

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Maxwell Moro Novato

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA  
PLUVIAL EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL**

Santa Maria, RS  
2021

**Maxwell Moro Novato**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM UM POSTO DE  
COMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia Civil,  
da Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial para a  
obtenção do grau de **Engenheiro Civil**.

Orientadora: Profa. Dra. Vanessa Sari

Santa Maria, RS  
2021

**Maxwell Moro Novato**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM UM POSTO DE  
COMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao curso de Engenharia Civil,  
da Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial para a  
obtenção do Grau de **Engenheiro Civil**.

**Aprovado em 23 de fevereiro de 2021:**

---

**Vanessa Sari, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/orientadora)

---

**Raviel Eurico Basso, Dr. (UFSM)**

---

**Priscila Pacheco Mariani, Me. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2021

## RESUMO

### ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEL

AUTOR: Maxwell Moro Novato

ORIENTADORA: Vanessa Sari

Aproveitamento de água pluvial é uma alternativa sustentável de conservação dos recursos hídricos, trazendo benefícios como, redução da escassez hídrica e minimização dos efeitos de secas e estiagem; auxílio no controle de alagamentos e inundações, etc. Embora pouco convencional no Brasil, essa prática vem ganhando espaço em iniciativas espalhadas pelo país e nos novos projetos de construção civil, a nível residencial e comercial. Esse estudo analisou a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial no posto de combustíveis da Rede Sim, em Santa Maria – RS. Para o cálculo do volume de reservatório mais recomendado, utilizou-se o método da simulação, analisando cinco volumes diferentes (15.000, 20.000, 25.000, 27.500 e 30.000 L), para a captação da água da chuva em uma cobertura de 1250 m<sup>2</sup>. Entre as simulações dos sistemas de aproveitamento com eficiência acima de 90% no atendimento da demanda, o que excetuou o reservatório de 15.000 L, o reservatório de volume 20.000 L apresentou o melhor custo *versus* benefício, requerendo um investimento de R\$ 26.656,51, com *payback* em 9 anos 2 meses e 13 dias e lucros acima de R\$ 22.000,00 em 15 anos. O uso de reservatórios maiores, se comparado aos custos de sua implantação, não adicionou acréscimos significativos em termos de melhoria da eficiência no atendimento da demanda do sistema. Mesmo que esses reservatórios tenham apresentado uma leve redução no número de dias falhos, sem atendimento da demanda, os reservatórios de menor volume obtiveram menores TIR e *payback*, o que os torna mais recomendados.

**Palavras-chave:** Escassez hídrica. Aproveitamento pluvial. Método da simulação. Lavagem de veículos. Desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF THE IMIMPLANTATION OF A RAINWATER HARVESTING SYSTEM IN A FUEL STATION

AUTHOR: MAXWELL MORO NOVATO

ADVISOR: Vanessa Sari

Rainwater harvesting is a sustainable alternative for the conservation of water resources, bringing benefits such as reducing water scarcity and minimizing the effects of droughts; aid in flood control, etc. Although unconventional in Brazil, this practice has been gaining ground in initiatives throughout the country and in new civil construction projects, at residential and commercial level. This study analyzed the technical and economic viability of implementing a rainwater harvesting system at the "Sim" gas station, in Santa Maria - RS. To calculate the most recommended reservoir volume, the simulation method was used, to analyze five different volumes (15.000, 20.000, 25.000, 27.500 and 30.000 L); for rainwater capture on a 1250 m<sup>2</sup> roof. Among the simulations of the rainwater use systems with above 90% efficiency in meeting the demand, which exceeded the 15.000 L reservoir, the 20.000 L reservoir presented the best cost versus benefit, requiring R\$ 26.656,51 investment, with a 9 years 2 months and 13 days payback and profits above R\$ 22.000,00 in 15 years. The use of larger reservoirs, when compared to the costs of their implementation, did not add significant increases in terms of improving efficiency in attending the system demand. Even though these reservoirs presented a slight reduction in the number of failed days, without meeting demand, lower volume reservoirs obtained lower IRR and payback, which makes them more recommended.

**Keywords:** Water scarcity. Rainwater harvesting. Simulation method. Car washing. Sustainable development.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da retirada de água no Brasil, por setor (1931-2030), em m <sup>3</sup> /s.	15
Figura 2 - Demandas de uso da água no Brasil no ano de 2017, por setor (%) e total sem considerar a evaporação dos reservatórios.....	15
Figura 3 - Abastecimento de água nos domicílios do RS em 2018 .....	16
Figura 4 - Elementos que constituem um sistema de aproveitamento de água de chuva.....	18
Figura 5 - Esquema de aproveitamento de água da chuva.....	19
Figura 6 - Esquema do projeto da tecnologia básica da mini cisterna .....	19
Figura 7 - Esquema de posicionamento do filtro Vortex/Wisy para filtragem de impurezas.....	22
Figura 8 - Filtro Vortex/Wisy, modelo WFF 150, para áreas de até 500 m <sup>2</sup> .....	23
Figura 9 - Esquema de instalação de um filtro de descida/Wisy .....	23
Figura 10 - Esquema de funcionamento de um filtro de descida/Wisy.....	24
Figura 11 - Filtro modelo flutuante/Wisy.....	25
Figura 12 - Esquema de uso de Filtro Vortex/Wisy, modelo flutuante.....	25
Figura 13 - Checklist para pesquisa de postos.....	34
Figura 14 - Mapa de Santa Maria.....	35
Figura 15 - Limites do terreno do Posto Rede Sim.....	35
Figura 16 - Precipitação anual em Santa Maria (mm) .....	36
Figura 17 - Precipitação anual (mm) em Santa Maria – RS, de 2000 a 2019 .....	47
Figura 18 - Área coberta do posto Sim.....	48
Figura 19 - Área coberta da Mademax Pneus.....	49
Figura 20 - Área coberta da Racer Point.....	49
Figura 21 – Vistas gerais do estabelecimento com projeção da implantação da lavagem de veículos.....	50
Figura 22 - Potencial de economia por volume de reservatório .....	56
Figura 23 - Potencial de economia por volume de reservatório .....	57
Figura 24 - Total de dias com ocorrência de extravasamento entre o período de 2000 a 2019 .....	58
Figura 25 - Serviço básico de água cobrado pela CORSAN e linha de tendência ....	60
Figura 26 - Preço base do m <sup>3</sup> de água cobrado pela CORSAN e linha de tendência.....	61
Figura 27 - Filtro VF6 da 3P Technick.....	65
Figura 28 - Exemplo de instalação do filtro First Flush DM 150 .....	66
Figura 29 - Planta baixa do sistema de aproveitamento de água da chuva para lavagem de veículos.....	67
Figura 30 – Vistas gerais do sistema de aproveitamento de água da chuva .....	68
Figura 31 - Comparativo de custos totais com cada sistema de aproveitamento pluvial.....	72
Figura 32 - Comparativo de custos totais na lavagem de veículos com e sem aproveitamento pluvial .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis da água .....	26
Tabela 2 - Frequência de manutenção do sistema .....	26
Tabela 3 - Tabela tarifária da CORSAN em 2015 .....	41
Tabela 4 - Taxas de depreciação .....	44
Tabela 5 - Demanda de água para os funcionários da lavagem .....	51
Tabela 6 - Média de gastos mensais na conta de água e estimativa de demanda por veículo .....	51
Tabela 7 - Postos pesquisados que possuem lavagem de carro em Santa Maria. ...	52
Tabela 8 - Estimativa de consumo diário de água com lavagem de veículos .....	53
Tabela 9 - Informações utilizadas para determinação do volume pluvial potencialmente captável para a simulação dos diferentes volumes de reservatórios pelo método da simulação .....	53
Tabela 10 - Exemplo de aplicação do método da simulação para um reservatório de 15.000 L, apresentado para 5 dias de simulação .....	54
Tabela 11 - Resultados obtidos pelo método da simulação para diferentes volumes de reservatório .....	55
Tabela 12 - Média anual de dias falhos no atendimento da demanda, por reservatório .....	56
Tabela 13 - Tabela tarifaria empresarial, categoria comercial, da CORSAN de 2015 a 2020 .....	59
Tabela 14 - Tendência de tarifaria empresarial, categoria comercial, da CORSAN de 2021 a 2035 .....	61
Tabela 15 - Custos anuais com a CORSAN previstos em lavagens de veículos (2021 a 2035), sem sistema de aproveitamento pluvial (modelo tradicional de abastecimento).....	62
Tabela 16 - Previsão de custos acumulados com a CORSAN em lavagens de veículos (2021 a 2035), sem sistema de aproveitamento pluvial (modelo tradicional de abastecimento).....	62
Tabela 17 - Demanda de água complementar da CORSAN, entre 2021 e 2035, utilizando sistema de aproveitamento pluvial .....	63
Tabela 18 - Projeção de custos anuais com demanda de água complementar da CORSAN, entre 2021 e 2035, utilizando sistema de aproveitamento pluvial .....	64
Tabela 19 - Projeção de custos com tubos e conexões na implantação do sistema de aproveitamento pluvial .....	69
Tabela 20 - Projeção de custos com reservatórios e filtros na implantação do sistema de aproveitamento pluvial .....	69
Tabela 21 – Projeção de custos totais para cada volume de reservatório na implantação do sistema de aproveitamento pluvial .....	70
Tabela 22 - Projeção dos gastos com a manutenção dos componentes do sistema de aproveitamento pluvial .....	70
Tabela 23 - Diferença entre fluxo de caixa de cada sistema para o modelo tradicional.....	73
Tabela 24 - VPL e TIR para cada sistema de aproveitamento pluvial.....	74
Tabela 25 - Payback para cada sistema de aproveitamento pluvial.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
A	Área de captação de água da chuva
a.a.	Ao ano
a.m.	Ao mês
B	Demanda diária de água por pessoa no lavatório do banheiro
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos
C	Coeficiente de escoamento superficial da área da cobertura ( <i>runoff</i> )
$C_a$	Consumo de água anual para lavagem de veículos
CMM	Chuva média mensal
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
$C_s$	Confiança ou eficiência no atendimento à demanda
$C_t$	Consumo total de água mensal da CORSAN
$C_v$	Consumo de água necessário para a lavagem de um veículo
$D_a$	Demanda anual de água potável
$DATA_i$	Data inicial de uso do sistema de aproveitamento de água pluvial
DC	Despesas com sistema de aproveitamento de água pluvial
$D_f$	Demanda diária de água pelos funcionários
$D_{i+1}$	Demanda no tempo atual
$D_l$	Demanda diária de água para lavagem de veículos
$D_m$	Demanda mensal
DS	Despesas sem sistema de aproveitamento pluvial
$D(t)$	Demanda ou consumo no tempo $t$
F	Falha no atendimento à demanda
FC	Fluxo de caixa
FIFA	Federação Internacional de Futebol
$F_u$	Frequência de uso
$G_a$	Custo total anual apenas em lavagem de veículos
$H_i$	Demanda diária de água por pessoa para hidratação
I	Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação
$i$	Período de cada investimento
la	Índice de aridez
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
IQA	Índice de Qualidade das Águas
$j$	Período de cada fluxo de caixa
L	Litros
$L/m^2$	Litros por metro quadrado
LEMA	Laboratório de Engenharia de Meio Ambiente
m	Metros
$m^2$	Metros quadrados
$m^3$	Metros cúbicos
$M_i$	Preço base do $m^3$ cobrado pela CORSAN no ano em análise
mm	Milímetros
n	Período final do investimento
$\eta$	Eficiência do sistema de captação
$N^o$	Número

