22	407000	407	3	1
jun/22	334000	334	1	0
jul/22	385000	385	1	0
ago/22	348000	348	1	0
set/22	352000	352	6	2
out/22	385000	385	14	4
nov/22	333000	333	29	9
dez/22	375000	375	42	11
Consumo total	4305000	4305	195	-

Fonte: A autora (2023).

Em janeiro e dezembro, período mais chuvoso, o potencial de aproveitamento encontrado foi superior em relação aos outros meses. Caso o reservatório tivesse a capacidade para armazenar todo o volume de água de chuva aproveitável, haveria uma redução de 12% e 11%, respectivamente para os meses citados. Isso confirma o que foi proposto no item 5.4, em que o reservatório deveria ter volume maior ou outros usos poderiam ser realizados. Dessa maneira, haveria redução do valor da conta de água, e uma maior quantidade de recurso seria reutilizado, oferecendo benefícios para o meio ambiente.

6 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir das análises e estudos realizados neste presente trabalho, observa-se que, apesar dos parâmetros de qualidade serem atendidos, vários pontos estão em desconformidade com as normas estabelecidas para SAACs. Embora a construtora conheça as normas para sistemas de aproveitamento de água de chuva, os requisitos de pré-tratamento da água e a independência das tubulações não foram seguidos. Além disso, a conservadora do prédio desconhece a necessidade de identificação do sistema e limpeza e monitoramento do reservatório.

Apesar do sistema apresentar confiança de 75%, há grande extravasamento de água, que poderia ser direcionada para outras utilidades, trazendo benefícios econômicos para o condomínio, redução do consumo de água potável e atenuação dos picos de vazão e enchentes, comuns em épocas de chuva em Belo Horizonte.

Cabe ressaltar que a análise da viabilidade econômica não pôde ser realizada, por haver ligação cruzada nas tubulações de água potável e água de chuva. Além disso, a inexistência de um projeto inicial de drenagem das águas pluviais do edifício e a falta de hidrômetros para mensurar a água de chuva utilizada foram aspectos limitantes do trabalho.

Recomenda-se que sejam realizadas políticas públicas e legislações para incentivar o aproveitamento de água de chuva no município belo-horizontino, ressaltando a necessidade do cumprimento dos requisitos das normas para se ter um melhor aproveitamento e economia hídrica. Essa alternativa, além de ser sustentável, contribuiria para a não sobrecarga do sistema de drenagem da cidade no período chuvoso.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 10.884**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. Disponível em: <https://docplayer.com.br/19342660-Nbr-10844-instalacoes-prediais-de-aguas-pluviais.html>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ABNT. **NBR 15.527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/515108662/Nbr-15527-2019-Aproveitamento-de-Agua-Da-Chuva-de-Coberturas>. Acesso em: 10 mai. 2023.
- ALIM, M. A.; RAHMAN, A.; TAO, Z.; SAMALI, B.; KHAN, M. M.; SHIRIN, S. Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. **Journal of Cleaner Production**, v. 270, 2020, Australia. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122437>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ALVIM, F. H. S.; SILVA, A. B. H. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de água de chuva na cidade de Belo Horizonte-MG para utilização residencial. **Revista da Arquitetura - cidadania e habitação**, Brasília, v. 1, n. 1. p.30-41, jan./jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5102/ra.v1i1.7001>. Acesso em: 15 set. 2022.
- AMOS, C.C.; RAHMAN, A., GATHENYA, J. M. Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries: a case study of Australia and Kenya. **Journal of Cleaner Production**. v. 172, p. 196-207. jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.114>. Acesso em 15 nov. 2022.
- ANA. Outros Usos. In: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Usos das águas**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usuarios-da-agua/outros-usos>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- AUGUSTO, L. G. S.; GURGEL, I. G. D.; CÂMARA NETO, H. F.; MELO, C. H.; COSTA, A. M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n. 6, p. 1511-1522, jun. 2012. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/25721/O%20contexto%20global%20e%20nacional%20frente%20aos%20desafios.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- APHA, AWAA, WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. 2005.
- ASSIS, W. L. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia e Análise Espacial) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-89XH5T>. Acesso em: 10 set. 2022.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/tecnicascompensatoriasparacontrolededecheiasurbanas-nivel2e3.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019.** Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Belo Horizonte, Prefeitura de Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/lei11181-atual.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BEZERRA, S. M. C.; CHRISTIAN, P. de; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527/2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400015>. Acesso em: 22 set. 2022.

BRASIL. CASA CIVIL. **Programa Cisternas do Governo Federal garante a segurança alimentar ao semiárido nordestino.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/ptbr/assuntos/noticias/2020/agosto/programa-cisternas-do-governo-federal-garante-a-segurancaalimentar-ao-semiarido-nordestino>. Acesso em: 18 nov. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 20 nov. 2022

BRASIL. **Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. Brasília, DF: Presidência da República, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm. Acesso em: 20 nov. 2022

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 10 jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023.** Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14546.htm#art2. Acesso em: 10 jul. 2023.

