



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

**DIAGNÓSTICO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVAS: UM ESTUDO DE CASO**

Gabriel Cordeiro Giarola

Belo Horizonte- MG

2023

Gabriel Cordeiro Giarola

**DIAGNÓSTICO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DE CHUVAS: UM 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 Ambiental e Sanitarista

Orientadora: Profa Dra Luciana Peixoto Amaral

Belo Horizonte

2023

GABRIEL CORDEIRO GIAROLA

**DIAGNÓSTICO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVAS:
UM ESTUDO DE CASO**

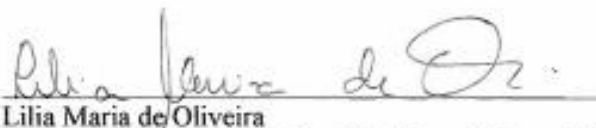
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 03 de julho 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



André Luiz Marques Rocha
Prof. MSc. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer e de certa forma dedicar esse TCC à minha amada família, em especial ao meu pai Marcos, minha mãe Vanuza, meu irmão André e minha avó Zélia, que sempre foram a melhor família que alguém poderia desejar, sempre me apoiando e me ajudando a crescer independente da situação. Com certeza a minha trajetória teria sido completamente diferente não fosse por eles.

Gostaria de agradecer também, aos grandes amigos, ou melhor à minha outra família, que o CEFET me trouxe e que carrego no peito com profundo amor e admiração. Aos meus amigos Julinha, Clayton, Japa, Rafael, Carol, Isa, Laura, Letícia, Davi, Rafa, Cleber, Thaís, Marco, e aos grandes Gabriel e Danilo que vieram de brinde com a Carol e a Isa, quero que saibam que tornaram meu percurso no CEFET mais agradável, mais fácil e que saio daqui com excelentes colegas de profissão e amigos.

Gostaria de agradecer também à Gabriela, que nessa fase final tão complexa e desgastante, prestou grande suporte, tanto nas revisões finais do texto quanto no suporte emocional, me distraindo e me acalmando. Muito obrigado.

Gostaria, também, de agradecer à equipe da Essencis que colaborou grandemente com o desenvolvimento deste trabalho, e que sem eles não seria possível. Por fim, gostaria de agradecer à minha orientadora Luciana, que foi de incrível suporte durante toda a duração não só deste trabalho, como do curso, agradecer pela paciência e compreensão com relação a todos os percalços que surgiram ao longo desse trabalho.

Ao CEFET que se tornou minha segunda casa há muitos anos, e me trouxe diversas oportunidades de conhecer novos lugares, de me conhecer, de crescer e evoluir, tanto academicamente quanto pessoalmente, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

GIAROLA, GABRIEL CORDEIRO. **Diagnóstico e potencial de aproveitamento de água de chuvas: Um estudo de caso**. 2023. 49p. 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 crescente no consumo de água no mundo, assim como as mudanças climáticas e alterações da qualidade dos recursos hídricos, criam a necessidade de outras fontes de água. As águas pluviais são utilizadas por diversas civilizações a séculos como método alternativo de captação. O presente trabalho visa realizar o diagnóstico de viabilidade técnica para o potencial de aproveitamento de águas pluviais para uma empresa de soluções ambientais focada na destinação de resíduos em Betim, a Essencis-MG. A empresa é dotada de diversas tecnologias alocadas em galpões, cujas áreas de coberturas podem ser utilizadas como áreas de captação para as águas pluviais. A utilização total ou parcial dessas áreas de contribuição pode ser feita para atender diversos cenários de demanda de água não potável. Sendo assim, as áreas foram levantadas e consideradas para três cenários de demanda: Cenário 1, de atendimento à demanda total da empresa; cenário 2, de atendimento para demanda de limpeza de pátios e vias principais; cenário 3, de atendimento para demanda de limpeza de pátios. O dimensionamento dos reservatórios de água de chuva foi realizado por meio de dois métodos distintos, método de Rippl e Método da Simulação, para cada um dos três cenários. Com isso, foi possível observar a existência de potencial de aproveitamento para os cenários de atendimento parcial, tanto para o método de Rippl quanto para o método de simulação. Para o cenário de atendimento total, as grandes dimensões necessárias para reservação, 1100 m² para Rippl e 550 m² para Simulação, fazem com que haja certa inviabilidade.

Palavras-Chave: Diagnóstico; Aproveitamento de águas pluviais; Método de Rippl; Método da Simulação.

ABSTRACT

GIAROLA, GABRIEL CRDEIRO. **Diagnosis and Potential of Rainwater Harvesting: A Case Study**. 2023. 49p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023

The increasing water consumption worldwide, coupled with climate change and alterations in water resources quality, necessitates the exploration of alternative water sources. Rainwater has been utilized by civilizations for centuries as an alternative method of water supply. This study aims to conduct a technical feasibility assessment for the utilization of rainwater harvesting in Essencis-MG, an environmental solutions company focused on waste management in Betim. The company possesses several technology-equipped warehouses that can serve as catchment areas for rainwater. The complete or partial utilization of these contributing areas can fulfill various non-potable water demand scenarios. Hence, the catchment areas were identified and evaluated for three demand scenarios, one for total supply and two for partial supply. The sizing of rainwater storage tanks was performed using two distinct methods, the Rippl method and the Simulation method, for each of the three scenarios. The results revealed the potential for partial supply scenarios, both with the Rippl method and the Simulation method. However, for the total supply scenario, the significant dimensions required for storage (1100 m² for Rippl and 550 m² for Simulation) render it somewhat unfeasible.

Key-Words: Diagnosis; Rainwater Harvesting; Rippl method; Simulation method.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL.....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA	13
3.2. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	15
<i>3.2.1. Área de Captação</i>	<i>16</i>
<i>3.2.2. Calhas e Condutores</i>	<i>18</i>
<i>3.2.3. Reservatório</i>	<i>21</i>
<i>3.2.3.1 Método de Rippl.....</i>	<i>23</i>
<i>3.2.3.2 Método da Simulação</i>	<i>23</i>
<i>3.2.4. Sistema de Descarte de Primeiras Águas.....</i>	<i>24</i>
3.3. LEGISLAÇÃO.....	25
<i>3.3.1. Normas Técnicas</i>	<i>25</i>
<i>3.3.2. Legislação no Âmbito Federal</i>	<i>26</i>
<i>3.3.2.1 Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934</i>	<i>26</i>
<i>3.3.2.2 Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997.....</i>	<i>26</i>
<i>3.3.3. Legislação no Âmbito do Estado de Minas Gerais</i>	<i>27</i>
<i>3.3.4. Legislação no Âmbito do Município de Betim</i>	<i>27</i>
<i>3.3.4.1 Lei Municipal de Betim nº 4.706 de 2008.....</i>	<i>27</i>
<i>3.3.4.2 Lei Municipal de Betim nº 6.223 de 2017.....</i>	<i>28</i>
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1. ÁREA DE ESTUDO	29
4.2. DEMANDA DE ÁGUA NÃO POTÁVEL	30
4.3. ÁREA DE CAPTAÇÃO	30
4.4. DADOS PLUVIOMÉTRICOS	32
4.5. DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS.....	32
4.6. DESCARTE DE PRIMEIRAS ÁGUAS	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de estresse hídrico mundial.....	14
Figura 2 Mapa de distribuição sazonal de estresse hídrico mundial	15
Figura 3 Esquema simplificado de sistema de aproveitamento de águas pluviais	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 Tipos e características de materiais constituintes dos telhados..	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 Área de captação segundo a norma ABNT – NBR 10844/1989.....	18
Figura 6 Ábaco para a determinação de diâmetros internos de condutores verticais.....	21
Figura 7 Capacidade de condutores horizontais de seção circular	22
Figura 8 Representação básica de um reservatório de água de chuva.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 9 Sistema de descarte com uso de tonel de descarte	26
Figura 10 Sistema de descarte com uso de sistema de boia	26
Figura 11 Vista da área de estudo, Essencis MG, localizada na BR-381, Betim – MG	30
Figura 12 Regiões de captação e reservação de águas pluviais.....	33
Figura 13 Áreas geradoras das demandas para os cenários de atendimento parcial	35
Figura 14 Dados climatológicos para o município de Betim/MG.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 15 Dimensionamento para área de contribuição de superfícies inclinadas.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Relação de distribuição de vazões e população nas regiões brasileiras.....	16
Tabela 2 Relação de demandas de água não potável.....	36
Tabela 3 Áreas de captação das estruturas de interesse.....	37
Tabela 4 Dimensionamento por Rippl para o cenário 1	38
Tabela 5 Dimensionamento por Rippl para o cenário 2	39
Tabela 6 Dimensionamento por Rippl para o cenário 3.	40
Tabela 7 Dimensionamento por Simulação para o cenário 1	41
Tabela 8 Dimensionamento por Simulação para o cenário 2	42
Tabela 9 Dimensionamento por Simulação para o cenário 3 com reservatório de 20 m ³	43
Tabela 10 Dimensionamento por Simulação para o cenário 3 com reservatório de 40 m ³	43
Tabela 11 Dimensões dos reservatórios	44
Tabela 12 Volume de descarte pra primeiras águas	44

1. INTRODUÇÃO

O constante incremento da demanda produtiva, aliado ao crescimento populacional global, traz como consequência o aumento da demanda hídrica mundial, ocasionando um fenômeno de estresse hídrico em diversas regiões. O estresse hídrico, caracterizado pela relação desproporcional entre a alta demanda e o baixo suprimento de água disponível, é realidade para mais de 2 bilhões de habitantes por todo o mundo (UNESCO, 2018).

A situação de escassez hídrica mundial não é algo distribuído de forma proporcional ou linear, e sim, um fenômeno com caráter sazonal e regional. Segundo Mekonnen (2016), uma parcela significativa da população mundial vive em condições de extrema escassez hídrica por pelo menos um mês no ano e quase meio bilhão de pessoas vivem em situação de escassez extrema durante todo o ano.

O uso global de água doce aumentou seis vezes nos últimos cem anos e, desde a década de 1980, continua a crescer a uma taxa de cerca de 1% ao ano. Muito desse crescimento pode ser atribuído a uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças nos padrões de consumo (UNESCO, 2018, p.2).

A crescente demanda hídrica, aliada ao caráter sazonal e regional do estresse hídrico, traz consequências até mesmo para um país com tamanha abundância hídrica como o Brasil. Segundo Giacchini (2007), apesar de o Brasil apresentar uma condição privilegiada no quesito hídrico, apresentando 12% do volume de água doce mundial, sua distribuição impede o pleno aproveitamento dos recursos.

A distribuição irregular das águas no país torna imprescindível entender o comportamento da água nas regiões mais urbanizadas, onde a maior parte da população se concentra. De acordo com Giacchini (2007), a interferência humana faz com que ocorram alterações no ciclo natural da água, criando assim, um subciclo denominado ciclo urbano da água. Ainda segundo o autor, o subciclo se inicia na extração das águas naturais para abastecimento humano e, após os diversos usos, é levada a uma estação de tratamento e, posteriormente, disposta em rios, lagos e outros corpos d'água. Esse ciclo traz um problema inerente de degradação dos mananciais e, consequentemente, aumentando a necessidade de revisão das fontes de água e das formas de utilização.

É natural, portanto, pensar em formas de aproveitar melhor a água, seja por meio do reúso das águas após alguma atividade, ou por meio do aproveitamento da água de chuva, tal qual fizeram diversas civilizações ao longo dos séculos, abraçando técnicas para reduzir o desperdício hídrico. Segundo Tomaz (2003, *apud* GIACCHINI, 2007), os primeiros relatos de aproveitamento de água vêm da pedra moabita, há mais de 2000 anos. Nela, o rei sugeria a construção de reservatórios de água de chuva nas residências, evidenciando a noção de importância da água para a população que vivia no Oriente Médio, região conhecida pela escassez hídrica.