$N_a$	Número de veículos lavados anualmente
$N_d$	Número de veículos lavados diariamente
$n_e$	Número de funcionários no estabelecimento
$N_f$	Período em que o reservatório não atendeu à demanda
$N_m$	Número de veículos lavados mensalmente
$N_t$	Período total de tempo analisado
ONU	Organização das Nações Unidas
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
$Q_m$	Volume mensal produzido pela chuva
$Q(t)$	Volume de chuva aproveitável no tempo $t$
RS	Rio Grande do Sul
$P$	Precipitação da chuva
$P_a$	Precipitação média anual
$P_m$	Precipitação média mensal
$P_t$	Precipitação pluviométrica diária local
R\$	Reais
$S_i$	Volume de água armazenado no reservatório no tempo anterior
$S_{i+1}$	Volume de água armazenado no reservatório no tempo atual
$S^*_i$	Serviço básico cobrado pela CORSAN no ano em análise
$S(t)$	Volume de água no reservatório no tempo $t$
$T$	Valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
un	Unidade
$V$	Volume útil estimado para o reservatório
$V_a$	Volume anual de precipitação aproveitável
$V_c$	Volume de água aproveitável e o volume de água na cisterna
VPL	Valor Presente Líquido
$V_d$	Volume captável com descarte
$V_s$	Demanda diária de água por pessoa no vaso sanitário
$V_t$	Volume de água que está no tanque no fim do mês $t$
$V_{t-1}$	Volume de água que está no tanque no início do mês $t$
$V_{ta}$	Volume teórico possível de ser captado no tempo atual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
1.1.2	<b>Objetivo específico</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>13</b>
2.1	ESCASSEZ DE ÁGUA, DISPONIBILIDADE E DEMANDA PARA CONSUMO.....	13
2.2	OS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVAS .....	17
2.2.1	<b>Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuvas</b> .....	<b>27</b>
2.3	EXEMPLOS DE COLETA E DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS AO REDOR DO MUNDO .....	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
3.1	PRIMEIRA ETAPA: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS .....	36
3.2	SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
4.1	PRIMEIRA ETAPA: DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	47
4.2	SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL .....	58
4.2.1	<b>Análise econômica dos custos de uma lavagem de veículos utilizando a demanda de água proveniente da companhia de saneamento</b> .....	<b>59</b>
4.2.2	<b>Análise econômica dos custos junto a CORSAN utilizando sistema de aproveitamento pluvial</b> .....	<b>63</b>
4.2.3	<b>Projeção de custos de implantação e manutenção de um sistema de aproveitamento pluvial</b> .....	<b>64</b>
4.2.4	<b>Análise econômica e período de retorno</b> .....	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>79</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O intenso crescimento populacional, a acelerada urbanização e industrialização aumentaram as necessidades e o consumo mundial de água; exercendo pressão sobre esse recurso limitado. Somado ao aumento da demanda, a existência de irregularidades na distribuição espacial desse recurso já tem impactado negativamente países e regiões menos favorecidos geograficamente e/ou com menores condições financeiras e estruturais.

Globalmente, estima-se que mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países onde há relatos de estresse hídrico; o que é agravado pela falta de acesso a água potável segura. De fato, segundo um levantamento realizado em 2015 pela Organização Mundial da Saúde e pela Organização das Nações Unidas, a cada dez pessoas, três ainda não possuíam serviço de água potável de fácil acesso (UNESCO, 2019). Segundo o Conselho Mundial da Água, uma consequência direta dessa realidade é a perda anual de 4 milhões de vidas humanas, em função de doenças veiculadas pela ingestão de águas contaminadas (SILVA, 2006).

Se considerado locais com menor disponibilidade hídrica e menores condições financeiras, como é o caso do continente africano, a realidade é ainda mais alarmante. Nesse continente, no ano 2000, doze nações estavam em condição de incapacidade para suprir as necessidades hídricas mínimas de cada pessoa; sendo que até 2025, estima-se que dois terços da população local poderão sofrer tensão no suprimento de água (SELBORNE, 2001).

A irregularidade da distribuição da água entre os moradores de uma dada região está presente, inclusive, dentro de um mesmo país. No Brasil, por exemplo, não existe uma distribuição e disponibilidade de água potável de maneira igualitária entre a sua população. O último levantamento disponível sobre o Abastecimento urbano de água, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA), já apontava um risco de déficit no abastecimento de água em 2015, para até 55% da população da área urbana dos municípios brasileiros. Esse mesmo documento salientava, então, a necessidade de investimentos urgentes nos sistemas de produção de água potável de cerca de 84% das cidades do país (ANA, 2010a, 2010b).

Em nosso território, convém salientar que além das desigualdades distributivas, as populações que dependem do sistema público de abastecimento de água, enfrentam concorrências pelo seu uso; as quais ameaçam tanto a qualidade quanto a

disponibilidade desse recurso. Os conflitos de uso de demanda de água vêm crescendo a cada ano no Brasil, sendo o maior deles para fins agrícolas (ANA, 2018).

Essa realidade global de aumento no consumo de água e de sua escassez em diversas partes do mundo, tem favorecido o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para suprir parte das demandas por esse recurso; de forma a preservar o uso da água potável para fins mais nobres.

Nesse sentido, alguns países têm estabelecido normativas, orientações e incentivos nessa direção, e desenvolvido programas computacionais específicos para análises regionais mais precisas no auxílio ao dimensionamento de soluções sustentáveis para o uso da água.

Tais soluções, que ganham maior quantidade de adeptos na atualidade, estão relacionadas, sobretudo, à utilização da água pluvial; uma prática empregada há anos por diversas sociedades, nas mais variadas atividades, como por exemplo: irrigação, usos não-potáveis, ou mesmo, potáveis, desde que bem tratada.

Sem dúvida, a captação pluvial oferece importante contribuição à redução do déficit hídrico em termos quantitativos, destacando-se por sua simplicidade (SARI, et al., 2010). Os ganhos obtidos com a instalação de sistemas de coleta e aproveitamento de água pluvial incluem: o controle do escoamento, com consequente prevenção de enchentes e inundações; a oportunidade para a prática de educação ambiental; e a conservação da água potável para fins nobres, [contribuindo para a sustentabilidade ambiental] (LAGE, 2010).

Não obstante, a difusão desses sistemas depende, dentre outros fatores, da viabilidade técnica e econômica de sua implantação (SARI, et al., 2010). O fato é que, para viabilizar semelhante emprego existe a necessidade de armazenamento em volume suficiente para suprir a demanda para a qual se destina (TOMAZ, 2003). À primeira vista, isso parece algo muito simples; contudo, a implantação de um modelo de aproveitamento de água da chuva pode implicar um gasto inicial consideravelmente elevado, com retorno financeiro a longo prazo; esse fator dificulta ou desestimula muitas pessoas de investirem em tais práticas (LAGE, 2010).

Tendo em vista o colocado, entende-se a importância de estudos que se preocupem em analisar a viabilidade técnica e econômica de se implantar um sistema de aproveitamento de águas pluviais com base na finalidade de seu uso; de modo a se compreender se esse uso é técnica e economicamente possível.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho objetiva analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva, para atendimento de fins não potáveis em lavagens de carros, situada em um posto de combustível, levando em consideração o período de retorno financeiro para o investimento.

### 1.1.2 Objetivo específico

- Descrever a série histórica de precipitação, em milímetros de chuva, para a cidade de Santa Maria no período de 20 anos;
- Estimar o consumo de água não potável para lavagem de veículo em postos de combustíveis;
- Dimensionar o reservatório;
- Quantificar os materiais necessários para o abastecimento de água da chuva;
- Determinar o custo de instalação, operação e manutenção do sistema;
- Elaborar uma análise econômica da viabilidade em implantar o sistema de aproveitamento da água da chuva, com previsão de eficiência financeira se comparada com o modelo tradicional.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. ESCASSEZ DE ÁGUA, DISPONIBILIDADE E DEMANDA PARA CONSUMO

Vivemos em um planeta com aproximadamente 510 milhões de km<sup>2</sup> que, na sua grande maioria, são cobertos por água (TUNDISI, 2003). Ainda assim, não é rara a divulgação de notícias de pessoas sobrevivendo em condições de escassez hídrica e de falta de água potável.

O fato é que, de toda a água existente na Terra, 97,5% é salgada, sendo imprópria para consumo. Dos 2,5% da água doce disponível, aproximadamente 1,7% é retida em geleiras, enquanto que a maior parte do restante está em aquíferos subterrâneos. Destarte, a água potável de fácil acesso, como aquela em rios e lagos, reduz-se a menos de 0,1% (TUNDISI, 2003). À primeira vista, este valor é aparentemente baixo, no entanto, é suficiente para suprir, com folga, as necessidades de toda a população do planeta; ainda que a tendência seja de uma disponibilidade cada vez menor na ausência de medidas para preservação desse recurso. A esse respeito, informações do Programa Ambiental das Nações Unidas apontam que, em 1950, havia uma disponibilidade de cerca de 80.000 m<sup>3</sup>/ano de água doce por pessoa, tendo por base uma população mundial de 2,5 bilhões de habitantes. Ao passo que, em 2050, a previsão é de que esse número seja reduzido para 23.000 m<sup>3</sup>/ano/pessoa, considerando uma população mundial estimada em 9 bilhões de habitantes (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Considerado apenas os números brutos, a quantidade de água disponível por pessoa é relativamente elevada, tendo em vista que as necessidades básicas diárias de cada indivíduo requerem em torno de 110 litros/dia de água (BOS et al., 2017). Não obstante, o que preocupa é a disparidade distributiva da água doce pelo mundo. Locais como Oriente Médio e regiões da África do Sul e da Ásia, por exemplo, convivem com estado de estresse hídrico, sofrendo com a carência desse recurso (UNESCO, 2019). Enquanto isso, na América Latina estão as maiores porções de água doce do planeta, com três entre os dez países com maiores detenções de recursos hídricos: Brasil, Colômbia e Peru. Tal condição, contudo, não os isenta de problemas de outras naturezas; sobretudo, relativos à falta de acesso a saneamento básico melhorado e a infraestrutura planejada para esse fim, o que atinge cerca de

20% da população latino-americana (WORLD BANK GROUP, 2016; BANCO MUNDIAL, 2020).