BRUNI, J. C. A água e a vida. **Tempo Social; Rev. Sociol. USP**, São Paulo, v. 5, n. 1/2, p.53-65, 1993 (editado em nov. 1994). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/ts.v5i1/2.84942>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CAMPISANO, A.; BUTTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives. **Water**

Research, v. 115, p.195-209, mai. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CASTRO, B. T. P.; SOUZA, C. B.; FERREIRA, E. C.; LOUREIRO, G. E. Potencial de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis na Universidade do Estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15066>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CETESB. **Reuso de água**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

CIRILO, J.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; CAMPOS, J.N.B. A questão da água no semiárido brasileiro. *In*: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL M.C.B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 81 – 91, 2010. Disponível em: <https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CURITIBA. **Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003**. Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Curitiba, 2003: Câmara Municipal de Curitiba. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2010/00086319.pdf> . Acesso em: 20 nov. 2022.

CURITIBA. **Decreto nº 212, de 29 de março de 2007**. Aprova o regulamento de edificações do município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba, 2007: Prefeito Municipal de Curitiba. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/c/curitiba/decreto/2007/22/212/decreto-n-212-2007-aprova-o-regulamento-de-edificacoes-do-municipio-de-curitiba-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DEMONTÉ, J.; NOTEBOOM, C.; HAWKINS, G.; MCMAHON, L.; BEAN, G. Green infrastructure in action: examples, lessons learned, and strategies for the future. **Environmental Law Reporter**, Washington, DC, v.45, n. 6, p. 10493–10508, 2015. Disponível em: <https://elnonline.com/wp-content/uploads/2015/06/Green-Infrastructure-in-Action.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DISTRITO FEDERAL. **Lei nº 4181, de 21 de julho de 2008**. Cria o Programa de Captação de Água da Chuva e dá outras providências. Distrito Federal, 2008: Presidência da Câmara Legislativa do Distrito Federal. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=124599>. Acesso em: 20 nov. 2022.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013. 150 p. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 28 abr. 2023.

GAITÁN, M. C. P.; TEIXEIRA, B. A. do N. Aproveitamento de água pluvial e sua relação com ações de conservação de água: estudo de caso em hospital universitário, São Carlos (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Carlos, v.25, n.1, p. 133-144, jan./fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020189032>. Acesso em: 15 set. 2022.

GOHARI, A.; ESLAMIAN, S.; MIRCHI, A.; ABEDI-KOUPAEI, J.; BAVANI, A.M.; MADANI, K. Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. **Journal of**

Hydrology, v. 491, p. 23 – 39, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.021>. Acesso em: 20 set. 2022.

GONÇALVES, R. Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352 p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Uso_agua_-_final.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.

GOOGLE. **Google Earth website**. 2020. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 20 set. 2022.

IBGE. **Belo Horizonte: panorama**. Panorama. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 15 set. 2022.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. [2022?]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 17 set. 2022.

INMET. **Tempo**. Tabela de dados das estações. 2023. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em: 23 abr. 2023.

IPEA. **CRISES HÍDRICAS: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO COMBATE À INSUFICIÊNCIA DE ÁGUA**. COMO o mundo está tratando o problema da escassez da água a partir do uso da tecnologia e inovação. 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/96-criSES-hidricastecnologia-e-inovacao-no-combate-a-insuficiencia-de-agua>. Acesso em: 10 nov. 2022.

IPT. **Manual para a captação emergencial e uso doméstico da chuva**. São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.ipt.br/banco_arquivos/1200-Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_AGUA_DA_CHUVA.pdf. Acesso em: 20 nov. 2022.

KOLAVANI, N. J.; KOLAVANI, N. J. Technical feasibility analysis of rainwater harvesting system implementation for domestic use. **Sustainable Cities and Society**, v. 62, nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102340>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LIMA, K. L. B.A.; NUNES, L. G. C.F.; SILVA, S. R. Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife-PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 5, n. 36, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17271/2318847253620171630>. Acesso em: 20 set. 2022.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-02082004-122332/publico/simonemay.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

MONTAPLAN CALHAS. Calhas. **Instalação de Calhas e Rufos**. [2022?]. Disponível em: <https://www.montaplan.com.br/instalacao-calhas-e-rufos>. Acesso em: 16 nov. 2022.

OHNUMA JUNIOR, A. A.; SILVA, L. P.; PICCOLI, R.; PEIXE, C. QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGIME DE FIRST FLUSH. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10., 2014, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014. p. 1-4. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/175/f9967f695ee8af1793eb52c3247e5d96_46205b48edca17115f719ab2915f0576.pdf. Acesso em: 16 nov. 2022.

OMM. **Système d'information hydrologique au service d'une gestion intégrée des ressources en eau**. Directives WHYCOS. Système mondial d'observation du cycle hydrologique. Organisation Météorologique Mondiale. 2005 Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4850. Acesso em: 10 nov. 2022.