Segundo May (2004), o aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis tem ganhado cada vez mais destaque em diversas regiões do mundo. Vários países como Japão, Estados Unidos e Holanda apresentem políticas de incentivo ao aproveitamento das águas de chuva, ou já tem esse costume amplamente difundido.

A ideia de substituir a fonte de captação da água tem se mostrado uma alternativa viável para atender os usos que não necessitem de água potável (ANA, 2005). O Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (ECOSOC), em 1958, apresentou uma política de gestão de recursos hídricos para áreas carentes desse recurso. Nessa política foi disposto: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

Entretanto, por mais evidentes que sejam as vantagens do uso de fontes alternativas de captação de água, para adesão popular é necessário que haja incentivos governamentais, por meio de decretos, leis e revisões dos planos diretores. Em Belo Horizonte, mesmo que de maneira opcional, a mais nova revisão do Plano Diretor contempla o tema da captação de água de chuva e seu aproveitamento. No art 161, que trata da permeabilidade do solo, especificamente o parágrafo 9 diz: “A instalação da caixa de captação deve garantir que o lançamento de águas pluviais de um terreno edificado na rede pública de drenagem seja equivalente à sua vazão em condições naturais.” (BELO HORIZONTE, 2019). Complementarmente, o parágrafo 11 do mesmo artigo dispõe: “A caixa de captação poderá ser utilizada como reservatório para reúso das águas pluviais.” (BELO HORIZONTE, 2019).

De acordo com as normas vigentes para instalações prediais de águas pluviais, os sistemas têm como função exclusiva a captação e direcionamento das águas de chuva

até locais adequados para disposição. É importante que esses sistemas sejam isolados de qualquer outra instalação hidrossanitária, como sistema de água fria ou esgoto, para evitar contaminação. O uso dessa água para fins não potáveis é permitido após tratamento adequado à destinação pretendida (BRUCH, 2018).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de implementação de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva para utilização em atividades que não demandem uso de água potável, para a empresa de soluções ambientais Essencis MG, em Betim.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, esse trabalho visa:

- Entender demanda geral de água não potável;
- Analisar a disponibilidade de áreas de cobertura para captação;
- Dimensionar e analisar os reservatórios;
- Calcular o volume das primeiras águas da chuva a ser descartado anteriormente à reservação.

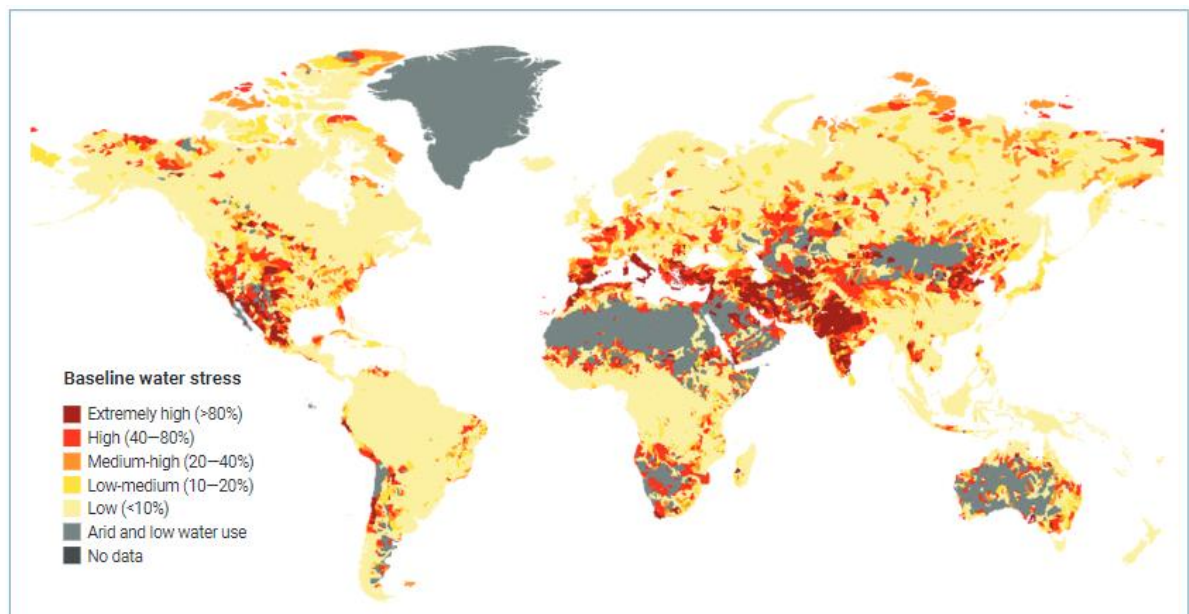
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Disponibilidade Hídrica

A situação de disponibilidade hídrica no mundo não se baseia somente em questões naturais, como a distribuição dos recursos naturais, mas também nas intervenções externas, como o uso dos recursos hídricos nos processos produtivos, o constante crescimento populacional, a degradação das relações ecossistêmicas que mantêm a qualidade das águas e a falta de conscientização.

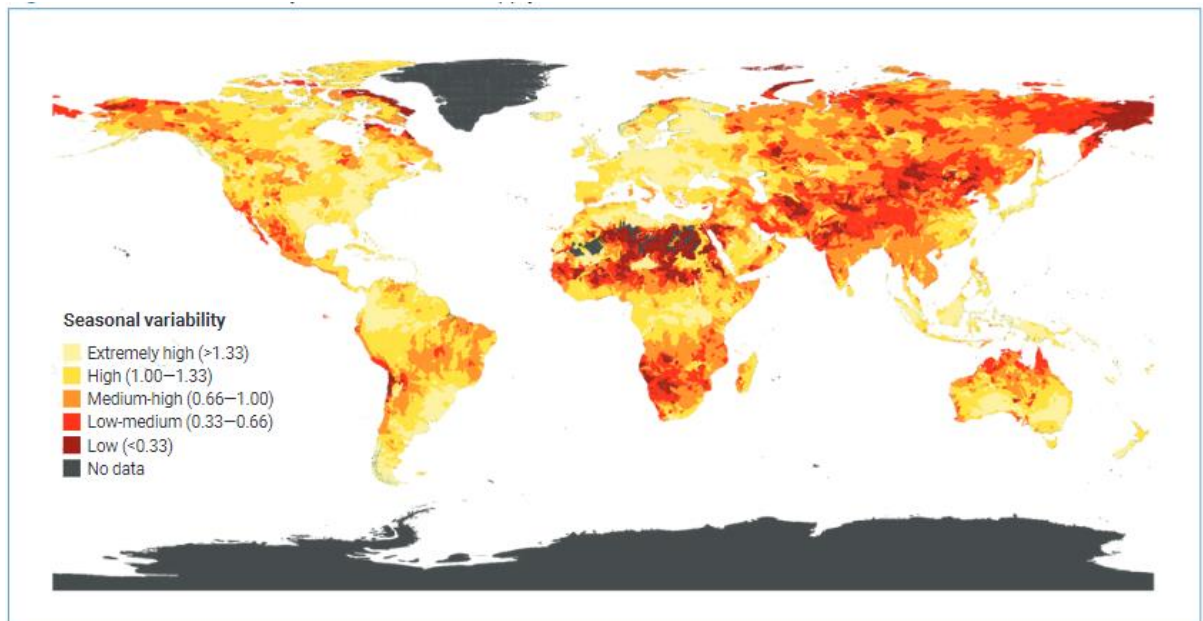
Segundo a UNESCO, em 2021, o estresse hídrico pode ser mensurado pelo uso da água em função de sua disponibilidade, e mais de dois bilhões de pessoas em todo o mundo experimentam situações duradouras de estresse hídrico, conforme apresentado na Figura 1. Entretanto, a condição de estresse hídrico não é um fenômeno constante, e sim um fenômeno com características sazonais. Estima-se que cerca de quatro bilhões de pessoas passem por situações de estresse hídrico durante algum período do ano, como mostrado na Figura 2.

Figura 1 Mapa de estresse hídrico mundial



Fonte: UNESCO, 2021.

Figura 2 Mapa de distribuição sazonal de estresse hídrico mundial



Fonte: UNESCO, 2021.

Cerca de 98% da água de todo o planeta se encontra na forma de água salgada nos oceanos, sendo assim, imprópria para consumo e para a maioria das destinações realizadas pela sociedade. Como fator subsequente, cerca de 69% do volume mundial de água doce se encontra congelado, na forma de calotas polares, cerca de 29% se encontra na forma de águas subterrâneas, e o restante na forma de águas superficiais, como rios, lagos, reservatórios, ou seja, os meios de fácil acesso.

Segundo Tomaz (2010), o Brasil possui uma vazão de 177.900 m³/s de água doce, correspondentes a 12% de toda a vazão de água doce no mundo. Entretanto, a distribuição desse grande volume de água dentro do país não corresponde diretamente à distribuição populacional e aos usos da água. No Brasil, mais de 65% da água doce está localizada na região norte do país, que concentra apenas 7,92% da população brasileira, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Relação de distribuição de vazões e população nas regiões brasileiras

Regiões do Brasil	Vazão (km ³ /ano)	Percentual (%)	Porcentagem da População (%)
Norte	3.845,5	68,5	7,9
Nordeste	186,2	3,3	27,8
Sudeste	334,2	6,0	42,6
Sul	365,4	6,5	14,6
Centro Oeste	878,7	15,7	7,0

Fonte: Adaptada de TOMAZ, 2010.

3.2 Aproveitamento de Água de Chuva

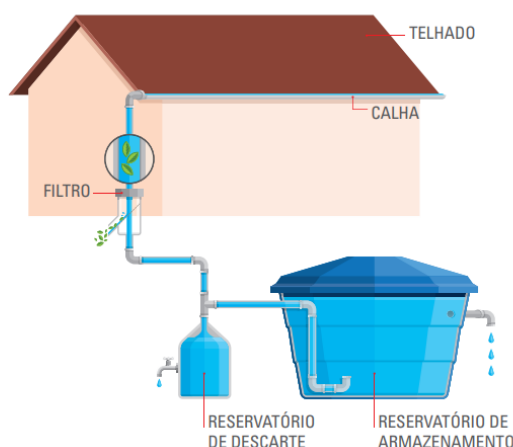
A água é, desde os primórdios da formação humana, o recurso mais importante para a sobrevivência e desenvolvimento humano, estando diretamente ligada às mais diversas atividades que possibilitaram o desenvolvimento da sociedade, como agricultura, pecuária, pesca, navegação e saneamento. Portanto, não é de se surpreender que a sociedade busca há séculos maneiras de otimizar o gerenciamento desse recurso tão precioso, e uma dessas formas é utilizar a água das chuvas. Segundo Tomaz (2010), foram encontrados reservatórios escavados há 3600 aC, que poderiam ter sido utilizados para reservação das águas de chuva, e a pedra moabita, datada de 830 aC, que exigia que as casas possuíssem sistemas de reservação de águas pluviais.

Mesmo na sociedade moderna, as águas pluviais são amplamente utilizadas com os mais diversos benefícios e finalidades. Segundo May (2004), na Holanda, são utilizados sistemas de captação das águas pluviais para evitar sobrecarga nos canais que contornam o país, que está abaixo do nível do mar e, posteriormente, a água é utilizada para irrigação, por exemplo. Na Alemanha, as águas pluviais são utilizadas para solucionar um outro problema local, referente à qualidade baixa da água distribuída.

No Brasil, a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2016, p. 11) define “O sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável consiste de um conjunto de elementos, de tecnologia relativamente simples e econômica, que objetiva captar e armazenar a água de chuva para uso futuro”.