Se os dados atuais são alarmantes, as próximas décadas apresentam projeções preocupantes em termos de consumo e de disponibilidade de água no mundo; especialmente, na inexistência de alternativas sustentáveis de consumo. As expectativas são de um aumento significativo nas demandas para a área da indústria, para a produção de energia e, principalmente, para o setor agrícola; de longe, um dos maiores captadores mundiais de água (atualmente, responsável por 70% da captação). De outro lado, a acelerada urbanização tem elevado as necessidades de abastecimento de água e de saneamento, contribuindo para a falta desse recurso em diferentes regiões (UNESCO, 2017).

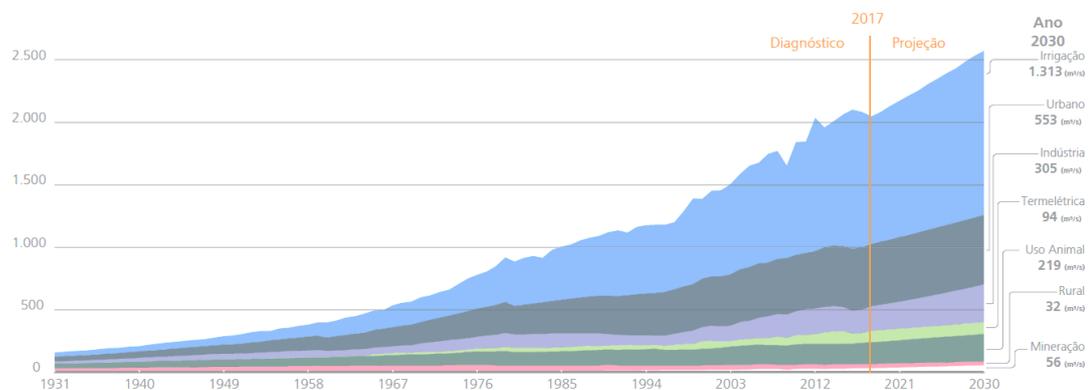
Na tentativa de minimizar e/ou reverter as projeções negativas de acesso mínimo necessário a água, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou, em março de 2018, os termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 – Água potável e saneamento. Na ocasião, foi implementada a “Década Internacional para Ação”, de 2018 a 2028, com o intuito de combater as desigualdades de acesso às necessidades básicas de água e de saneamento. Essa iniciativa foi estimulada por dados do Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos em 2017, que apontaram a existência de 844 milhões de pessoas em situação de carência de disponibilidade de água segura e limpa para uma vida decente (UNESCO, 2017).

Obviamente, diante de um panorama mundial de distribuição irregular da água, e considerando as fontes de água doce disponíveis no Brasil, cerca de 12% da reserva mundial, o país se encontra em uma posição bastante favorável. Porém, ainda que os números demonstrem o relativo “conforto” dessa nação se comparado a grande maioria da demais, a vasta extensão territorial gera uma distribuição bastante heterogênea entre os estados brasileiros. Em torno de 80% da água disponível no Brasil está localizada na região norte, que concentra apenas 5% da população; enquanto regiões litorâneas, que possuem mais de 45% da população, contam com menos de 3% dos recursos hídricos (GHISI, 2006; ANA, 2010a, 2010b; MMA; ANA, 2007).

Na intenção de se tecer uma análise mais adequada a respeito da captação e do destino da água doce brasileira, foi lançado, em 2017, o Relatório de Conjuntura

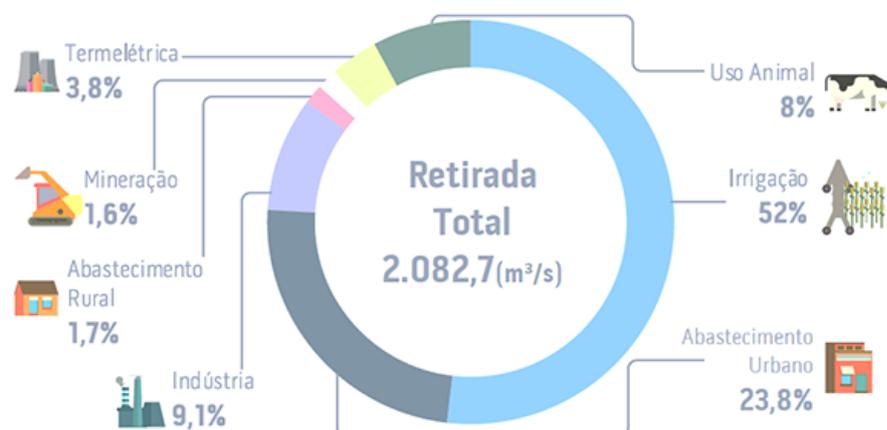
dos Recursos Hídricos no Brasil. Conforme estimativas desse documento, a manutenção do ritmo atual de desenvolvimento econômico e de acréscimo na urbanização no país, resultará em um aumento de 30% na demanda de água até 2030 (ANA, 2017); ultrapassando 2,5 milhões de litro por segundo (Figura 1). Em 2017, o país apresentava uma média de 2 milhões e 83 mil litros de água consumidos a cada segundo, sendo a maior parte desse consumo relacionada a agricultura irrigada (52%), seguido do abastecimento urbano (23,8%) e indústria (9,1%) (Figura 2) (ANA, 2019).

Figura 1 - Evolução da retirada de água no Brasil, por setor (1931-2030), em m<sup>3</sup>/s



Fonte: ANA, 2019.

Figura 2 - Demandas de uso da água no Brasil no ano de 2017, por setor (%) e total sem considerar a evaporação dos reservatórios

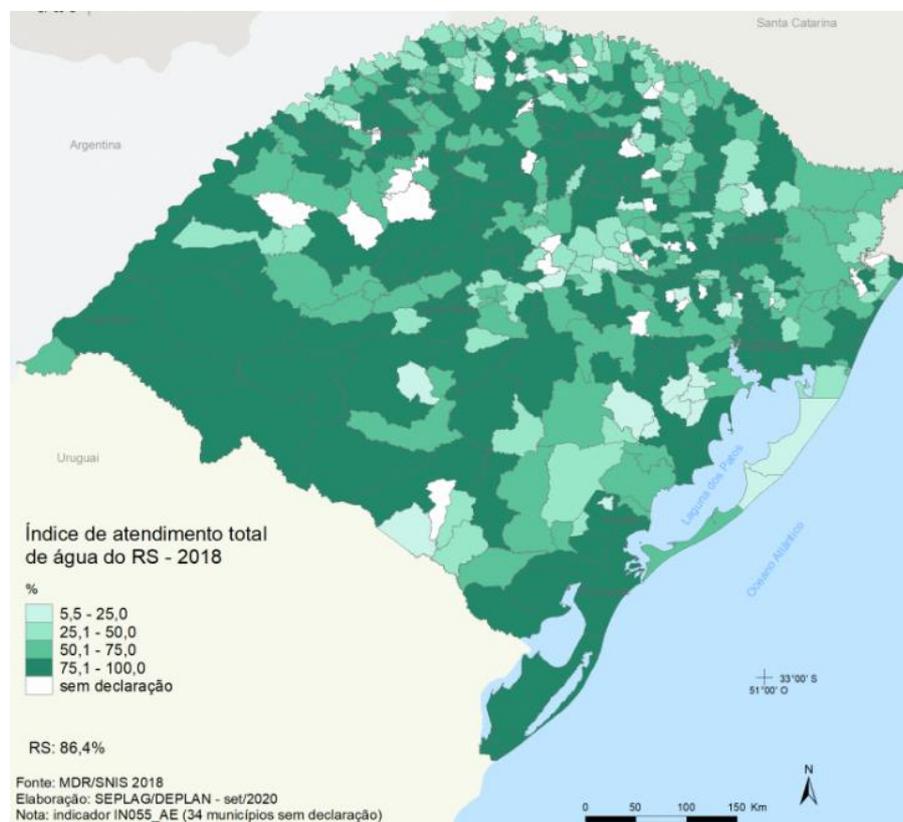


Fonte: adaptado de ANA, 2019.

Quando se fala, particularmente, da urbanização, a maior preocupação nesse quesito refere-se a um crescimento desordenado dos centros urbanos sem o mesmo ritmo de crescimento de suas estruturas; o que poderia influenciar no decaimento da qualidade da água. Estudos do Índice de Qualidade das Águas (IQA) apontam que 12% da água urbana é classificada como excelente, 63% boa, 13% regular e 12% ruim ou péssima (ANA, 2017).

No caso do Rio Grande do Sul (RS), na década de 50 aproximadamente 35% das pessoas viviam nas cidades, enquanto que no Censo de 2010 esse valor subiu para 85% (RIO GRANDE DO SUL, 2020a). E muito embora esse mesmo Censo coloque o estado em 6º lugar no país em termos de taxas de atendimento do serviço de abastecimento de água à sua população, com um percentual de aproximadamente 86% (Figura 3) (RIO GRANDE DO SUL, 2020b); ainda assim, mais de um milhão de pessoas não estão ligadas à rede geral de abastecimento de água, considerada a população de 2020 (IBGE, 2020).

Figura 3 - Abastecimento de água nos domicílios do RS em 2018



Fonte: MDR/SNIS, 2018.

Nos últimos anos, outro aspecto que tem chamado atenção no cenário nacional é o aumento do número de crises hídricas ocasionadas por secas e estiagens. Estima-se que, no período de 2013 a 2016, 48 milhões de brasileiros foram afetados por secas ou estiagens; com 4.824 eventos registrados e 2.783 municípios decretando Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, em sua grande maioria na região Nordeste (ANA, 2017).

Por outro lado, entre 2003 e 2016, 47,5% dos municípios do país declararam pelo menos uma vez Situação de Emergência em função de cheias, mais da metade deles do Sudeste e do Sul do Brasil. Especificamente entre 2013 e 2016, 7,7 milhões de brasileiros vivenciaram problemas relacionados a cheias (alagamentos, enxurradas ou inundações (ANA, 2017).

Levantamentos realizados pela ANA mostram que efeitos da ordem dos citados anteriormente, representaram 84% dos desastres naturais entre 1991 e 2012 no país, gerando prejuízos na casa do R\$ 182,7 bilhões (ANA, 2017).

Uma alternativa que pode minimizar os problemas dos períodos de secas, ao mesmo tempo em que pode contribuir para auxiliar na drenagem urbana, reduzindo inundações e alagamentos; é a ampliação do número de residências e estabelecimentos com sistemas de captação e aproveitamento da água pluvial para usos habitacionais e/ou comerciais.

Sem dúvida, o reaproveitamento de águas servidas residenciais e a captação de águas pluviais, representam medidas eficazes para o prolongamento e a conservação de mananciais hídricos (TOMAZ, 2003).