ONU. Gabinete do Alto Comissário para os Direitos Humanos (ACNUDH), Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat), Organização Mundial de Saúde (OMS). (O) Direito à Água.[Fact sheet]. n. 35, 2010. Disponível em: <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf>. Acesso em: 28 set. 2022.

PBH. **Orçamento Participativo 2009/2010**. Cartilha - Caderno de Metodologia, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: http://www.pbh.gov.br/comunicacao/CARTILHA_METODOLOGIA.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

SANTOS, A. A. M. **Análise custo/benefício do processo da dessalinização da água do mar**. 2013. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas) – Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2013. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2036/1/Aristides%20Ant%C3%B3nio%20Monteiro%20Santos.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2022.

SÃO PAULO. **Lei nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007**. Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. São Paulo, 2007: Presidência da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SIMIONI, W. I.; GHISI, E.; GÓMEZ L. A. Potencial de Economia de Água Tratada Através do Aproveitamento de Águas Pluviais em Postos de Combustíveis: Estudos de Caso. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1., e 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300006540_Potencial_de_economia_de_agua_tratada_atraves_do_aproveitamento_de_aguas_pluviais_em_postos_de_combustiveis_estudos_de_caso. Acesso em: 15 nov. 2022.

SOUZA, E. L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater For Non-Potable Uses in Houses. **Water**, v. 4, p. 607-628, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w4030607>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TAVARES, L. C.; ALMEIDA, I. R.; BRAVO, J. M.; WARTCHOW, D. Incentivos legais ao aproveitamento de água de chuva no Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23.,

2019, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu, Paraná: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2019. p. 1-9. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/210574/001112240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2022.

TEIXEIRA, C. A.; BUDEL, M. A.; 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, abr./jun. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000200150>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TEIXEIRA, C. A.; ZATTONI, G. T.; NAGALLI, A.; FREIRA, F. B.; TEIXEIRA, S. H. C. Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de água de chuva em uma indústria metalmeccânica na região metropolitana de Curitiba PR (2016). **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 23, n. 3, p. 638-648, jul./set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1655-14>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TEIXEIRA, A. D. S.; TEIXEIRA, E. P. Desenvolvimento e montagem de coletor do primeiro escoamento – first flush – para pesquisa em aproveitamento de água de chuva. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 11., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa, 2006. p. 738-747. Disponível em: <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/327/e30575a5fe6fc7d2031fc22cd78b495c.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

TELHANORTE. **Calha Aquapluv Style 3m Branca**. [2022?]. Disponível em: https://www.telhanorte.com.br/calha-aquapluv-3-metros-style-tigre-505684/p?idsku=505684&gclid=CjwKCAiApvebBhAvEiwAe7mHSBDZv8MBJm9KDMVcCWrb805Q_2HoPj1cb_5C3tKLItwShRIvD15DahoCe14QAvD_BwE. Acesso em: 16 nov. 2022.

TESTON, A.; GERALDI, M.; COLASIO, B.; GHISI, E. Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: a literature review. **Water**, v. 10, n. 4, p. 471-496, 12 abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w10040471>. Acesso em: 28 set. 2022.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2010. 2ª ed. 180p. ISBN 85-87678-23-x. Disponível em: <https://pt.scribd.com/search?query=plinio%20tomaz>. Acesso em: 30 mai. 2023.

TORQUATO, A. S., MORERIA, A.; BITTENCOURT, P.R.S. Captação e utilização de águas pluviais para fins não-potáveis. **Revista Uningá Review**, Paraná, v. 24, n. 2, p. 47-54, out./ dez. 2015. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1693/1304>. Acesso em: 15 nov. 2022.

UNICEF. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities**. New York: United Nations Children's Fund and World Health Organization, 2019. Disponível em: <https://www.unicef.org/media/55276/file/Progress%20on%20drinking%20water,%20sanitatio%20and%20hygiene%202019%20.pdf>. Acesso em 21 set. 2022.

VIANA, D. **Águas pluviais: dimensionamento de calhas**. In: Guia da Engenharia. 2015. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/aguas-pluviais>. Acesso em: 16 nov. 2022.

WMO. **2021 State of Climate Services**. Water. World Meteorological Organization. 2021. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10826. Acesso em: 10 nov. 2022.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas ao tratamento de esgoto**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. Disponível em: https://www.academia.edu/39149408/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade_das_%C3%A1guas_e_ao_tratamento_de_esgotos. Acesso em: 10 mai. 2023.

WWF-Brasil. **Dia Mundial da Água**. In: WWF-Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70322/Dia-Mundial-da-gua>. Acesso em 21 set. 2022.

YOSHINO, G. H.; FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H.; SILVA, A. I. M da. Use of Rainwater for non-potable purposes in the Amazon. **Environmental, Development and Sustainability**, n.16, p. 431-442, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-013-9485-6>. Acesso em: 21 set. 2022.