O sistema (Figura 3) é composto por área de captação, calhas e condutores verticais, filtro autolimpante, reservatório de descarte da água de limpeza do telhado (água da primeira chuva), reservatório de armazenamento e tratamento da água (FEAM, 2016).

Figura 3 Esquema simplificado de sistema de aproveitamento de águas pluviais



Fonte: FEAM, 2016.

3.2.1 Área de Captação

A área de captação pode ser qualquer superfície impermeabilizada, dando-se preferência aos telhados que possibilitem a captação da água com melhor qualidade. Telhados com alguma inclinação facilitam a captação de água de chuva e reduzem as perdas (FEAM, 2016).

Apesar de qualquer superfície impermeabilizada poder atuar como área de captação, em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, usualmente se utilizam as áreas de telhado e coberturas, uma vez que, segundo GhaffarianHoseini et al. (2015), diversos fatores externos podem impactar na qualidade da água coletada, tais como clima local, geografia, atividades industriais, tráfego de veículos, e atividade humana e animal. Além disso, a qualidade da água captada está intimamente ligada à superfície impermeável usada para a captação.

De acordo com FEAM (2016), o material do qual é composta a área de captação tem grande influência tanto na qualidade da água captada, quanto no percentual da água que realmente é captada, isto é, excluindo a parcela absorvida pelo material e a parcela evaporada. Na Figura 4 é apresentada a relação entre os materiais usuais de coberturas e a qualidade da água, além da relação com o coeficiente de escoamento, que varia de 0 a 1, sendo 1 o valor atribuído ao

melhor material em questão de desempenho hidráulico.

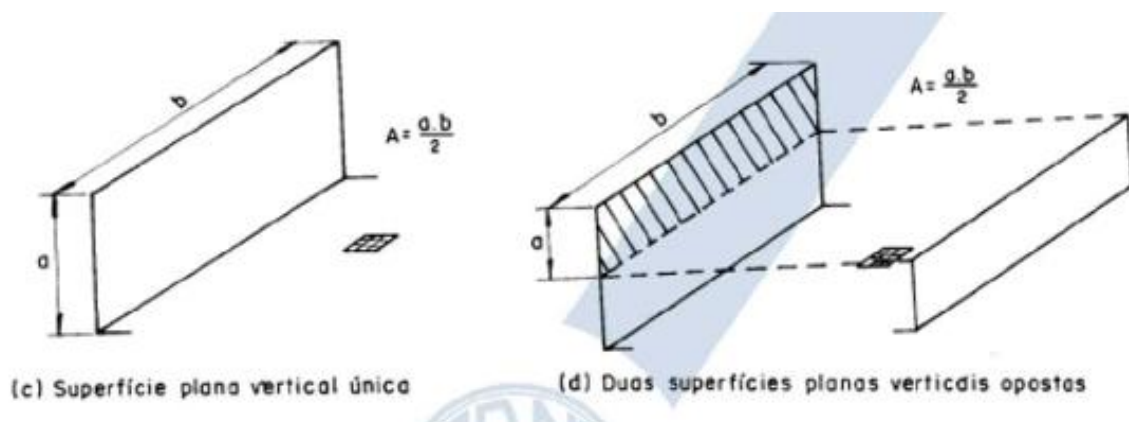
Figura 4 Tipos e características de materiais constituintes dos telhados

escoamento		
Folhas de ferro galvanizado	Maior que 0,90	Qualidade da água excelente. A superfície é excelente e, nos dias quentes, a alta temperatura ajuda a esterilizar a água.
Telha cerâmica	0,60 a 0,90	Se vitrificada, apresenta melhor qualidade. Caso contrário, pode apresentar mofo. Pode existir contaminação das junções das telhas.
Telhas de cimento amianto	0,80 a 0,90	Telhas novas podem contribuir para águas coletadas de boa qualidade. Não existe nenhuma evidência de que a ingestão da água que passe por essas telhas cause algum efeito cancerígeno. Levemente porosas, o que diminui o coeficiente de escoamento. Quando velhas, podem apresentar lodo e rachaduras.
Orgânico (Sapê)	0,20	Qualidade da água ruim (>200 CF/100ml). Pouca eficiência da primeira chuva. Alta turbidez devido à presença de matéria orgânica dissolvida e em suspensão.

Fonte: FEAM, 2016.

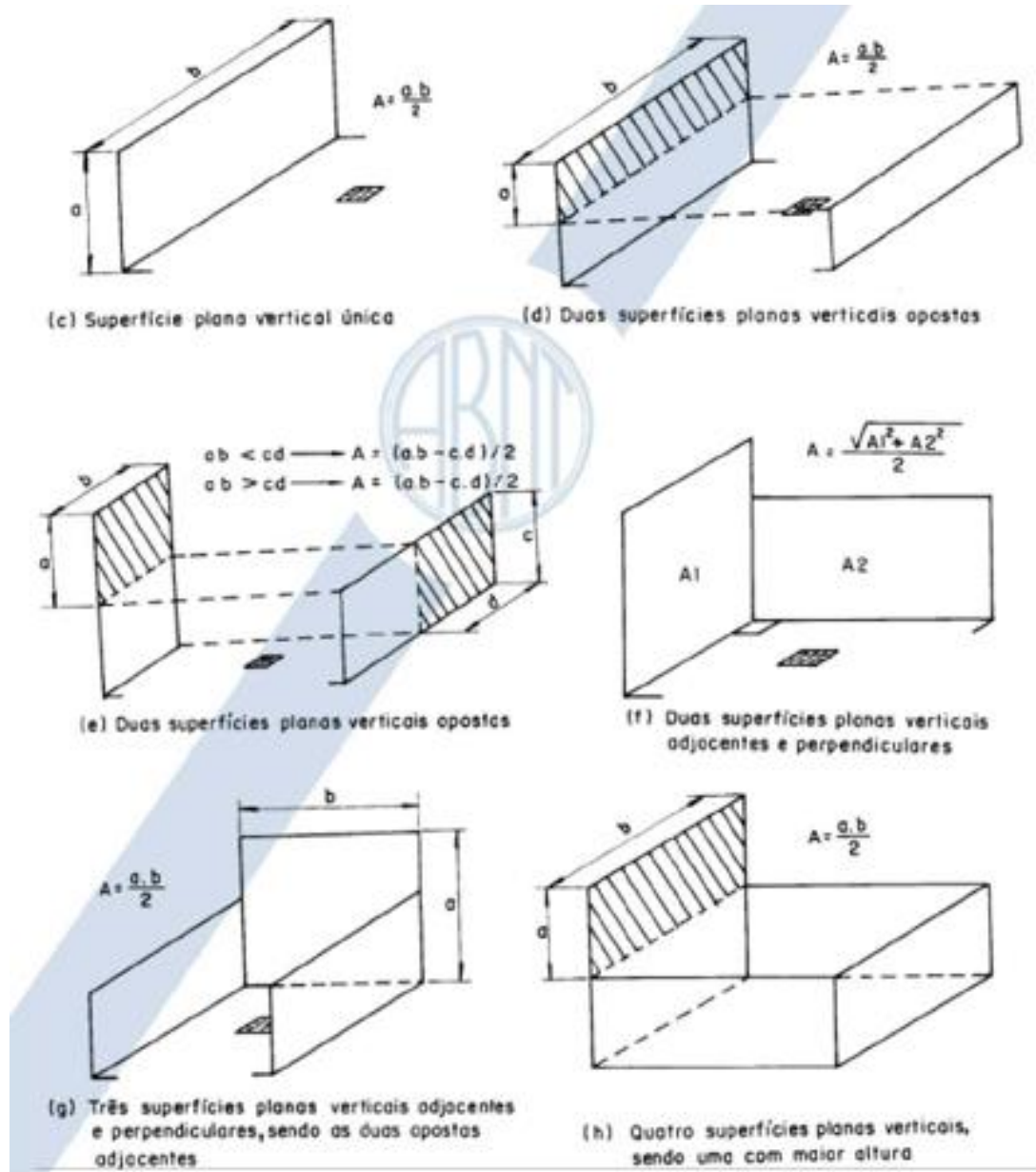
Para o cálculo da área de captação, a ABNT NBR 10844/1989 define as projeções da cobertura, dependendo de sua geometria, como apresentado na Figura 5.

Figura 5 Área de captação segundo a norma ABNT – NBR 10844/1989



Fonte: ABNT - NBR 10844/1989.

Figura 5 - Área de captação segundo a norma ABNT – NBR 10844/1989 (continuação).



Fonte: ABNT - NBR 10844/1989.

3.2.2 Calhas e Condutores

A norma ABNT NBR 10844 de 1989, que dispõe sobre as instalações prediais de águas pluviais, traz a definição dos elementos constituintes de um projeto de instalações de águas pluviais, e dentre elas tem-se:

- Calha: Canal que recolhe a água de coberturas, terraços e similares e a conduz a um ponto de destino;
- Condutor Horizontal: Canal ou tubulação horizontal destinado a recolher e conduzir águas

pluviais até locais permitidos pelos dispositivos legais; e

- **Condutor Vertical:** Tubulação vertical destinada a recolher águas de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até a parte inferior do edifício.

No caso de o empreendimento não possuir acesso à norma, a FEAM (2016) apresenta metodologia de cálculo, tal qual apresentado na norma, para dimensionamento das calhas:

1. Determinar a vazão de projeto (Q_p). A intensidade é obtida por meio da equação de chuvas intensas para a localidade. A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) disponibiliza uma lista com a equação de chuva intensa para vários municípios de Minas Gerais.
2. Determinar as dimensões da calha.
3. Determinar o material constituinte das calhas que definirá o coeficiente de rugosidade da calha;
4. Calcular a vazão da calha (Q_c) utilizando a fórmula de Manning-Strickler:

$$Q_c = \frac{K \cdot S}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Onde:

Q_c = vazão da calha (L/min);

K = 60.000;

S = área de seção molhada (m^2);

n = coeficiente de rugosidade do material da calha;

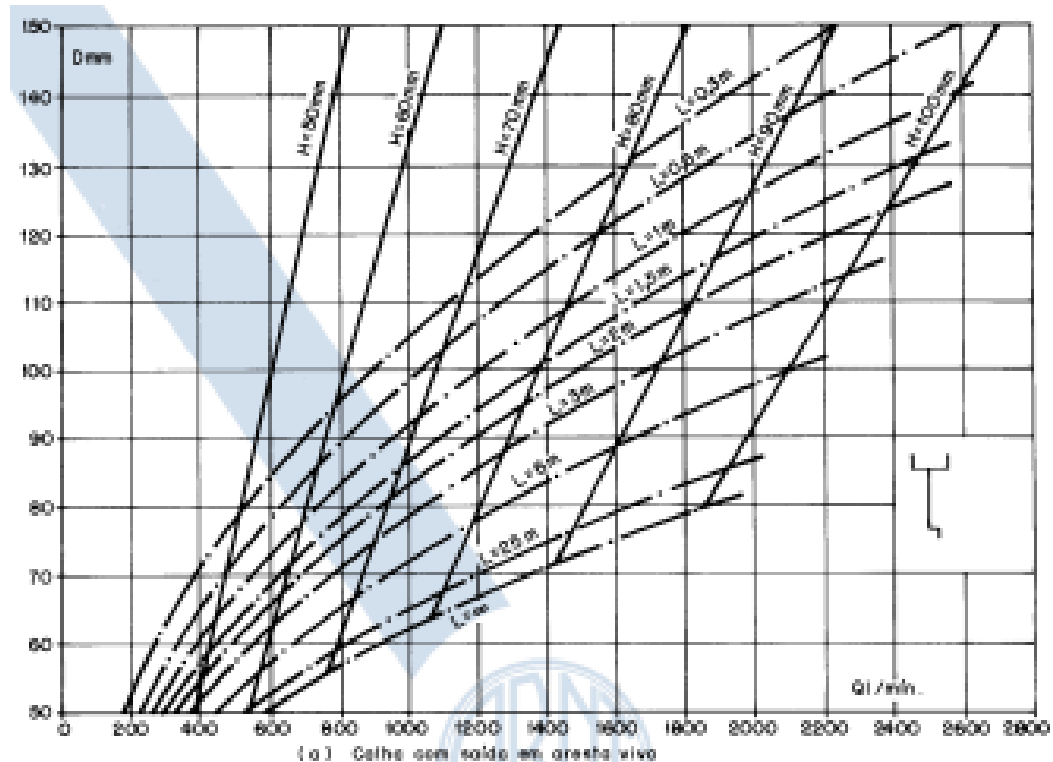
RH = raio hidráulico (m);

i = declividade da calha (m/m).