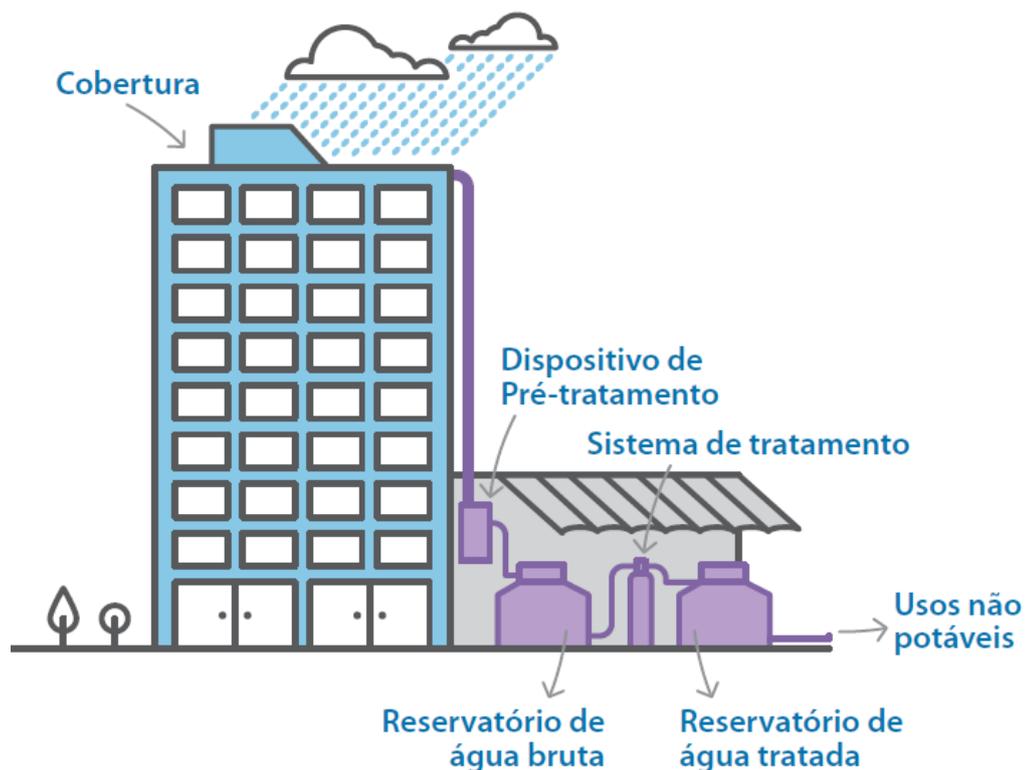
## 2.2. OS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO E DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVAS

Um sistema de aproveitamento da água de chuvas consiste na captação, no pré-tratamento, no armazenamento, no tratamento (se necessário) e, na posterior utilização da água precipitada sobre superfícies impermeáveis de edificações (Figura 4) (CBIC, 2019).

O ciclo de aproveitamento da água de chuvas tem seu início com uma bacia coletora, que normalmente é o telhado, e que servirá como captadora das precipitações. Após o escoamento pela bacia coletora, a água é reunida e direcionada

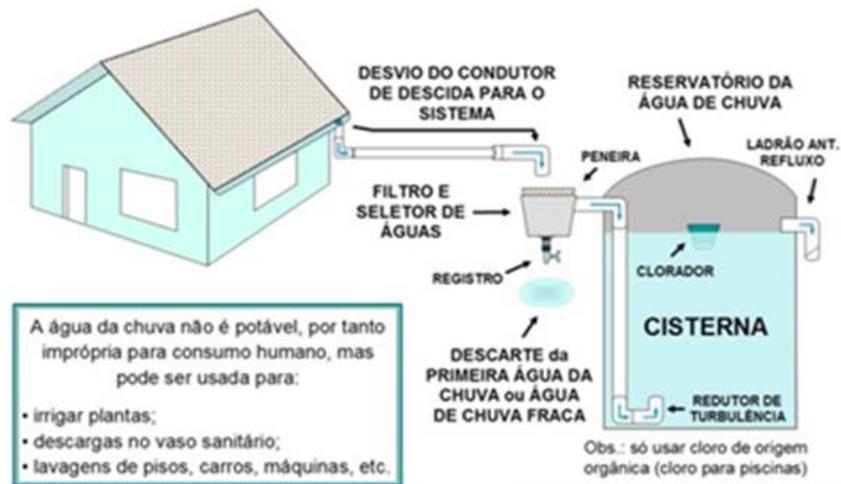
através de calhas e de coletores, até a etapa dos filtros, onde haverá uma peneiragem dos resíduos sólidos acumulados durante o período seco (folhas, galhos, insetos, etc.). Essa retenção/desvio de sólidos é importante para a prevenção do risco de deterioração da qualidade da água no interior do reservatório de armazenamento. Normalmente, uma pequena porcentagem inicial da água de chuvas é descartada em um separador. Isso por que, conforme CBIC (2019), essa água do escoamento inicial tende a ter concentrações maiores de impurezas suspensas e dissolvidas; possuindo, em geral, qualidade inferior (Figura 5). A penúltima etapa consiste em uma unidade de desinfecção, onde pode ser empregado algum produto como cloro ou ozônio. Por fim, a água é direcionada ao reservatório propriamente dito, uma cisterna por exemplo (Figura 6), que a acumulará para uso posterior.

Figura 4 - Elementos que constituem um sistema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: CBIC, 2019.

Figura 5 - Esquema de aproveitamento de água da chuva



Fonte: adaptado de "www.sempresustentavel.com.br".

Figura 6 - Esquema do projeto da tecnologia básica da mini cisterna



Fonte: www.sempresustentavel.com.br

De forma sucinta, o passo a passo para a instalação de um sistema de aproveitamento de águas de chuvas seria: analisar os índices pluviométricos da região, calcular qual o melhor sistema e suas dimensões, e instalá-lo na residência.

As últimas décadas evidenciaram esforços para a criação de legislações, principalmente municipais, direcionadas a aplicação de medidas para uso eficiente da água e para a utilização de fontes alternativas em edificações (CBIC, 2019); muito embora, poucas delas estabeleçam obrigatoriedades nesse sentido. De modo geral, as normativas existentes trazem diretrizes, orientações, critérios técnicos e requisitos para a implantação desses sistemas de aproveitamento.

A norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 16.782:2019 – Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes; abrange os principais aspectos relativos às práticas de conservação de água em edificações residenciais, comerciais, institucionais, de lazer e de serviços, englobando desde conceitos como balanço hídrico e indicadores de consumo até procedimentos de projeto, uso, operação e manutenção de sistemas hidráulicos prediais (ABNT, 2019b).

A ABNT NBR 16783:2019 – Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações; trata sobre instruções para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações (ABNT, 2019c).

Não obstante, a principal legislação sobre esse tema no Brasil é a norma ABNT NBR 15527:2019 — Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis- Requisitos; que apresenta conceitos, usos da água não potável permitidos, especificidades de sistemas hidráulicos, parâmetros de qualidade e necessidade de pré-tratamento das águas captadas (ABNT, 2019a).

No desenvolvimento do sistema de distribuição da água para os pontos de uso devem ainda ser atendidos os princípios e requisitos da norma ABNT NBR 5626:2020 – Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção (ABNT, 2020).

Além disso, para o dimensionamento das áreas de captação, das calhas, dos condutores verticais e horizontais devem ser observadas as diretrizes da ABNT NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989).

É também fundamental que sejam verificadas as diretrizes e as legislações municipais próprias aplicáveis sobre o tema, cumprindo suas exigências legais. Destaca-se, contudo que, ainda que não haja obrigatoriedade municipal da implantação de tais sistemas, é importante, ao menos, a realização de análise técnica e econômica de sua viabilidade (CBIC, 2019).

O custo de implantação de um sistema desse gênero dependerá das escolhas realizadas para os componentes que fazem parte desse sistema, tais como: i) o tipo de material utilizado na cobertura (fibrocimento, telha cerâmica, aluzinco, telha de concreto, fibra de vidro, etc.); ii) o tipo de calha (construída *in loco* ou pré-fabricada); iii) o tipo de material adotado para os condutores horizontais e verticais (alumínio, aço inoxidável, PVC, chapas de cobre, etc.); iv) o volume do reservatório a ser adotado e se será construído *in loco* ou pré-fabricado (alumínio, fibra de vidro, polietileno, etc.); v) a escolha pela implantação ou não dos dispositivos de filtragem e de descarte das primeiras águas, bem como o tipo de dispositivo escolhido (automático ou manual); vi) se necessária a implantação de sistemas de tratamento e desinfecção para o uso pretendido das águas captadas; entre outros.

Há que se considerar, ainda, a necessidade de análise da qualidade das águas coletadas, pois mesmo que a área impermeável seja nova e aparentemente limpa, ao escoar pelo telhado essas águas podem carregar diversas impurezas; que reduzirão sua qualidade, impedindo o seu uso imediato, mesmo para fins não potáveis (CHANG; CROWLEY, 1993).

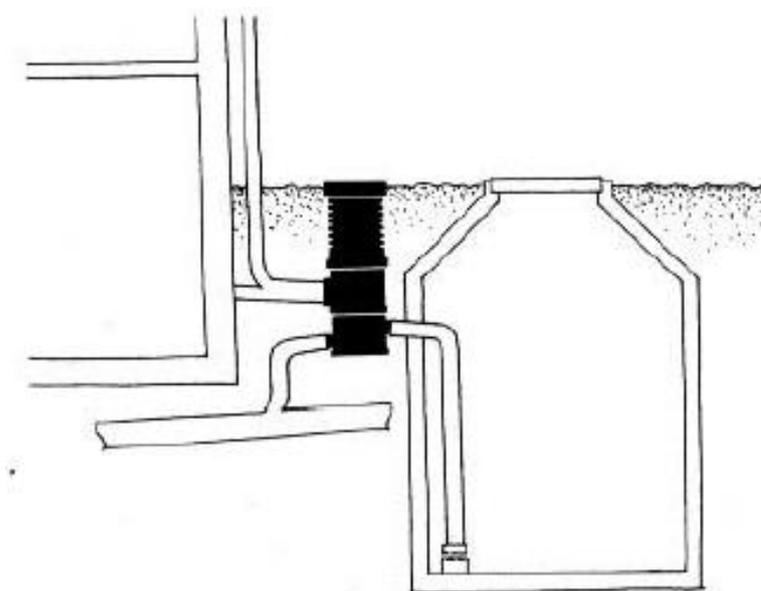
De fato, estudos demonstram, inclusive, que o tipo de material implantado na cobertura pode alterar a qualidade da água da chuva (TEIXEIRA et al., 2017). Além disso, essas águas podem também ser contaminadas com substâncias nocivas advindas da atmosfera, especialmente em centros urbanos com densidade populacional elevada. Nesses locais, o tráfego diário de grande número de veículos e as altas emissões de poluentes industriais podem piorar a qualidade da água de chuvas e reduzir seu pH. Algumas pesquisas em diferentes locais do mundo, constataram a presença de elementos como cobre, zinco, chumbo, cloro, alumínio, ferro e nitritos na água coletada da chuva (MORROW; DUNSTAN; COOMBES, 2010).

Sendo assim, independentemente de o uso final da água não ser para fins potáveis, é necessário que haja alguns cuidados mínimos para minimizar a contaminação da água coletada e, com isso, garantir a segurança do usuário. Em

locais onde os índices de poluição ambiental são baixos e estando a cobertura do estabelecimento que funcionará como bacia coletora bem conservada, é possível que apenas o descarte inicial de certa quantidade de água seja suficiente para garantir uma qualidade minimamente aceitável da água pluvial coletada. Ainda assim, para minimizar riscos e imprevistos futuros, em termos de saúde e de danos a bens materiais, o ideal é que se instale algum tipo de filtro no sistema coletor, para auxiliar na limpeza de possíveis impurezas dessa água. Nesse aspecto, as opções disponíveis no mercado são bastante variadas (ANDRADE NETO, 2013).

Entre os modelos disponibilizados, o filtro Vortex da empresa alemã Wisy, por exemplo, é instalado no ponto de união da tubulação que drena a água de chuva de diversos condutores verticais, e antes da conexão com o reservatório (Figura 7). Esse filtro separa a água de chuva coletada de impurezas como folhas, galhos, insetos e musgos, com pouca perda de água e exigência de manutenção mínima (AQUASTOCK, s.d).

Figura 7 - Esquema de posicionamento do filtro Vortex/Wisy para filtragem de impurezas



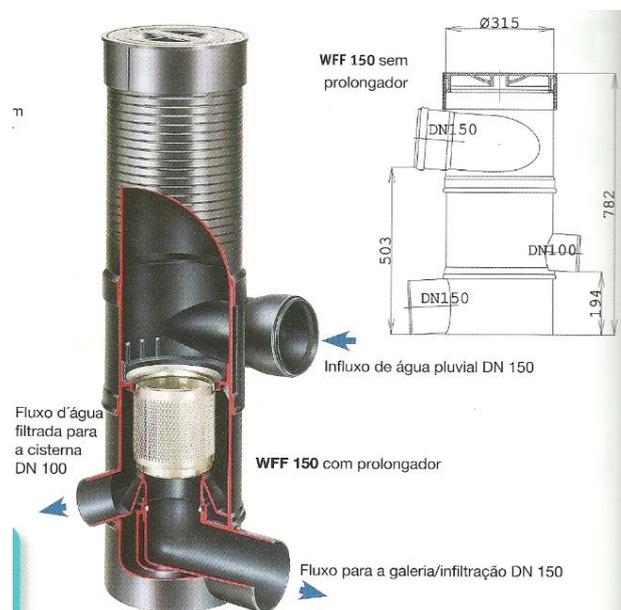
Fonte: Aquastock/Catálogo de Produtos.

Atualmente, há três modelos de filtro Vortex: o WFF 100, para áreas de captação de até 200 m<sup>2</sup>; o WFF 150, para áreas até 500 m<sup>2</sup> (Figura 8); e o WFF 300,

para áreas de até 3.000 m<sup>2</sup>. Tais filtros tem a capacidade de filtrar partículas de até 0,28 mm e de captar até 90% da água (AQUASTOCK, s.d).

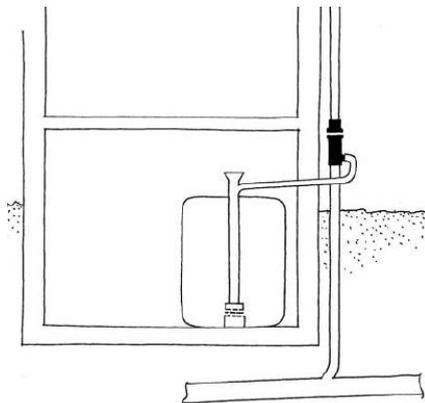
No caso da empresa Wisy, existem também os filtros de descida (Figura 9) que são instalados diretamente nos condutores verticais de descida dos telhados e filtram partículas de até 0,28 mm em áreas de no máximo 150 m<sup>2</sup>; captando 90% da água escoada. Esses filtros separam a água de chuvas de impurezas como folhas, galhos, insetos e musgo, que seguem pelo tubo normalmente (Figura 10).

Figura 8 - Filtro Vortex/Wisy, modelo WFF 150, para áreas de até 500 m<sup>2</sup>



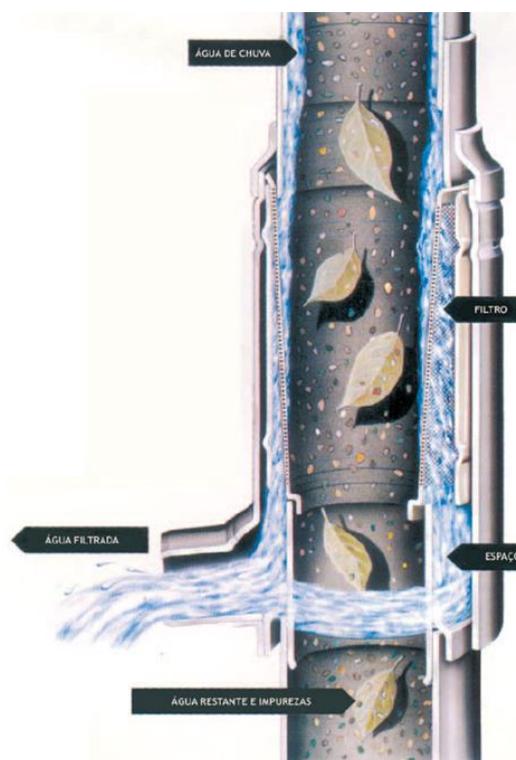
Fonte: Engeplas ([s.d.]).

Figura 9 - Esquema de instalação de um filtro de descida/Wisy



Fonte: Aquastock/Catálogo de Produtos.

Figura 10 - Esquema de funcionamento de um filtro de descida/Wisy



Fonte: Aquastock/Catálogo de Produtos.

Outro modelo de filtro Wisy são os filtros flutuantes de sucção, que são instalados ligeiramente antes (na tomada de água) da motobomba que faz a captação da água do reservatório para alimentar os pontos de consumo. Filtram impurezas que porventura ainda estejam no reservatório, garantindo a qualidade da água e evitando problemas com a bomba. Podem ser usados independente do pré-filtro, e também para água de reuso ou de poços. Conseguem eliminar partículas de até 0,3 mm, se adaptando a qualquer bomba. O flutuador esférico permite que o ponto da sucção acompanhe o nível de água, o que assegura que a água seja captada logo abaixo da superfície, onde está mais limpa (Figura 11; Figura 12).

Conforme já mencionado anteriormente, a qualidade da água também é um ponto que precisa de atenção quando se pretende utilizar a água pluvial, mesmo sendo o seu uso para fins não potáveis. Para o caso de lavagem de veículos, a norma NBR 15527:2019, coloca que o uso de água não potável é permitido desde que atinja parâmetros mínimos de qualidade referentes à turbidez, pH e coliformes, conforme

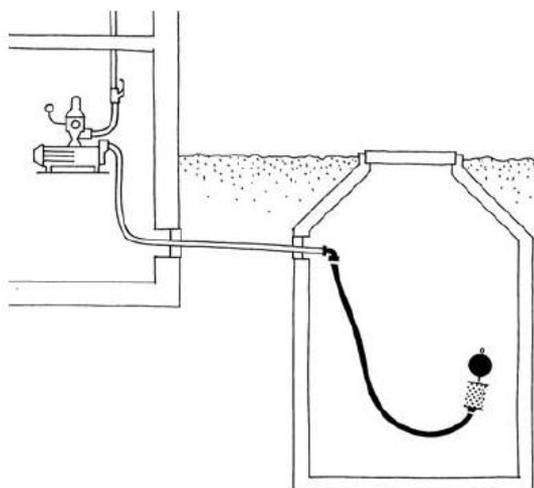
apresentado na Tabela 1. Em havendo necessidade, pode ser realizada a desinfecção da água mediante o uso de produtos como cloro, ozônio, entre outros (ABNT, 2019a).

Figura 11 - Filtro modelo flutuante/Wisy



Fonte: Aquastock/Catálogo de Produtos.

Figura 12 - Esquema de uso de Filtro Vortex/Wisy, modelo flutuante



Fonte: Aquastock/Catálogo de Produtos.

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis da água

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
Escherichia Coli	< 200/100 mL
Turbidez	< 0,5 uT
pH	6,0 a 9,0

Fonte: ABNT NBR 15527:2019.

A avaliação da adequabilidade da água de chuvas para o uso a qual se destina, é efetuada com periodicidade mínima semestral, por meio da análise laboratorial de uma amostra coletada da saída do reservatório de distribuição, ou na sua ausência, após o tratamento. Uma vez identificadas contaminações, a utilização será ser suspensa até que se encontre e elimine/resolva a causa do problema.

A norma NBR 15527:2019 prevê, igualmente, as frequências de manutenção necessárias para os principais componentes do sistema de aproveitamento de águas de chuva (Tabela 2), para que não ocorram imprevistos durante a utilização dessa água e para se preservar o correto funcionamento desse sistema ao longo de toda a sua vida útil (ABNT, 2019a).

Tabela 2 - Frequência de manutenção do sistema

<b>Componentes</b>	<b>Frequência de manutenção</b>
Dispositivos de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivos de descarte das primeiras águas (se existir)	Inspeção mensal Limpeza mensal
Calhas*	Inspeção semestral Limpeza quando necessário
Área de captação, condutores verticais e horizontais	Inspeção semestral Limpeza quando necessário
Dispositivos de desinfecção	Inspeção mensal
Bombas	Inspeção mensal
Reservatórios	Inspeção anual Limpeza quando necessário

Fonte: ABNT NBR 15527:2019.

### 2.2.1. Dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuvas

Quando se pretende utilizar um sistema de aproveitamento de águas pluviais, há que se considerar que existem incertezas associadas ao seu dimensionamento, as quais podem influenciar diretamente na sua eficiência, tais como: i) a correta identificação das demandas de uso a serem atendidas, para as quais ainda não há estimativas de valores de consumo para a realidade brasileira, sendo utilizados estudos internacionais para essas determinação; ii) a confiabilidade dos dados pluviométricos utilizados no dimensionamento do volume potencialmente captável e, a suposição da condição de estacionariedade da série histórica, assumida durante o dimensionamento; iii) as manutenção das características de qualidade da água pluvial armazenada, assumida para os usos propostos; iv) a eficiência dos sistemas de pré-tratamento implantados; entre outros.

Parte dessas incertezas podem ser minimizadas pelo emprego de metodologias adequadas de dimensionamento, aliadas a análises de viabilidade técnico-econômicas. Atualmente, existem diferentes métodos e até mesmo *softwares*, que podem auxiliar nesse processo.

Entre os *softwares* pode-se destacar: o REZZ, apresentado por Moruzzi e Oliveira (2010); o Método da Simulação Computacional, descrito por Tomaz (2003); o modelo computacional *Storm water* apresentado por Jones e Hunt (2010) e; o Algoritmo Netuno, de Ghisi e Cordova (2014).