Para condutores verticais, a norma traz, além do dimensionamento, algumas recomendações como implantação em uma única prumada, sempre que possível, e a presença de peças de inspeção em curvas de 90° ou 45° quando necessário desvio. Para dimensionamento, deve ser

realizado de acordo com três fatores: Vazão de projeto [L/min]; altura da lâmina de água na calha [mm]; comprimento do condutor vertical [m]. Dados os parâmetros, deve-se seguir o ábaco para selecionar o diâmetro interno dos condutores, apresentado na Figura 6.

Figura 6 Ábaco para a determinação de diâmetros internos de condutores verticais



Fonte: ABNT - NBR 10844/1989.

Para condutores horizontais, a norma diz que se deve utilizar a referência de dimensionamento, Figura 7, de forma que o diâmetro seja escolhido a partir da vazão de projeto, rugosidade do material e inclinação. Os condutores horizontais devem apresentar declividade mínima de 0,5% e o escoamento deve levar em consideração que a lâmina de água tenha altura igual a 2/3 do diâmetro interno, além disso é importante que as conexões entre condutores verticais e horizontais sejam realizadas através de curvas de raio longo, e que, sempre que houver mudança de declividade, conexão entre tubulações ou mudança de direção, deve-se instalar peças de inspeção no caso de tubulações aparentes, e caixas de areia no caso de tubulações enterradas.

Figura 7 Capacidade de condutores horizontais de seção circular

	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
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

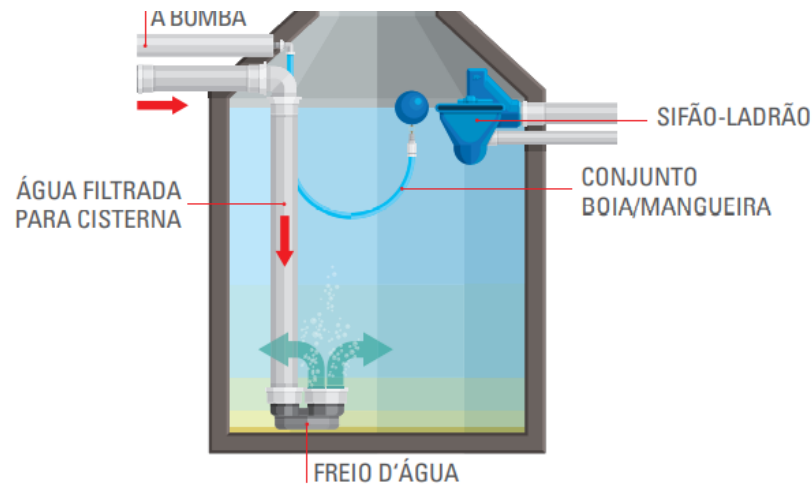
Fonte: ABNT - NBR 10844/1989.

3.2.3 Reservatório

Os reservatórios representam uma parte crítica do projeto de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que, é para ele que será direcionada toda a água captada, e dele partirá o consumo. Tomaz (2010) aponta que os reservatórios podem ser constituídos de diversos materiais, como concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, alvenaria de bloco armado, plásticos e até mesmo poliéster. Além disso, os reservatórios podem estar localizados apoiados, diretamente ao solo, enterrados ou até mesmo suspensos. A definição de local, material e elevação do reservatório depende das individualidades presentes em cada projeto.

De acordo com FEAM (2016), os reservatórios, com o objetivo de manter a qualidade da água e aumentar eficiência do projeto, devem possuir uma série de itens apresentados na Figura 8, como: freio d'água, que tem como objetivo reduzir a velocidade de entrada da água no reservatório, impedindo a ressuspensão dos sólidos presentes no fundo; e sifão-ladrão, que objetiva eliminar as impurezas da superfície da água e impedir a passagem de insetos e gases das redes pluviais.

Figura 8 Representação básica de um reservatório de água de chuva



Fonte: FEAM, 2016.

Para dimensionamento dos reservatórios, é importante frisar que o volume de água armazenado está intimamente ligado à demanda e à área de captação. A NBR 15527 (ABNT, 2019) define o volume de chuva aproveitável como sendo:

$$V = P * A * C * \eta_{\text{Fator de captação}} \quad (2)$$

Onde:

V é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável (m³);

P é a precipitação média anual, mensal ou diária (mm);

A é a área de coleta (m²);

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura; e

η é o fator de captação que representa a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Entretanto, o volume de chuva aproveitável não necessariamente será armazenado. Para o cálculo do volume do reservatório, existem diversos métodos, como o método de Rippl e o Método da Simulação.

3.2.3.1 Método de Rippl

Nesse método, o dimensionamento é feito de forma que o reservatório sempre atenda a 100% da demanda, e pode valer-se de séries mensais ou diárias.

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

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (4)$$

Onde:

$$Q(t) = C * \text{precipitação chuva}(t) * \text{área de captação} \quad (5)$$

V é o volume do reservatório;

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

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

D (t)= demanda ou consumo no tempo t;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

3.2.3.2 Método da Simulação

Nesse método, parte-se de um volume determinado de reservação, aplicando a equação da continuidade, e posteriormente se verifica o percentual de atendimento à demanda.

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t) \quad (6)$$

Onde:

$$Q(t) = C * \text{precipitação chuva}(t) * \text{área de captação} \quad (7)$$

$$0 \leq S(t) \leq V \quad (8)$$

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

S (t-1) é o volume de água no reservatório no tempo t - 1;

Q (t) é o volume de chuva no tempo t;

$D(t)$ é o consumo ou demanda no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

3.2.4. Sistema de Descarte de Primeiras Águas

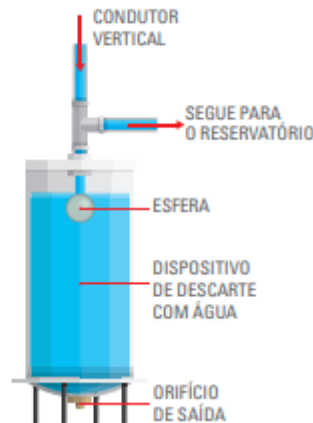
De acordo com Texas Water Development Board (2005), um telhado é uma superfície que naturalmente coleta poeira, folhas, galhos, insetos, dejetos animais e uma série de resíduos suspensos na atmosfera. A presença desses resíduos nos telhados pode apresentar complicações no sistema de aproveitamento de águas pluviais, e por isso é um ponto crítico da implementação.

O termo “primeiras águas” é referente ao primeiro fluxo de águas que escoam pelo telhado no início das chuvas. O primeiro fluxo da precipitação leva consigo os resíduos presentes no telhado, conseqüentemente, sendo considerado um fluxo de águas sujas, que deve ser evitado quando ocorrer a captação e reservação de águas pluviais (DOYLE, 2008).

A definição do volume descartado é particular de cada projeto, a depender principalmente da área de captação. A FEAM (2016) recomenda que seja adotado entre 1 e 2mm por m^2 de área de cobertura. A norma ABNT NBR 15527/2019 recomenda que, por segurança, seja utilizado o valor de 2mm por m^2 , quando o projetista não tenha informações mais detalhadas sobre a área.

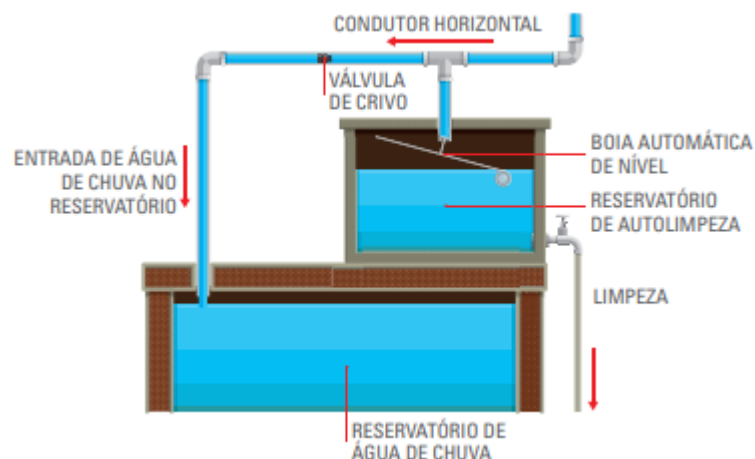
Várias técnicas são empregadas para o descarte desta água de lavagem do telhado. O tamanho da área de captação e, conseqüentemente, o volume descartado determinam a melhor técnica a ser empregada. Entre as técnicas empregadas destaca-se o tonel para descarte e o reservatório com boia (FEAM, 2016, p.23). Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os dois modelos mais comuns de sistemas de descarte de primeiras águas.

Figura 9 Sistema de descarte com uso de tonel de descarte



Fonte: FEAM, 2016.

Figura 10 Sistema de descarte com uso de sistema de boia



Fonte: FEAM, 2016.

3.3 Legislação

3.3.1 Normas Técnicas

A NBR 15527 (ABNT, 2019) é a norma que versa propriamente dito sobre sistemas de aproveitamento de águas pluviais, estabelecendo várias diretrizes necessárias para projeto e construção dos sistemas de aproveitamento de chuva para fins não potáveis, além de métodos de dimensionamento, parâmetros de qualidade de água a serem atendidos e até mesmo procedimentos de manutenção do sistema.

A norma brasileira ABNT NBR 10844, publicada em dezembro de 1989, é aplicada para drenagem de águas pluviais em áreas relacionada a edificações, como pátios e terraços. Essa

norma traz exigências e critérios para projeto e dimensionamento de sistemas de drenagem de águas pluviais, sendo alguns desses elementos comuns aos sistemas de aproveitamento de água de chuva e, por isso, citados na NBR 15527, como calhas e condutos horizontais e verticais.

3.3.2 Legislação no Âmbito Federal

3.3.2.1 Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934

O Decreto 24.643, conhecido como Código das águas, foi instaurado visando atualizar a legislação acerca do uso dos recursos hídricos no Brasil, até então regido de forma obsoleta.

Dentre as novidades à gestão dos recursos hídricos trazidas pelo Código das Águas, estão a definição dos critérios para aproveitamento, definições sobre contaminação e definição dos tipos de água, dentro das quais fica estabelecido o conceito de águas pluviais, como sendo as águas que incidem imediatamente das chuvas, versando também, sobre o direito de propriedade dessas águas, que pertencem ao dono da edificação, desde que não seja usada em detrimento das propriedades vizinhas.

3.3.2.2 Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997

Essa lei, conhecida como Lei das águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, que por sua vez, baseia-se em alguns fundamentos, sendo esses:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

O art 2º versa sobre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, e em destaque, um

dos objetivos, incluído pela Lei 13501, de 30 de outubro de 2017, trata do aproveitamento de águas pluviais: “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.”

3.3.3 Legislação no Âmbito do Estado de Minas Gerais

Até o presente momento, não há legislações estaduais vigentes acerca do aproveitamento de água de chuvas. Entretanto, alguns projetos de lei sobre essa temática circulam na Câmara aguardando aprovação, como o projeto de lei 1070/2019 e 3112/2015.