Já entre os métodos de cálculo disponíveis para determinação do volume do reservatório de armazenamento, pelo projetista, estão (CARVALHO JUNIOR, 2017; CARDOSO, 2018; TOMAZ, 2003; VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2019):

- Diagrama de Rippl - desconsidera o volume já existente no reservatório, utilizando séries históricas de precipitações, que são transformadas em vazões para alimentação do reservatório (equação (1); equação 2). Alguns dos dados necessários para o cálculo por esse método são: demanda média de água pluvial, área da superfície de captação e coeficiente de *runoff*;

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

$$Q(t) = C * P * A \quad (2)$$

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

$$\text{Sendo que: } \sum D(t) < Q(t)$$

Onde:

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

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

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

$C$  = coeficiente de escoamento superficial

$P$  = Precipitação da chuva

$A$  = Área de captação ( $m^2$ )

- Método Prático Azevedo Neto - não considera a demanda (equação 3; equação 4);

$$P_a = \frac{CMM}{1} \quad (3)$$

$$V = 0,042 * P_a * \frac{1}{1000} * A * T \quad (4)$$

Onde:

$P_a$  = precipitação média anual (mm)

$CMM$  = chuva média mensal (mm)

$V$  = volume útil estimado para o reservatório

$T$  = valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca

- Método Prático Alemão - não considera o período de estiagem (equação 5);

$$V_{adotado} = \text{mínimo entre } (V_a \text{ e } D_a) * 0,06(6\%) \quad (5)$$

Onde:

$V_a$  = volume anual de precipitação aproveitável (L)

$D_a$  = demanda anual de água não potável (L)

- Método Prático Inglês - não considera a demanda, nem o período de estiagem (equação 6);

$$V_c = 0,05 * P_a * A \quad (6)$$

Onde:

$V_c$  = volume de água aproveitável e o volume de água na cisterna (L)

- Método Prático Australiano - considera o intervalo de tempo mensal, período muito grande para dimensionamento de pequenos reservatórios (equação 7; equação 8; equação 9; equação 10)

$$Q_m = (A * C * (P_m - I))/1000 \quad (7)$$

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (8)$$

$$F = \frac{N_f}{N_t} \quad (9)$$

$$C_s = 1 - F \quad (10)$$

Onde:

$P_m$  = precipitação média mensal (mm)

$I$  = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação

$Q_m$  = volume mensal produzido pela chuva ( $m^3$ )

$Q_t$  = volume mensal produzido pela chuva no mês  $t$  ( $m^3$ )

$V_t$  = volume de água que está no tanque no fim do mês  $t$  ( $m^3$ )

$V_{t-1}$  = volume de água que está no tanque no início do mês  $t$  ( $m^3$ )

$D_m$  = demanda mensal ( $m^3$ )

$F$  = falha no atendimento à demanda

$C_s$  = confiança ou eficiência no atendimento à demanda

$N_f$  = período (número de dias) em que o reservatório não atendeu à demanda

$N_t$  = período total de tempo analisado

- Método de Simulação - é o método mais empregado e aceito para o dimensionamento, apresentando o volume calculado para o intervalo de tempo dos dados de precipitação (minutos, horas, dias). Esse método considera o percentual de consumo necessário em função do tamanho do reservatório,

sendo possível determinar a eficiência do sistema (equação (11); equação 12; equação 13).

$$S_{i+1} = S_i + V_{ta} - D_{i+1} \quad (11)$$

$$F = \frac{N_f}{N_t} \quad (12)$$

$$C_s = 1 - F \quad (13)$$

Onde:

$S_{i+1}$  = volume de água armazenado no reservatório no tempo atual (L)

$S_i$  = volume de água armazenado no reservatório no tempo anterior (L)

$V_{ta}$  = volume teórico possível de ser captado no tempo atual (L)

$A$  = área de captação de água da chuva ( $m^2$ )

$D_{i+1}$  = demanda no tempo atual(L)

### 2.3. EXEMPLOS DE COLETA E DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS AO REDOR DO MUNDO

Coletar água da chuva, provavelmente, seja a prática mais antiga em uso no mundo para lidar com as necessidades de abastecimento de água (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016). Nos tempos atuais, em vários países, essa prática é relativamente comum, recebendo incentivos governamentais e financeiros a sua adoção. Em outra parte deles, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais representam uma esperança para lidar com a escassez hídrica e reduzir a condição de pobreza da sua população.

Na África, por exemplo, onde há um número expressivo de pessoas vivendo em situação de pobreza extrema, tem sido desenvolvido sistemas comunitários experimentais de captação e de aproveitamento da água da chuva, em pequenos assentamentos urbanos. Nesses locais, as precipitações são coletadas em grandes tanques de armazenamento, na busca de se beneficiar o maior número possível de famílias. A implantação de tais sistemas se dá, principalmente, em função do incentivo de organizações não governamentais, como a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (CAMPISANO et al., 2017).

Na Alemanha, em função da Copa do Mundo de 2006, ocorreu a implantação do Programa Ambiental Green Goal (“Gols Verdes”), por meio de uma parceria do governo alemão com a Federação Internacional de Futebol (FIFA) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Entre os objetivos desse programa incluía-se o desejo de redução dos gastos com água pela instalação de sistemas de captação e de armazenamento da água pluvial escoada em 7 estádios de futebol; sendo alguns deles capazes de conter em torno de 3000 m<sup>3</sup> de água (LAGE, 2010). Nesse país, o incentivo ao aproveitamento da água pluvial para uso residencial é um dos maiores no mundo; quase um terço dos novos edifícios construídos são equipados com sistema de coleta pluvial (CAMPISANO et al., 2017).

Atualmente, o Japão é uma das nações que faz grandes investimentos em captação da água da chuva. Em cidades maiores, como Tóquio por exemplo, existem duas razões principais para esse interesse. Primeiro, pelo fato de que essas cidades são majoritariamente pavimentadas, o que impede a infiltração da água no solo; isso favoreceria, por sua vez, a ocorrência de inundações e de alagamentos. Segundo, em função dessas cidades estarem consideravelmente distantes dos reservatórios de abastecimento de água. Diante desse cenário, os sistemas para uso de água da chuva e as valas de infiltração representam alternativas eficientes para a solução desses entraves. Em várias cidades do país, há incentivos governamentais, inclusive financeiros, para a implantação de tais sistemas (MAY, 2004).

Outro lugar com amplo investimento de recursos nessa área, é a Austrália. Cerca de 1,7 milhões de famílias australianas possuem tanques para armazenamento da água de chuva instalados em suas residências, segundo o *Australian Bureau of Statistics* (2013). Contribuem para o crescimento desses números: regulamentações hídricas específicas; incentivos do governo, com diminuição de custos de tanques de armazenamento; restrições hídricas impostas pelas autoridades; etc. Nesse país, a maior adesão aos sistemas ocorreu, sobretudo, em áreas fora das capitais; onde a economia de água chegou a 67% em determinadas regiões (UMAPATHI; CHONG; SHARMA, 2012).

No Brasil, embora o aproveitamento da água de chuva ainda não seja uma prática comum, algumas regiões do país têm desenvolvido projetos nessa direção. Nos municípios do Nordeste, em específico, o Programa Um Milhão de Cisternas

(P1MC) já instalou/construiu mais de 420.000 cisternas, com o objetivo de possibilitar o acesso da população local à água potável (CARDOSO, 2018).

Outra iniciativa no cenário brasileiro são os postos ecoeficientes de parte da rede Ipiranga. Desde 2009, a Ipiranga tem incentivado a implantação de postos com uma política de sustentabilidade ambiental. Em termos de preservação da água, foram adotadas medidas como: instalações de chuveiros e torneiras com fechamento automático; descargas com fluxo de água controlada; e sistemas de aproveitamento da água de chuvas a partir das coberturas das edificações e das pistas. Essa água após o tratamento adequado, é reutilizada em descargas sanitárias, rega de jardins, limpeza da pista e lavagem de veículos, produzindo uma economia de água de até 71%. Atualmente, esses sistemas de aproveitamentos estão implantados nas localidades de Campo Grande, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Ourinhos, Cruz Alta, Santa Maria, Cascavel, Governador Valadares, Londrina e no edifício sede da rede, no Rio de Janeiro (HOMEPAGE IPIRANGA).

A exemplo de outros países, cabe aos órgãos governamentais e às instituições do Brasil ampliar o incentivo e a conscientização da população sobre os benefícios em se utilizar água proveniente da chuva, tanto em áreas comerciais e públicas, como residenciais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em um primeiro momento, foi realizado um *checklist* aplicado em 24 postos de combustíveis, localizados na cidade Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul (RS), durante o período de março a novembro de 2020.

O *Checklist* em questão foi utilizado para levantar informações sobre a área coberta e o tipo de telhado implantado em cada estabelecimento investigado, a presença ou não de lavagem de veículos e, em caso afirmativo, o número diário de clientes, os valores médios pagos pela água consumida da companhia de saneamento local, a presença ou não de fontes alternativas de abastecimento e a existência ou não de sistemas de aproveitamento pluvial (Figura 13).

Os dados levantados embasaram o cálculo de uma média das demandas desses postos e nortearam a escolha do estabelecimento mais adequado para o estudo de caso em questão, sendo as informações utilizadas como base para o estudo da viabilidade técnica e econômica da implementação do sistema de aproveitamento pluvial.

O Posto escolhido foi o Rede Sim, localizado na BR – 287, número 8589, bairro Camobi, Santa Maria-RS (Figura 14), que possui uma área privativa de aproximadamente 4.770 m<sup>2</sup> (Figura 15) e uma área coberta de 1.250,50 m<sup>2</sup>. A área coberta é dividida em três estabelecimentos: cobertura sobre a pista do posto, com 416,00 m<sup>2</sup>, Mademax Pneus, com 383,5 m<sup>2</sup> e uma área compartilhada entre a lanchonete Sim e Racer Point, com 451,00 m<sup>2</sup>.

A opção por esse local se deu em função de se tratar de um estabelecimento com grande fluxo de clientes, com facilidade de acesso, com uma variedade de serviços ofertados, incluindo serviços de conveniência, e com uma área coberta significativa para implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuvas, que ainda não é utilizado nesse posto.

Salienta-se que, apesar de ainda não haver um serviço de lavagem de veículos disponibilizado nesse posto, os custos e os cálculos de implantação de uma lavagem não foram considerados nessa análise por não ser foco desse trabalho. Da mesma maneira, não foi realizado o dimensionamento das instalações prediais de águas pluviais (calhas e condutores verticais e horizontais) ou cálculos de custos de sua instalação, já que esses dispositivos já estão presentes nas edificações de tal estabelecimento.

Figura 13 - Checklist para pesquisa de postos

**Pesquisa sobre possibilidade de aproveitamento de água pluvial**

Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Civil UFSM  
Maxwell Moro Novato - 55 99925 6072

Posto: \_\_\_\_\_

Localização: \_\_\_\_\_

Qual a demanda/gastos mensal?  
Média das contas de água dos últimos 6 meses \_\_\_\_\_

Área disponível para captação da  
água da chuva \_\_\_\_\_

Qual o tipo de telhado  
implantado? \_\_\_\_\_

Possui algum sistema pluvial de  
captação de água? \_\_\_\_\_

Há registro do consumo de água  
para fins não potáveis?  
Possui quantos funcionários?  
Possui cozinha, banheiro? \_\_\_\_\_

Possui lava jato? \_\_\_\_\_

Há registro do consumo no lava  
jato? (água ou nº de veículos) \_\_\_\_\_

OBSERVAÇÕES  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fonte: Autor.

Sendo assim, o escopo desse estudo de caso voltou-se a previsão dos custos dos materiais necessários, especificamente, para um sistema de aproveitamento de água de chuvas, a partir de uma rede pluvial de coleta já existente.

Figura 14 - Mapa de Santa Maria



Fonte: adaptado de Google Maps.

Figura 15 - Limites do terreno do Posto Rede Sim



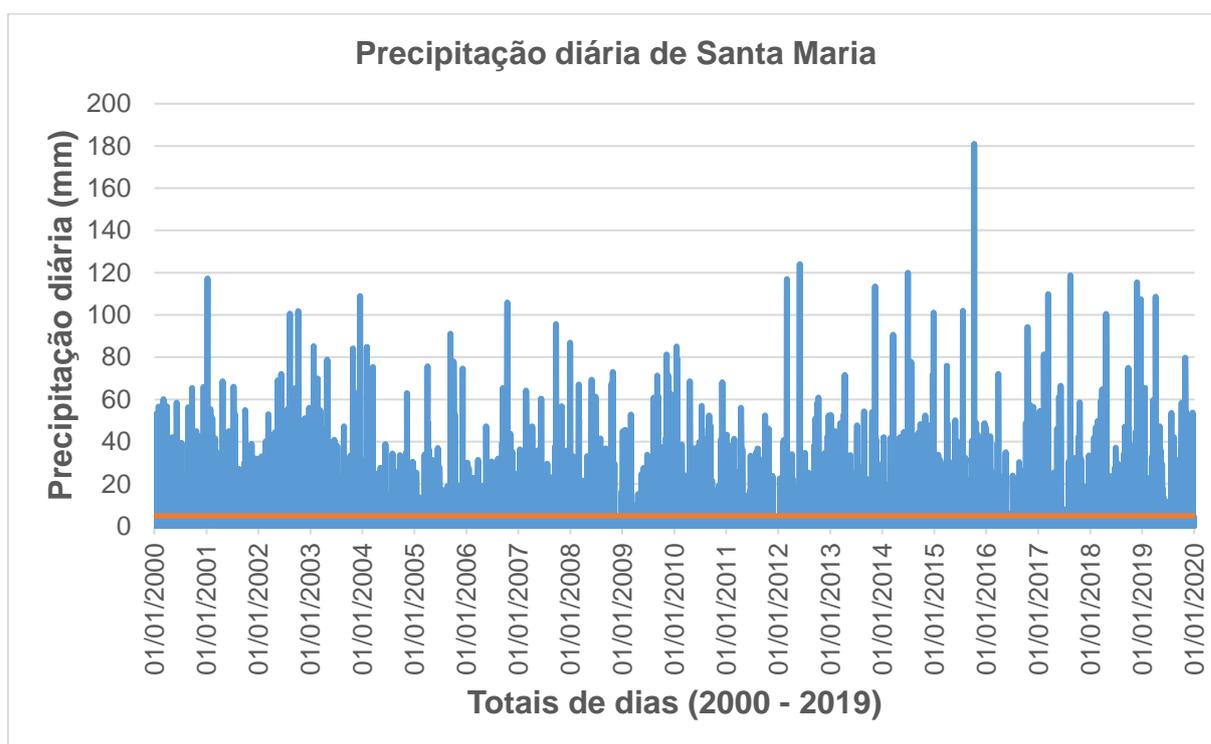
Fonte: adaptado de Google Earth.

Destarte, a execução desse trabalho foi efetuada em duas etapas: i) dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais, utilizando o método da simulação por meio de planilha excel; e ii) análise da viabilidade técnica e econômica da implantação desse sistema, mediante levantamento de custos da sua implantação, projeções tarifárias futuras junto a companhia de saneamento, estimativas de economia de água com o uso do sistema pluvial com diferentes volumes de reservatórios, e projeções do melhor custo-benefício.

### 3.1. PRIMEIRA ETAPA: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para dimensionar o reservatório de armazenamento do sistema de aproveitamento pluvial levantou-se a série histórica pluviométrica diária da cidade de Santa Maria, utilizando dados do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação escolhida para essa análise está localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, latitude -29,72 e longitude -53,72, que se encontra a uma distância de 1,8 km do posto Rede Sim. Esta estação está em operação desde janeiro de 1912, sendo escolhido para esse estudo os dados diários de 2000 a 2019, totalizando 7.278 dias e 20 anos de dados (Figura 16).

Figura 16 - Precipitação anual em Santa Maria (mm)



Fonte: Autor.

Segundo a classificação de Köppen (1931), assim como todo o estado do Rio Grande do Sul, Santa Maria encontra-se no tipo climático Cf, temperado chuvoso, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Com relação a variação climática, a cidade

é classificada como Cfa, com temperatura média anual de 19,45°C, e uma umidade relativa de 77,48% segundo os dados do INMET no período de análise. Pode-se destacar ainda, que a região não apresenta estações com déficit hídrico, tendo índice de aridez (Ia) igual a zero (KUICHTNER; BURRIOL, 2001).

Na determinação do volume teórico possível de ser captado, a NBR 15527:2019 recomenda que seja considerada a eficiência do sistema de captação em relação ao pré-tratamento, em razão das perdas de água na filtragem dos materiais grosseiros e do descarte inicial das primeiras águas. O volume captável de chuva no estabelecimento pode ser determinado pela equação (14) (ABNT, 2019a).

$$V_d = P_t * C * A * \eta \quad (14)$$

Onde:

$V_d$  = volume captável com descarte (L)

$P_t$  = Precipitação pluviométrica diária local (mm)

$C$  = é o coeficiente de escoamento superficial da área da cobertura (*runoff*), nesse caso, adotado como igual a 1

$A$  = área de captação (m<sup>2</sup>)

$\eta$  = eficiência do sistema de captação, levando em consideração o dispositivo de descarte de sólidos e os desvios de escoamento inicial (*first-flush*), quando este último for utilizado

Conforme recomendação da NBR 15527:2019 considerou-se a eficiência do sistema de captação de 0,85; valor sugerido para a situação em que não se conhece a eficiência por dados do fabricante dos filtros. Em dias onde a chuva não ultrapassou os 2 mm, o volume aproveitável adotado foi nulo, já que o descarte inicial recomendado pela referida norma é de 2 mm da chuva (ABNT, 2019a). Para os dias com precipitação superior a 2 mm considerou-se o descarte inicial atendido dentro do coeficiente de eficiência  $\eta$ , visto que esse coeficiente abrange tanto a eficiência dos filtros, como o descarte inicial de chuva.

Como o posto em estudo ainda não possui serviço de lavagem de veículos, a demanda de água mensal gasta, por veículo, para essa atividade, foi estimada com

base no consumo médio mensal de um estabelecimento de lavagem de veículos situada em Santa Maria. O local tomado como referência faz uso de água proveniente apenas da rede de abastecimento, sendo o consumo de água mensal relativo à atividade de lavagem de veículos e também, ao consumo diário no lavatório e no vaso sanitário e ainda, para a hidratação pessoal de dois funcionários.

Em razão desses múltiplos usos, para a determinação do consumo médio de água na lavagem de um veículo, descartou-se do consumo médio mensal do estabelecimento tomado como referência, o equivalente ao consumo diário dos dois funcionários da empresa para essas demandas no lavatório, no vaso sanitário e para a hidratação. O consumo diário para essas demandas foi estimado com base na equação (15) e, por fim, o volume de água consumido por um veículo foi, então, determinado pela equação (16).

$$D_f = (V_s * ne * F_u) + (B * ne * F_u) + (H_i * ne * F_u) \quad (15)$$

Onde:

$D_f$  = demanda diária de água pelos funcionários (L)

$V_s$  = demanda diária de água por pessoa no vaso sanitário (L)

$ne$  = número de funcionários no estabelecimento

$F_u$  = frequência de uso

$B$  = demanda diária de água por pessoa no lavatório do banheiro (L)

$H_i$  = demanda diária de água por pessoa para hidratação (L)

$$C_v = \frac{C_t - D_f * 21 \text{ dias úteis}}{N_m} \quad (16)$$

Onde:

$C_v$  = consumo de água necessário para a lavagem de um veículo (L)

$C_t$  = consumo total de água mensal da CORSAN (L)

$N_m$  = número de veículos lavados mensalmente

A estimativa de consumo pelos aparelhos sanitários foi efetuada com base nas normas ABNT para ensaios relacionados a cada tipo de equipamento. Segundo a

norma NBR15491:2010 – Caixa de descarga para limpeza de bacias sanitárias – requisitos e métodos de ensaio, considerou-se o pior caso de consumo, de 7,6 L descarregados por acionamento em uma caixa convencional (ABNT, 2010). Outra fonte de demanda, a pia, seguiu as definições da norma NBR10281:2015 – torneiras – requisitos e métodos de ensaio, que estipula uma vazão mínima de 0,04 L/s em torneiras para pias de cozinha e de lavatórios (ABNT, 2015).

No caso do consumo pra hidratação, considerou-se a demanda diária de 2 L por pessoa (SERGIPE, 2020).

A determinação do número médio de veículos lavados mensalmente foi realizada tendo por base o checklist realizado nos 24 postos analisados na cidade de Santa Maria, que possuíam resposta positiva a oferta desse serviço de lavagem. Para determinar a demanda de água total consumida na lavagem dos veículos, considerou-se que o posto ficasse aberto para atendimento ao público apenas em dias úteis (21 dias/mês).

A demanda total diária de água consumida na lavagem dos veículos pode ser calculada pela equação (17):

$$D_1 = N_d * C_v \quad (17)$$

Onde:

$D_1$  = demanda diária de água para lavagem de veículos (L)

$N_d$  = número de veículos lavados diariamente

A escolha do volume mais adequado para o reservatório de armazenamento foi definida a partir de projeções comparativas entre 5 capacidades diferentes (15.000 L, 20.000 L, 25.000 L, 27.500 L e 30.000 L), que levaram em consideração a relação custo *versus* benefício, tendo por base a eficiência no atendimento da demanda e também, os custos para aquisição/implantação do reservatório e do sistema de aproveitamento resultante.