O Projeto de Lei 3112/2015 dispõe sobre a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Água Pluvial. Visa promover a conservação do recurso hídrico, estimular o reuso direto da água, bem como promover incentivos econômicos para a utilização dessas técnicas. Caso aprovado, o projeto de lei poderá ser um importante norte para a aplicação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que, para se manter fiel e condizente a alguns planejamentos urbanísticos, pretende tornar a construção de sistemas de captação, reservação e aproveitamento de águas de chuva, pré requisitos para emissão de alvarás e habite-se.

Já o Projeto de Lei 1070/2019 estabelece ações do Poder Público para o aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas no âmbito do Estado de Minas Gerais, e dá outras providências.

Em 2023, ambos os projetos de lei citados foram anexados ao PL 1971/2015, de acordo com a decisão publicada em 18 de fevereiro de 2023, por guardarem semelhança entre si.

O PL 1971/2015 visa tornar obrigatório a execução de reservatórios para águas coletadas por coberturas e pavimentos em lotes com área impermeabilizada superior a 500m², estabelecer a área mínima de pisos drenante, ou área naturalmente permeável em estacionamentos, além de dispor sobre a forma de cálculo a ser adotada para os reservatórios.

3.3.4 Legislação no Âmbito do Município de Betim

3.3.4.1 Lei municipal de Betim nº 4.706 de 2008

A lei municipal 4.706 institui o programa de reaproveitamento de águas provenientes de chuvas e dá outras providências. O programa, aplicável tanto a imóveis comerciais quando residenciais, tem como objetivo incentivar o uso das águas pluviais, através de providências para viabilizar o programa, listadas como:

I - Elaboração do Projeto Inicial;

II - Elaboração de planta padrão para o coletor de águas;

III - Regras para o abatimento no recolhimento dos impostos municipais.

3.3.4.1 Lei municipal de Betim nº 6.223 de 2017

A lei municipal 6.223 institui o IPTU ecológico, programa de incentivo à implantação de medidas de sustentabilidade ambiental. Esse programa tem o objetivo de fomentar medidas que sejam benéficas para o meio ambiente, preservando, recuperando ou protegendo, através de incentivo fiscal e tributário. Dentre as medidas previstas elegíveis para solicitação do benefício, está a implantação de sistemas de captação e reuso de água de chuva, definindo da seguinte maneira: “sistema em que se utiliza a captação de chuva escoada por meios próprios dos telhados de imóveis para armazenamento em compartimentos hermeticamente lacrados, para utilização posterior em diversas finalidades.”

A adoção das medidas previstas no escopo do programa garante o desconto na arrecadação do IPTU, em relação aos sistemas de captação e reuso de água de chuva, para aqueles que atenderem ao requisito de uso, a água captada e aproveitada deve corresponder a pelo menos 30% do consumo total, os descontos seguem a seguinte classificação:

- a) 15% (quinze por cento) sobre os imóveis residenciais, pelo período de 04 (quatro) anos;
- b) 10% (dez por cento) sobre os imóveis comerciais, pelo período de 04 (quatro) anos;
- c) 10% (dez por cento) sobre os imóveis industriais, pelo período de 04 (quatro) anos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Esse trabalho foi desenvolvido para a Unidade de Valorização Sustentável de Betim (UVS Betim), da Essencis-MG (Figura 11), empresa especializada no tratamento e destinação de resíduos, integrante do Grupo Solvi. A empresa está localizada às margens BR-381 km 499, sentido São Paulo, no bairro Morada do Trevo, região central do município de Betim, em Minas Gerais. O empreendimento, em funcionamento desde 2004, tem diversas tecnologias integradas e voltadas para o tratamento e disposição de diversos tipos de resíduos, dentre essas tecnologias, vale ressaltar os aterros Classe 1 e Classe 2, principal atividade da empresa, além da Logística Reversa, ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), UVE (Unidade de Valorização Energética), Triagem e o Galpão de Manutenção eletromecânica, uma vez que essas tecnologias possuem área de cobertura considerável e, portanto, são primordiais para o presente estudo.

Figura 11 Vista da área de estudo, Essencis MG, localizada na BR-381, Betim – MG



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

4.2 Demanda de Água Não Potável

Um ponto crucial de interesse para desenvolvimento de um projeto de captação e aproveitamento de água de chuvas é estipular a demanda local que deve ser atendida. Na Essencis, a água não potável é utilizada para alguns fins principais como limpeza dos pátios, umectação das vias, irrigação das plantas ornamentais e a utilização em processos diversos.

Uma vez que a Essencis não possui vínculo com a concessionária de água COPASA, o levantamento de demandas foi realizado com base na quantidade de viagens realizadas pelos caminhões pipa da frota interna da empresa, que levam a água do reservatório central da empresa, até os pontos de utilização. Como a distribuição interna é feita de acordo com surgimento da demanda, não há registros da quantidade de água utilizada em cada setor ou em cada tipo de atividade, interferindo assim na definição sua demanda. Para o presente estudo de viabilidade foram considerados 3 cenários: Cenário 1, de atendimento total da demanda de água não potável; Cenário 2, de atendimento para limpeza dos pátios e vias principais, com frequência de duas vezes por semana; Cenário 3, de atendimento para limpeza dos pátios da área superior, duas vezes na semana.

Para estipular as demandas relativas às atividades de limpeza de pátios e vias, uma vez que não há registros precisos dos consumos dessa atividade, foi utilizado o valor de 2L/m² para limpeza de pátios (TOMAZ, 2010).

4.3 Áreas de Captação

A qualidade das águas pluviais captadas depende de diversos fatores externos, segundo Lee et *al.* (2010, p.10), como sazonalidade, atividade humana e animal nas redondezas. Além disso, as condições de limpeza e manutenção tanto da superfície de escoamento, quanto do sistema de captação, são de grande impacto para a qualidade das águas captadas. Portanto, fica evidente o cuidado necessário na escolha das áreas de captação para o sistema.

A Essencis-MG possui grande área potencial de captação de água de chuva em sua propriedade que, em tese, poderia ser utilizada no aproveitamento desse recurso. Todavia, as atividades de aterramento e o constante tráfego de veículos pesados podem

vir a acarretar na presença de grande quantidade de materiais particulados e demais poluentes nas águas captadas pelas vias e pátios e, conseqüentemente, em grande volume descartado das primeiras águas, tratamento intenso necessário e, portanto, inviabilizando a utilização das águas escoadas pelos pátios e vias. Levando esses pontos em consideração, foram utilizadas, para fins de análise, somente as águas escoadas pelas coberturas presentes em algumas áreas da empresa, como o galpão da logística reversa, galpão de manutenção eletromecânica e a UVE.

Outro fator importante na escolha das áreas são as distâncias entre os pontos de captação, reservação e utilização, uma vez que, ao aumentar a distância percorrida, cresce também o custo do projeto com tubulações, bem como da perda de carga distribuída, que poderia gerar a necessidade de bombas para recalque. Levando esses fatores em consideração, visando maximizar a eficiência e atendimento do sistema, a escolha das áreas de captação para a análise de viabilidade foi feita de acordo com a demanda de água não potável a ser atendida.

Na Figura 13 é representada a distribuição das estruturas que serviram como áreas de captação para os três cenários de atendimento de demanda. Para a análise do cenário 1, foram utilizados os galpões da UVE, triagem, logística reversa, galpão de recebimento, galpão de manutenção e o seu anexo. Para o cenário 2 de limpeza de pátios e vias principais foram utilizados os galpões da porção superior, os da UVE, triagem, recebimento e logística reversa. Já para o cenário 3 de limpeza apenas dos pátios, foi utilizado o galpão da UVE.

Figura 12 Regiões de captação e reservação de águas pluviais



Fonte: O autor (2023).

4.4 Dados Pluviométricos

Para desenvolvimento da análise de viabilidade, é crucial entender o regime de chuvas local e sua distribuição ao longo do ano. Para tal, os dados referentes às precipitações pluviométricas utilizadas para o estudo foram obtidos através da base de dados de acesso público, acerca das médias pluviométricas para o município de Betim, no portal Climatempo, empresa brasileira que fornece serviços de meteorologia. As médias climatológicas apresentadas no portal Climatempo foram calculadas com base em séries de dados de 30 anos.

4.5 Dimensionamento de Reservatórios

Usualmente um ponto crítico na escolha entre os métodos de dimensionamento de reservatórios está na área disponível para a instalação dos reservatórios, uma vez que um método que garanta 100% de atendimento, demanda área maior de instalação quando comparado a outros métodos. No caso da Essencis, devido à grande área disponível, foi considerado o método de Rippl, que garante 100% de atendimento da demanda quanto ao volume armazenado em todos os meses. Entretanto, como método de Rippl tende a gerar superdimensionamento, para critérios de comparação foram realizados também dimensionamentos com o método de simulação partindo de valores

estipulados de volume para o reservatório, baseados em reservatórios comerciais que poderiam ser utilizados, buscando uma taxa de atendimento média aceitável de pelo menos 80%.

O dimensionamento foi feito com o uso de planilhas eletrônicas para cada cenário de atendimento, levando em consideração suas respectivas áreas de captação, as demandas a serem atendidas e os dados pluviométricos da região em estudo.

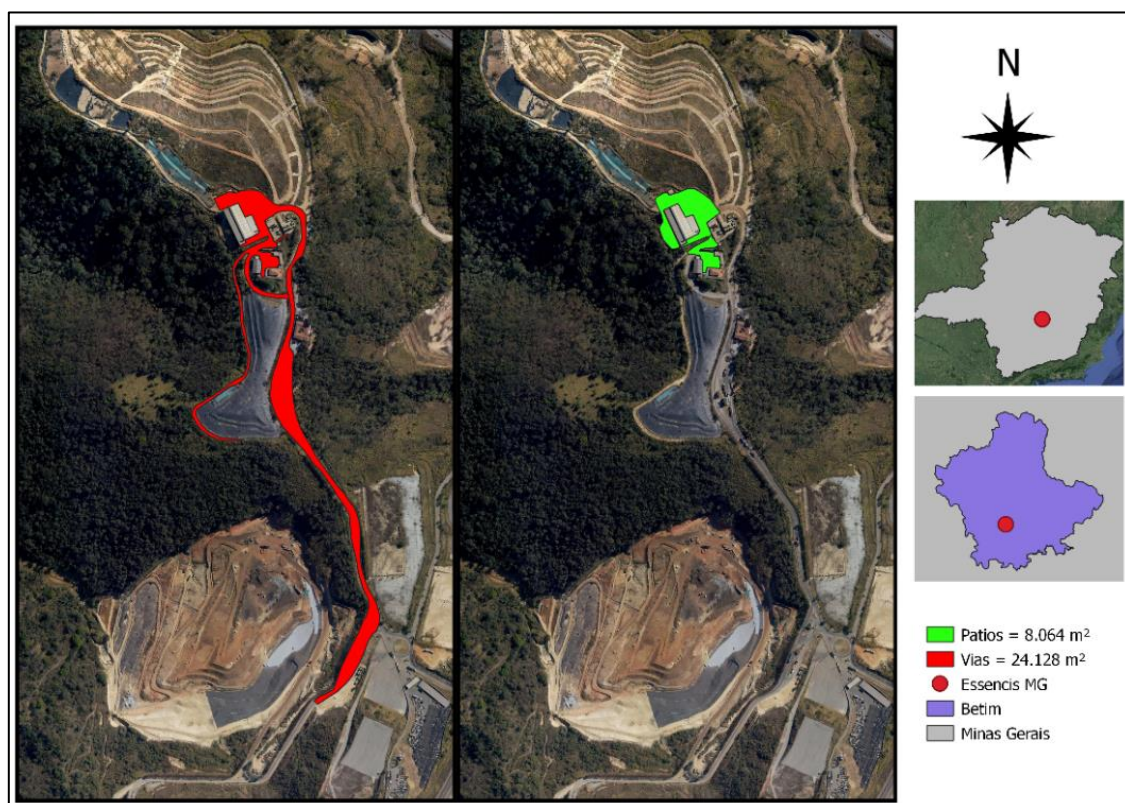
4.6 Descarte de Primeiras Águas

Seguindo as recomendações da norma técnica vigente para esse tipo de projetos ABNT NBR 15527/2019, bem como as recomendações da cartilha da FEAM, sendo a recomendação da norma técnica descartar 2mm da precipitação inicial, e da cartilha da FEAM para descartar 2mm/m² de área de cobertura. Para dimensionamento dos sistemas de reservação e descarte de primeiras águas, o volume adotado é referente ao valor de 2mm por m² de área de cobertura em um sistema acoplado de boia de nível acoplado em reservatório de limpeza.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo as informações concedidas pela empresa, a demanda total de água não potável para a Unidade de Valorização Sustentável de Betim (UVS Betim), da Essencis, é de 880m³/mês em média. Essa demanda é referente ao Cenário 1, de atendimento total, considerando somente o volume bruto total que é redistribuído internamente pela Essencis. Para os demais cenários foram levantadas, com o auxílio do software de geoprocessamento QGis 3.22.7, as áreas de vias principais e pátios, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 Áreas geradoras das demandas para os cenários de atendimento parcial



Fonte: O autor (2023).

Foram levantadas as áreas relativas a cada um dos cenários 2 e 3: atendimento para limpeza de pátios e vias principais, totalizando 24.128m²; e atendimento para limpeza somente dos pátios, totalizando 8.064m². Partindo desses valores, estipulando uma frequência de limpeza de duas vezes por semana, ou oito limpezas mensais, e as recomendações para levantamento de demandas de água para limpeza, de 2L/m²/dia de lavagem, obtêm-se as demandas finais para todos os cenários, conforme apresentado na Tabela 2.

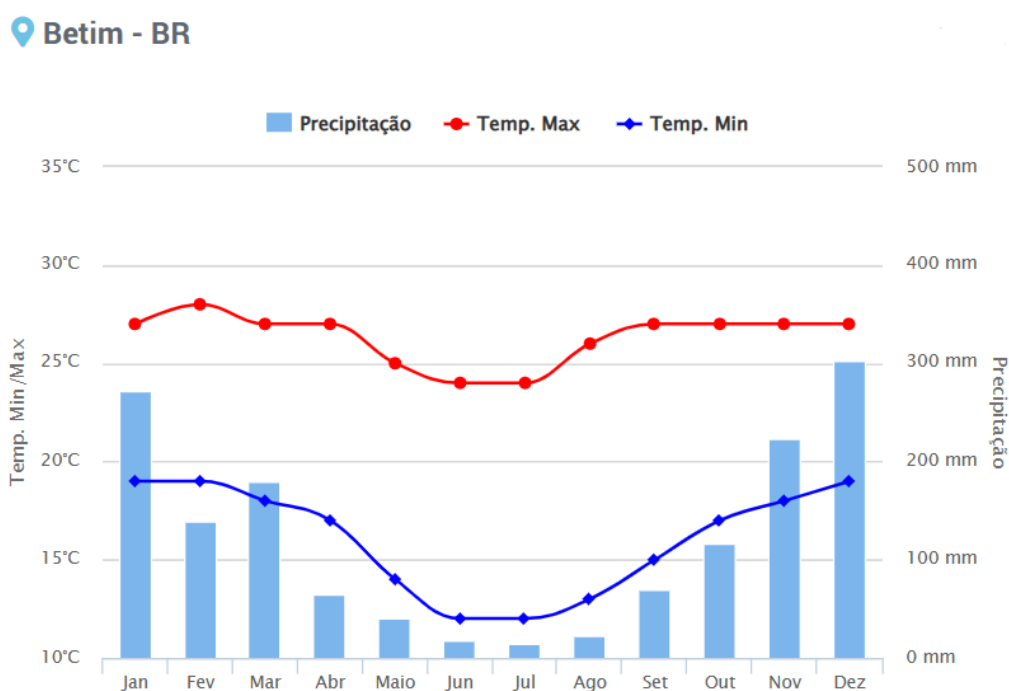
Tabela 2 Relação de demandas de água não potável

Cenário de atendimento	Áreas contempladas	Demanda mensal (m³)
1	Demanda total	880,00
2	Vias + pátios	386,05
3	Pátios	129,02

Fonte: O autor (2023)

Como os dados disponíveis do controle de precipitação realizado pela Essencis não apresentam cronologia suficientemente longa para um dado estatisticamente confiável, sendo apenas dos dois últimos anos, os dados de precipitação foram retirados de base do Portal Climatempo, para o município de Betim, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 Dados climatológicos para o município de Betim/MG

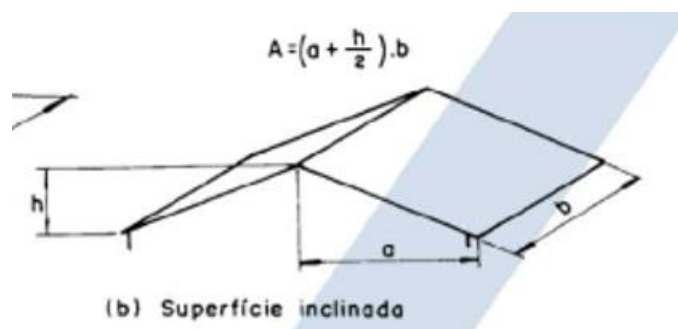


Fonte: Climatempo (2023).

Quanto às áreas de captação, os diversos galpões tiveram suas áreas de contribuição calculadas com relação aos projetos dos galpões, fornecidos pela Essencis, e de acordo com as orientações da norma técnica ABNT - NBR 10844/1989, para coberturas de superfícies inclinadas, obedecendo a relação apresentada na Figura 15. As relações

detalhadas do cálculo estão apresentadas no Anexo 1 e compiladas na Tabela 3.

Figura 15 Dimensionamento para área de contribuição de superfícies inclinadas



Fonte: ABNT - NBR 10844/1989.

Tabela 3 Áreas de captação das estruturas de interesse

Cenário 1	Estrutura	Area de contribuição(m²)	Area de contribuição(%)
	UVE	3054,63	49%
	Triagem	1562,27	25%
	Logística Reversa	578,18	9%
	Recebimento	173,29	3%
	Manutenção	715,40	12%
	Anexo Galpão	131,70	2%
	TOTAL	6215,47	100%
Cenário 2	Estrutura	Area de contribuição(m²)	Area de contribuição(%)
	UVE	3054,63	57%
	Triagem	1562,27	29%
	Logística Reversa	578,18	11%
	Recebimento	173,29	3%
	TOTAL	5368,37	100%
	Cenário 3	Estrutura	Area de contribuição(m²)
UVE		3054,63	100%
TOTAL		3054,63	100%

Fonte: O autor (2023).

Para o dimensionamento do volume a ser reservado, foi realizada a aplicação dos métodos de Rippl, garantindo total atendimento das demandas, e do método da Simulação, buscando volumes mais razoáveis de reservação que tragam atendimento de grande parte da demanda. O dimensionamento foi realizado levando em consideração os cenários de atendimento, e suas respectivas áreas de captação próximas: Atendimento total e todos os galpões; Atendimento para limpeza de vias e

pátios, utilizando os galpões da porção superior da empresa; Atendimento para limpeza dos pátios, utilizando a cobertura do galpão da UVE, uma vez que esse possui maior área de contribuição. Como todos os galpões possuem coberturas similares, sendo feitas de telhas de metal, e com inclinação de 10%, os cenários com múltiplos galpões tiveram seus volumes reservados calculados considerando uma única área de contribuição total, e coeficiente de run-off de 0,9 para telhas metálicas, conforme Thomas (2010).

Para o primeiro cenário de atendimento, contemplando a demanda mensal de 880m³ e área de captação total de 6215,47 m², foi calculado um volume a ser armazenado de 4.228 m³, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 Dimensionamento por Rippl para o cenário 1

Demanda (m ³ /mês) :	880,0
Área de captação (m ²):	6215,47
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Vol. Damanda - Volume chuva (m ³)	Volume a ser reservado (+) (m ³)
Jan	277,00	880,00	6215,5	1550	-670	0
Fev	139,00	880,00	6215,5	778	102	102
Mar	176,00	880,00	6215,5	985	-105	-2
Abr	65,00	880,00	6215,5	364	516	514
Mai	40,00	880,00	6215,5	224	656	1171
Jun	17,00	880,00	6215,5	95	785	1955
Jul	14,00	880,00	6215,5	78	802	2757
Ago	23,00	880,00	6215,5	129	751	3508
Set	69,00	880,00	6215,5	386	494	4002
Out	117,00	880,00	6215,5	654	226	4228
Nov	224,00	880,00	6215,5	1253	-373	3855
Dez	303,00	880,00	6215,5	1695	-815	0

Fonte: O autor (2023).

Para melhor atendimento, considerando a grande distância entre a porção superior da empresa e a região do galpão de manutenção, a reservação de volume foi separada entre as duas regiões, de forma proporcional à área de captação, sendo 86% na porção superior e 14% na inferior, totalizando os volumes armazenados de 3.636m³ na porção superior e 591,92 m³ na inferior.

Para o cenário de atendimento parcial, para limpeza dos pátios e vias principais de demanda de 386,1 m³ e área de captação de 5.368,4, equivalentes aos galpões da UVE,

Logística reversa, Triagem e galpão de recebimento, foi calculado um volume a ser armazenado de 1215 m³, conforme Tabela 5.

Tabela 5 Dimensionamento por Rippl para o cenário 2

Demanda (m ³ /mês) :	386,1
Área de captação (m ²):	5368,4
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Vol. Damanda - Volume chuva (m ³)	Volume a ser reservado (+) (m ³)
Jan	277,00	386,05	5368,4	1338	-952	0
Fev	139,00	386,05	5368,4	672	-286	0
Mar	176,00	386,05	5368,4	850	-464	0
Abr	65,00	386,05	5368,4	314	72	72
Mai	40,00	386,05	5368,4	193	193	265
Jun	17,00	386,05	5368,4	82	304	569
Jul	14,00	386,05	5368,4	68	318	887
Ago	23,00	386,05	5368,4	111	275	1162
Set	69,00	386,05	5368,4	333	53	1215
Out	117,00	386,05	5368,4	565	-179	1035
Nov	224,00	386,05	5368,4	1082	-696	339
Dez	303,00	386,05	5368,4	1464	-1078	0

Fonte: O autor (2023).

Para o terceiro cenário de atendimento, contemplando a demanda de 129 m³, relativo à limpeza dos pátios da porção superior, e área de captação de 3.054,63 m², relativo ao galpão da UVE, foi encontrado um volume a ser reservado de 258 m³, conforme Tabela 6.

Tabela 6 Dimensionamento por Rippl para o cenário 3.

Demanda (m ³ /mês) :	129,0
Área de captação (m ²):	3054,6
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Demanda (m ³ /mês)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Vol. Damanda - Volume chuva (m ³)	Volume a ser reservado (+) (m ³)
Jan	277,00	129,02	3054,6	762	-632	0
Fev	139,00	129,02	3054,6	382	-253	0
Mar	176,00	129,02	3054,6	484	-355	0
Abr	65,00	129,02	3054,6	179	-50	0
Mai	40,00	129,02	3054,6	110	19	19
Jun	17,00	129,02	3054,6	47	82	101
Jul	14,00	129,02	3054,6	38	91	192
Ago	23,00	129,02	3054,6	63	66	258
Set	69,00	129,02	3054,6	190	-61	197
Out	117,00	129,02	3054,6	322	-193	4
Nov	224,00	129,02	3054,6	616	-487	-482
Dez	303,00	129,02	3054,6	833	-704	0

Fonte: O autor (2023).

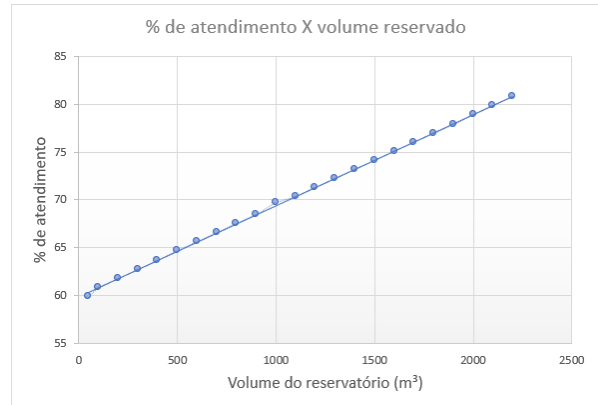
O dimensionamento através do método de Rippl, apesar de garantir o abastecimento em sua totalidade, ocasiona em volumes massivos de reservatórios, que acarretam um custo alto de implementação, bem como a necessidade de grandes áreas. Em muitos casos, um reservatório menor que atenda a boa parte da demanda pode trazer um perfil de economia e utilização de espaço mais interessantes. Visando esse cenário, foram realizados dimensionamentos dos volumes a serem reservados através do método da Simulação. Para os cenários 1 e 2, devido ao maior volume envolvido, foram feitas simulações com diversos valores, uma vez que o reservatório seria construído e não se ateriam aos valores comerciais.

Para o cenário 1, as simulações partiram do valor inicial de 50m³, 100m³ e a partir daí em acréscimos de 100m³ até que fosse encontrado o atendimento médio de aproximadamente 80%, o que surgiu em torno de 2200m³, conforme Tabela 7, consideravelmente menor do que os 4228m³ encontrados por Rippl. Conforme pode-se observar no Gráfico 1, gerado com os dados das simulações, o crescimento do retorno é bem lento quando comparado com o aumento do reservatório. Portanto, para aumento significativo da média de atendimento, é necessário um grande aumento no volume armazenado, ocasionando na escolha do menor volume reservado que traz 80%

de atendimento.

Gráfico 1 – Relação de atendimento de demanda por volume reservado para cenário 1.

Volume do reservatório (m ³)	Média das demandas atendidas (%)
50	59,92
100	60,87
200	61,84
300	62,78
400	63,73
500	64,68
600	65,62
700	66,57
800	67,52
900	68,46
1000	69,7
1100	70,36
1200	71,31
1300	72,25
1400	73,2
1500	74,15
1600	75,09
1700	76,04
1800	76,99
1900	77,93
2000	78,88
2100	79,83
2200	80,78



Fonte: O autor (2023).

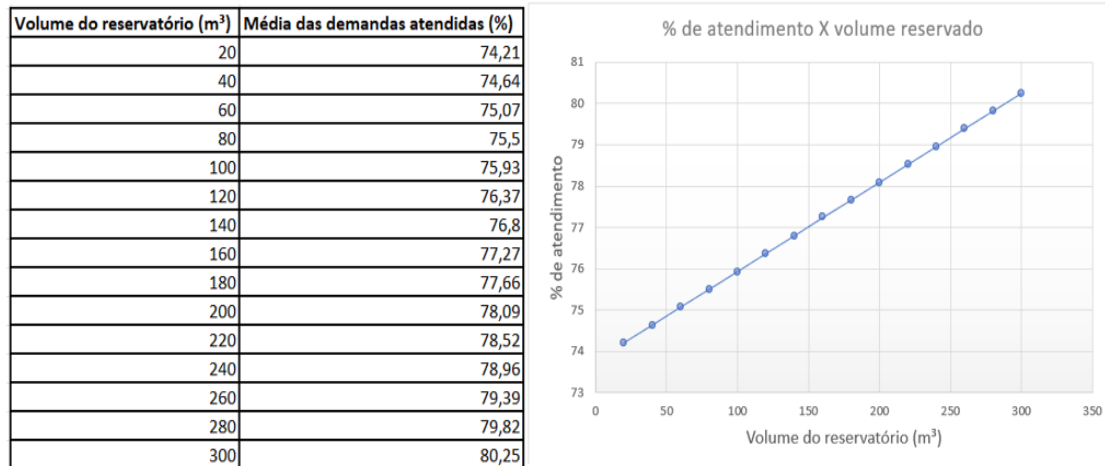
Tabela 7 Dimensionamento por Simulação para o cenário 1

Demanda (m ³ /mês) :	880,0
Área de captação (m ²) :	6215,5
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Volume de chuva (m ³)	Volume do reservatório (m ³)	Volume do reservatório (t-1) (m ³)	Volume do reservatório (t) (m ³)	Extravasamento (m ³)	Suprimento (m ³)	% demanda atendida
Jan	277,00	1549,5	2200,0	0	2200,0	0,0	0	100,00
Fev	139,00	777,6		2200	2097,6	0,0	0	100,00
Mar	176,00	984,5		2098	2200,0	2,1	0	100,00
Abr	65,00	363,6		2200	1683,6	0,0	0	100,00
Mai	40,00	223,8		1684	1027,4	0,0	0	100,00
Jun	17,00	95,1		1027	242,5	0,0	0	100,00
Jul	14,00	78,3		242	-559,2	0,0	559	36,45
Ago	23,00	128,7		0	-751,3	0,0	751	14,62
Set	69,00	386,0		0	-494,0	0,0	494	43,86
Out	117,00	654,5		0	-225,5	0,0	226	74,37
Nov	224,00	1253,0		0	373,0	0,0	0	100,00
Dez	303,00	1695,0		373	1188,0	0,0	0	100,00
TOTAL	1464,00							80,78

Fonte: O autor (2023).

Para o segundo cenário, de atendimento da demanda para limpeza de pátios e vias principais, devido às menores proporções, as simulações começaram com volume de 20m², e subindo o volume de reservação em acréscimos de 20m³, conforme Gráfico 2, até o atendimento próximo de 80%, que ocorreu em torno de 300 m³, conforme apresentado na Tabela 8.

Gráfico 2 – Relação de atendimento de demanda por volume reservado para cenário 2.

Fonte:

O autor (2023).

Tabela 8 Dimensionamento por Simulação para o cenário 2

Demanda (m³/mês) :	386,1
Área de captação (m²):	5368,4
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Volume de chuva (m³)	Volume do reservatório (m³)	Volume do reservatório (t-1) (m³)	Volume do reservatório (t) (m³)	Extravasamento (m³)	Suprimento (m³)	% demanda atendida
Jan	277,00	1338,3	300,0	0	300,0	652,2	0	100,00
Fev	139,00	671,6		300	300,0	285,5	0	100,00
Mar	176,00	850,4		300	300,0	464,3	0	100,00
Abr	65,00	314,1		300	228,0	0,0	0	100,00
Mai	40,00	193,3		228	35,1	0,0	0	100,00
Jun	17,00	82,1		35	-268,8	0,0	269	30,37
Jul	14,00	67,6		0	-318,5	0,0	318	17,52
Ago	23,00	111,1		0	-275,0	0,0	275	28,78
Set	69,00	333,4		0	-52,7	0,0	53	86,34
Out	117,00	565,3		0	179,2	0,0	0	100,00
Nov	224,00	1082,3		179	300,0	575,4	0	100,00
Dez	303,00	1464,0		300	300,0	1077,9	0	100,00
TOTAL	1464,00							80,25

Fonte: O autor (2023).

Para o terceiro cenário, de atendimento da demanda para limpeza apenas dos pátios, a simulação com reservatório de 20 m³, valor comercial e facilmente encontrado, o atendimento já foi superior a 80%, conforme Tabela 9. Nesse caso, o aumento do volume do reservatório não trouxe retornos suficientes, ao dobrar o volume, houve um acréscimo de apenas 1,29%, conforme Tabela 10.

Tabela 9 Dimensionamento por Simulação para o cenário 3 com reservatório de 20 m³

Demanda (m ³ /mês) :	129,0
Área de captação (m ²):	3054,6
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Volume de chuva (m ³)	Volume do reservatório (m ³)	Volume do reservatório (t-1) (m ³)	Volume do reservatório (t) (m ³)	Extravasamento (m ³)	Suprimento (m ³)	% demanda atendida
Jan	277,00	761,5	20,0	0	20,0	612,5	0	100,00
Fev	139,00	382,1		20	20,0	253,1	0	100,00
Mar	176,00	483,9		20	20,0	354,8	0	100,00
Abr	65,00	178,7		20	20,0	49,7	0	100,00
Mai	40,00	110,0		20	0,9	0,0	0	100,00
Jun	17,00	46,7		1	-81,3	0,0	81	36,96
Jul	14,00	38,5		0	-90,5	0,0	91	29,83
Ago	23,00	63,2		0	-65,8	0,0	66	49,01
Set	69,00	189,7		0	20,0	40,7	0	100,00
Out	117,00	321,7		20	20,0	192,6	0	100,00
Nov	224,00	615,8		20	20,0	486,8	0	100,00
Dez	303,00	833,0		20	20,0	704,0	0	100,00
TOTAL	1464,00							84,65

Fonte: O autor (2023).

Tabela 10 Dimensionamento por Simulação para o cenário 3 com reservatório de 40 m³

Demanda (m ³ /mês) :	129,0
Área de captação (m ²):	3054,6
c (coef. run-off) :	0,90

Meses	Prec. média mensal (mm)	Volume de chuva (m ³)	Volume do reservatório (m ³)	Volume do reservatório (t-1) (m ³)	Volume do reservatório (t) (m ³)	Extravasamento (m ³)	Suprimento (m ³)	% demanda atendida
Jan	277,00	761,5	40,0	0	40,0	592,5	0	100,00
Fev	139,00	382,1		40	40,0	253,1	0	100,00
Mar	176,00	483,9		40	40,0	354,8	0	100,00
Abr	65,00	178,7		40	40,0	49,7	0	100,00
Mai	40,00	110,0		40	20,9	0,0	0	100,00
Jun	17,00	46,7		21	-61,3	0,0	61	52,46
Jul	14,00	38,5		0	-90,5	0,0	91	29,83
Ago	23,00	63,2		0	-65,8	0,0	66	49,01
Set	69,00	189,7		0	40,0	20,7	0	100,00
Out	117,00	321,7		40	40,0	192,6	0	100,00
Nov	224,00	615,8		40	40,0	486,8	0	100,00
Dez	303,00	833,0		40	40,0	704,0	0	100,00
TOTAL	1464,00							85,94

Fonte: O autor (2023).

Quanto às dimensões dos reservatórios construídos, que seriam necessários nos cenários 1 e 2 para ambos os métodos de dimensionamento, e para o cenário 3 com método de Rippl, foi adotado um formato de prisma de base quadrada, e altura de 4 metros para todos os cinco reservatórios dimensionados, uma vez que os caminhões pipa da empresa que realizam a distribuição interna possuem mangotes com 5 metros de comprimento.

As dimensões dos reservatórios para cada cenários são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 Dimensões dos reservatórios

Cenário	Método	Volume (m ³)	Altura (m)	Área (m ²)	Largura (m)	Comprimento (m)
1	Rippl	4428	4	1107	33,27	33,27
	Simulação	2200		550	23,45	23,45
2	Rippl	1125		281,25	16,77	16,77
	Simulação	300		75	8,66	8,66
3	Rippl	208		52	7,21	7,21

Fonte: O autor (2023).

Visando a qualidade da água captada e posteriormente armazenada, é necessária a instalação de um sistema de descartes para primeiras águas, volume destinado para limpeza dos telhados e coberturas. A recomendação da cartilha da FEAM (2016) diz que para volume de descarte das primeiras águas devem ser utilizados entre 1 e 2mm/m² de área de captação. Para o presente trabalho, foi adotado o valor de 2mm/m² e os volumes de descarte para cada cenário estão compilados na Tabela 12, juntamente com o percentual de volume de descarte em função do volume armazenado.

Tabela 12 Volume de descarte pra primeiras águas

Cenário	Método	Área de captação (m ²)	Volume armazenado (m ³)	Volume de descarte (m ³)	Volume de descarte (%)
1	Rippl	6215,47	4428	12,43	0,28%
	Simulação		2200		0,57%
2	Rippl	5368,37	1125	10,74	0,95%
	Simulação		300		3,58%
3	Rippl	3054,63	200	6,11	3,06%
	Simulação		20		30,55%

Fonte: O autor (2023).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento constante do perfil de consumo de água no mundo, aliado às mudanças climáticas e alteração da qualidade dos recursos hídricos, fazem com que haja a necessidade de buscar fontes alternativas para esse precioso recurso. O uso de águas pluviais é uma técnica conhecida e utilizada a centenas de anos por diversas civilizações. A utilização de sistemas de captação e utilização de águas pluviais em cenários residenciais vem sendo amplamente explorada e inclusa em legislações, mas essa pode também ser uma solução interessante para atender demandas de grandes empresas, como a Essencis.

O presente trabalho desenvolvido analisou três cenários de atendimento para a demanda hídrica da Essencis, com dois métodos de dimensionamento de reservatórios, visando demonstrar a viabilidade de diversas possibilidades de atendimento. Os dimensionamentos realizados através do método de Rippl deixaram evidente a principal desvantagem do método, que são os volumes massivos de armazenamento, variando entre 208 m³ e 4428 m³ entre os cenários. Através do método da simulação pôde-se observar reservatórios com dimensões bem mais razoáveis, variando entre os comerciais 20 m³ e 208 m³ entre os cenários, enquanto atendiam a cerca de 80% das demandas de cada cenário, que já representariam significativa economia no perfil de consumo da empresa.

Portanto, considerando o extenso território da empresa, afere-se que haveria viabilidade técnica para instalação de tal sistema para os cenários de atendimento parcial. A escolha definitiva dentre os cenários e percentuais de atendimento deve ser precedida de estudo econômico para comparação e escolha adequada.

Conforme apresentado no decorrer do presente trabalho, algumas particularidades tiveram influência sobre a análise detalhada de viabilidade, como a forma de distribuição e controle das demandas de água bruta internas. Recomenda-se, então, a realização do monitoramento de consumo relativo a setores e atividades desenvolvidas na empresa, visando maior controle e oportunidade de otimização.

Além disso, devido às características das atividades desenvolvidas, e o fluxo constante de caminhões com resíduos, associados à atividade, sugere-se realizar um estudo acerca do volume de descarte de primeiras águas, para verificar se os 2mm/m²

recomendados são suficientes para atingir níveis aceitáveis de qualidade de água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas.. **Manual de Conservação e Reuso da água em Edificações**. 152 páginas. São Paulo, 2005.

ABNT NBR 10844: **Instalações de águas pluviais**. Rio de Janeiro-RJ, 1989. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT NBR 15527: **Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro-RJ, 2019. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BELO HORIZONTE. **Lei nº 11.181, de 08 de agosto de 2019**. Aprova o Plano Diretor do município de Belo Horizonte e dá outras providências.

BRUCH, Julia Teresa. **Projeto de Instalações Hidrossanitárias com aquecimento solar e aproveitamento de água pluvial em uma edificação residencial**. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187890>. Acesso em: 30 set. 2022.

DOYLE, K. C. **Sizing the First Flush and its Effect on the Storage-Reliability Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda**. B.S. Civil Engineering, Villanova University, 2008.

FEAM -**CARTILHA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**, 2016 42p.

GIACCHINI, M. **Uso e reuso da água**. Paraná: CREA-PR, 2009. 32p. (Série de Cadernos Técnicos).

GHAFFARIANHOSEINI, Ali, TOOKEY, John, GHAFFARIANHOSEINI, Amirhosein, YUSOFF Safiah. **State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review**, Desalination and Water Treatment, 2015.

LEE, Ju Young. YANG, Jung-seok. HAN, Mooyoung, CHOI, Jaeyoung. **Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources**, Science of The Total Environment, Volume 408, Issue 4, 2010, p. 896-905

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento da água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://observatorio.faculdadeguanambi.edu.br/wp-content/uploads/2015/07/May-2004.pdf>>. Acesso em 25 set, 2022.

MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Enedir. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis–SC**. Ambiente construído, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008

MEKONNEN, MM, Hoekstra AY. **Four billion people facing severe water scarcity**. Sci Adv. 2016 Feb 12;. doi: 10.1126/sciadv.1500323

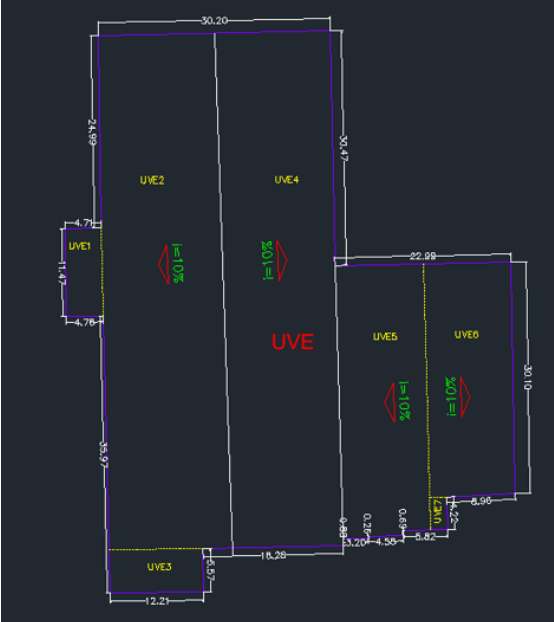
TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD (Texas). **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. Disponível em: www.twdb.texas.gov/innovativewater/rainwater/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf. Acesso em: 20 nov. 2011.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Editora Tomaz, 2010. 350p. URBAMAIS. Desenvolvimento Urbano. O uso das calhas para reaproveitar a água da chuva.

UNESCO-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The United Nations **World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Andrey Azoulay (Director-General). Paris, 2018.

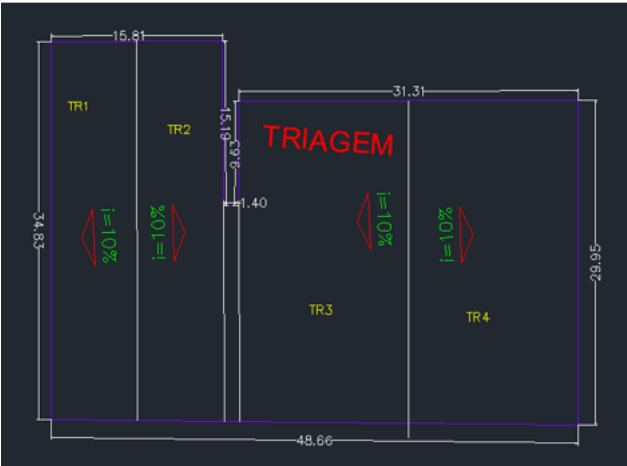
UNESCO-United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **The United Nations World Water Development Report 2021: Nature-Based Solutions for Water**. Andrey Azoulay (Director-General). Paris, 2021.

APÊNDICES



UVE1	57,21	UVE4	1.038,29	UVE7	9,70
a	4,75	a	14,77	a	2,19
b	11,47	b	66,95	b	4,22
h	0,475	h	1,477	h	0,219
UVE2	1.089,61	UVE5	422,3835		
a	15,5	a	11,5		
b	66,95	b	34,98		
h	1,55	h	1,15		
UVE3	73,97	UVE6	363,46		
a	12,21	a	11,5		
b	5,77	b	30,1		
h	1,221	h	1,15		

UVE (m²)	3.054,63
----------	----------



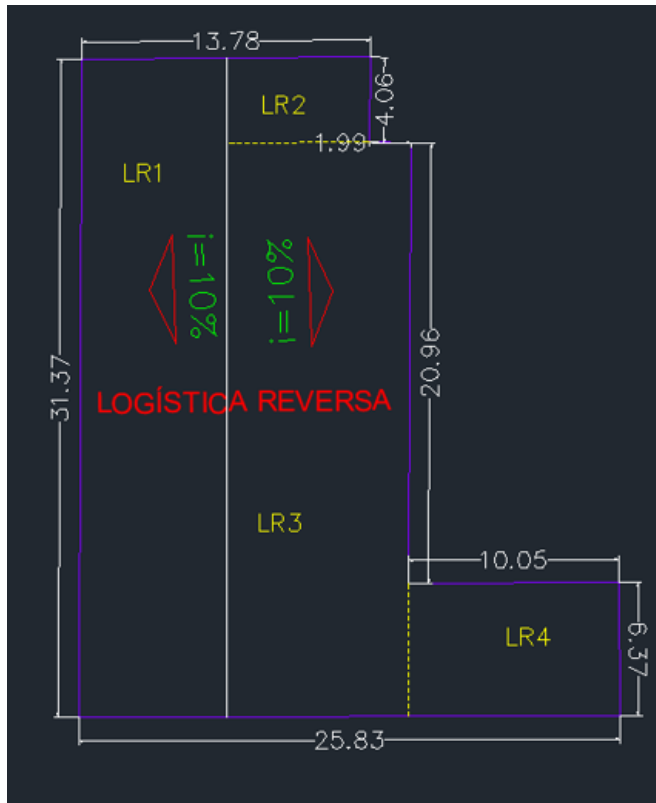
TR1	288,67	TR3	492,47
a	7,9	a	15,66
b	34,8	b	29,95
h	0,79	h	1,566
TR2	288,67	TR4	492,47
a	7,9	a	15,66
b	34,8	b	29,95
h	0,79	h	1,566

Triagem (m²)	1.562,27
--------------	----------



M1	357,70	M2	357,70
a	5,9	a	5,9
b	57,74	b	57,74
h	0,59	h	0,59

Manutenção (m²)	715,40
-----------------	--------



LR1	226,95	LR3	254,64
a	6,89	a	8,88
b	31,37	b	27,31
h	0,689	h	0,888
LR2	29,37	LR4	67,22
a	4,06	a	10,05
b	6,89	b	6,37
h	0,406	h	1,005

Triagem (m²)

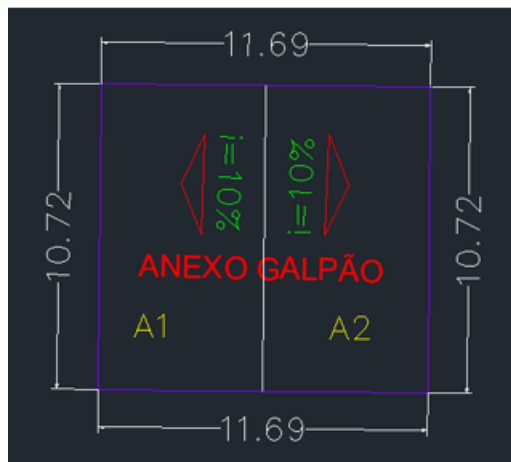
578,18



R1	86,65	R2	86,65
a	8,13	a	8,13
b	10,15	b	10,15
h	0,813	h	0,813

Manutenção (m²)

173,29



A1	65,85	A2	65,85
a	5,85	a	5,85
b	10,72	b	10,72
h	0,585	h	0,585

Manutenção (m²)

131,70