Os cálculos da eficiência no atendimento da demanda, para cada volume de reservatório analisado, foram realizados tendo por base o método da simulação, sugerido em Tomaz (2003). Como mencionado anteriormente, esse método analisa a

relação entre o tamanho do reservatório e a eficiência do sistema no atendimento da demanda. Dessa forma, o volume no intervalo de tempo atual é dado pela equação (11), descrita anteriormente:

$$S_{i+1} = S_i + V_t - D_{i+1} \quad (11)$$

Onde:

$S_{i+1}$  = volume de água armazenado no reservatório no tempo atual (L)

$S_i$  = volume de água armazenado no reservatório no tempo anterior (L)

$V_t$  = volume teórico possível de ser captado no tempo atual (L)

$A$  = área de captação de água da chuva (m<sup>2</sup>)

$D_{i+1}$  = demanda no tempo atual(L)

Caso essa equação resulte em um volume armazenado menor do que a demanda, contabiliza-se um dia de falha no atendimento à demanda, sendo necessário o consumo pela companhia de saneamento. Já quando o volume teórico captável supera a capacidade de armazenamento do reservatório, registra-se um dia de extravasamento e, nesse caso, o volume armazenado será igual ao volume do reservatório (capacidade máxima de armazenamento).

A última etapa do dimensionamento consiste em observar a eficiência do sistema no atendimento à demanda, para cada um dos volumes de reservatório analisado. Essa eficiência (equação (12)) é determinada em função da falha no atendimento à demanda (equação(13)), conforme equações descritas a seguir (TOMAZ, 2003):

$$C_s = 1 - F \quad (12)$$

$$F = \frac{N_f}{N_t} \quad (13)$$

Onde:

$F$  = falha no atendimento a demanda

C = confiança ou eficiência no atendimento a demanda

$N_f$  = período (número de dias) que o reservatório não atendeu a demanda

$N_t$  = período total de tempo analisado

### 3.2. SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para a análise da viabilidade do ponto de vista financeiro, em um primeiro momento, buscou-se fazer uma estimativa de aumentos futuros nas taxas cobradas pela companhia de saneamento de Santa Maria (CORSAN). Para isso, inicialmente realizou-se uma verificação das variações de valores das tarifas nos últimos 6 anos, tanto do serviço básico, como do preço base do m<sup>3</sup> (Tabela 3). Como o posto que envolve a pesquisa possui área privativa maior que 100 m<sup>2</sup>, enquadra-se na tarifa empresarial, categoria comercial.

Tabela 3 - Tabela tarifária da CORSAN em 2015

Tarifa	Categoria	Água			Esgoto	
		Preço base (R\$/m <sup>3</sup> )	Serviço básico (R\$)	Tarifa mínima sem hidrom. (R\$)	Coletado Preço m <sup>3</sup>	Tratado Preço m <sup>3</sup>
Social	Bica Pública	2,11	8,35	29,45	1,06	1,48
	Resid. A e A1	1,78	8,35	26,15	0,89	1,25
	m <sup>3</sup> excedente	4,40	-	-	2,20	3,08
Básico	Residencial B	4,40	20,83	64,83	2,20	3,08
Empresarial	Comercial C1	4,40	20,83	64,83	2,20	3,08
	m <sup>3</sup> excedente	5,00	-	-	2,50	3,50
	Comercial	5,00	37,17	137,17	2,50	3,50
	Pública	5,00	74,24	174,24	2,50	3,50
	Industrial	5,68	74,24	262,94	2,84	3,98

Fonte: CORSAN, 2015.

Na projeção do consumo de água para lavagem e gastos com a companhia de saneamento sem sistema de aproveitamento pluvial, considerou-se que, durante os 12 meses do ano, a média da demanda diária de lavagens mantenha-se a mesma. A partir dessa suposição, é possível encontrar o número total de veículos lavados anualmente pela equação (18); prevendo os consumos anuais pela equação (19), consideradas as variações tarifárias da CORSAN. Por fim, por meio da equação (20), pode-se comparar os custos totais na lavagem de veículos ao final do período de análise.

$$N_a = N_d * 21 \text{ dias} * 12 \text{ meses} \quad (18)$$

$$C_a = \frac{N_a * C_v}{1000} \quad (19)$$

Onde:

$N_a$  = número de veículos lavados anualmente

$C_a$  = consumo de água anual para lavagem de veículos ( $m^3$ )

$$G_a = (C_a * M_i) + (S_i^* * 12 \text{ meses}) \quad (20)$$

Onde:

$G_a$  = custo total anual apenas em lavagem de veículos (R\$)

$M_i$  = preço base do  $m^3$  cobrado pela CORSAN no ano em análise (R\$/ $m^3$ )

$S_i^*$  = serviço básico cobrado pela CORSAN no ano em análise (R\$)

A projeção de gastos com o sistema de aproveitamento de águas pluviais está relacionada a todos os parâmetros que envolvem a instalação do sistema, desde a parte construtiva até a relação custo *versus* benefício de cada sistema. Tendo em vista que a maior parcela dos gastos na implantação do sistema diz respeito ao reservatório de armazenamento e que, cada reservatório resultará em uma eficiência no atendimento da demanda, considerou-se nessas análises a projeção média de falhas anual de cada volume do reservatório entre os anos 2000 e 2019. Assim foi possível prever quantos dias por ano, em média, o sistema de aproveitamento não

seria capaz de suprir a demanda, sendo necessário o uso de água da CORSAN. A partir disso, estimou-se o gasto inicial de cada sistema e das manutenções necessárias, bem como, os gastos com a companhia de saneamento. Posteriormente, foi realizado um comparativo entre os diferentes volumes de reservatórios analisados.

A contabilização do material hidráulico necessário para a implantação do sistema de aproveitamento pluvial levou em consideração a estrutura já existente no local. Portanto, executou-se apenas um quantitativo dos materiais necessários para direcionar as tubulações pluviais já existentes para o reservatório de armazenamento de águas pluviais, identificando-se as conexões e as tubulações necessárias; além do módulo de descarte inicial das primeiras águas, do filtro de materiais grosseiro, e do reservatório.

Também foram contabilizados os custos com as manutenções periódicas mínimas sugeridas pela NBR 15527:2019 (ABNT, 2019a) para sistemas de aproveitamento pluvial, elencadas na Tabela 2. Para isso, realizou-se um levantamento dos custos desses serviços em setores que oferecem tais serviços na cidade de Santa Maria e, caso fosse economicamente mais vantajoso, por sites online.

Além dos gastos com a companhia de saneamento e na aquisição de materiais para a elaboração do sistema de aproveitamento pluvial, outros parâmetros são importantes para a escolha da melhor alternativa de projeto. Um deles é a depreciação dos materiais, que corresponde à perda de valor natural que um bem sofre em função de sua obsolescência ou desgaste (SILVA; KUTIANSKI; SCHERER, 2014), e o outro, é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa um valor considerado mínimo aceitável para que um investimento seja atrativo a um investidor.

A Receita Federal Brasileira disponibiliza um parâmetro que apresenta as taxas de depreciação de diferentes tipos de produtos, dos quais, para o presente trabalho, destacam-se as instalações, com uma vida útil de 10 anos (Tabela 4). Já no caso da TMA não são fornecidas equações para calculá-la, uma vez que se trata de um dado pessoal (LAGE, 2010). Assim sendo, para um período de 15 anos de análise, o investimento mais confiável, no atual momento, seria o Tesouro IPCA+, o qual segundo o tesouro direto em dezembro de 2020, com previsão até 2035, apresenta uma rentabilidade de IPCA+ de 3,47% (TESOURO DIRETO, 2020).

Outra análise importante para verificação da viabilidade econômica é a avaliação do tempo de retorno do investimento, ou *payback*. Esse parâmetro mostra

o tempo necessário para que os custos de implementação do sistema se paguem. No caso do presente trabalho, foi elaborada uma análise econômica entre as despesas de um estabelecimento com sistema convencional de abastecimento e um com aproveitamento de água da chuva. Para análise inicial, calculou-se os custos totais de ambos os sistemas, que englobam: i) os custos operacionais da lavagem, caso do sistema convencional, que foram encontrados através de estimativas; ii) os custos operacionais de lavagem quando não há suprimento suficiente da demanda, os custos de implementação do sistema de aproveitamento e os gastos com a sua manutenção, no caso do sistema de lavagem com captação e aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 4 - Taxas de depreciação

<b>Bens depreciáveis</b>	<b>Taxa anual de depreciação (%)</b>	<b>Ano de vida útil</b>
Edifício	4	20
Instalações	10	10
Móveis e utensílios	10	10
Veículos	20	5
Computadores e periféricos	20	5
Empilhadeiras; outros veículos para movimentação de cargas e semelhantes, equipamentos com dispositivo de elevação	10	10
Máquinas e aparelhos de uso agrícola, hortícola ou florestal, para preparação ou trabalho do solo para cultura. Rolos para gramados, ou para campos de esporte	10	10
Containers, incluídos os de transporte de fluidos, especialmente concebidos e equipados para um ou vários meios de transporte	10	10
Veículos automóveis para transporte de mercadorias	25	4
Veículos automóveis para transporte de 10 pessoas ou mais, incluindo o motorista	25	4

Fonte: adaptado da Instrução Normativa RFB N°1700, de 14 de março de 2017.

De posse desses dados, foi realizada a comparação das despesas do estabelecimento em ambos os casos, durante anos de análise, até que foi encontrado a data em que os valores se tornaram equivalentes; o que é chamado de *payback* e

sinaliza que a partir desse momento o produto está sendo atrativo do ponto de vista financeiro (equação 21).

$$DATA_{DS-DC=0} - DATA_i = \textit{payback} \quad (21)$$

Onde:

DS = despesas do estabelecimento com sistema de aproveitamento de água da chuva (R\$)

DC = despesas do estabelecimento com lavagem convencional (R\$)

DATA<sub>i</sub> = dia em que começou a ser utilizado o sistema de aproveitamento de água da chuva

Da mesma forma, é fundamental na análise da viabilidade do investimento a identificação de seu Valor Presente Líquido (VPL). O VPL é calculado para analisar, ao longo da vida útil do sistema de aproveitamento pluvial, o seu valor trazido ao período inicial de investimentos, e pode ser calculado pela equação (22).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - \textit{investimento inicial} \quad (22)$$

Onde:

FC = fluxo de caixa

TMA = taxa mínima de atratividade

j = período de cada fluxo de caixa

n = período final do investimento

Quando se calcula o VPL, três análises podem ser efetivadas: i) se o VPL resultar menor do que zero, significa que o investimento não é economicamente atrativo, já que o que entra no caixa será menor do que o que sai; ii) caso o VPL seja igual a zero, considera-se como indiferente o investimento e; iii) na projeção de um VPL maior que zero, pode-se afirmar que, do ponto de vista econômico, o investimento é atrativo (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010).

Outro importante fator de análise é a Taxa Interna de Retorno (TIR), calculada pela equação (23), que mostra quando o investimento terá um retorno igual a zero. Pode-se dizer que quando a TIR é maior do que a TMA, o investimento apresenta-se viável, ao passo que se a TIR é menor do que a TMA, não é recomendado a realização do investimento.

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - \textit{investimento inicial} = 0 \quad (23)$$

Onde:

i = período de cada investimento

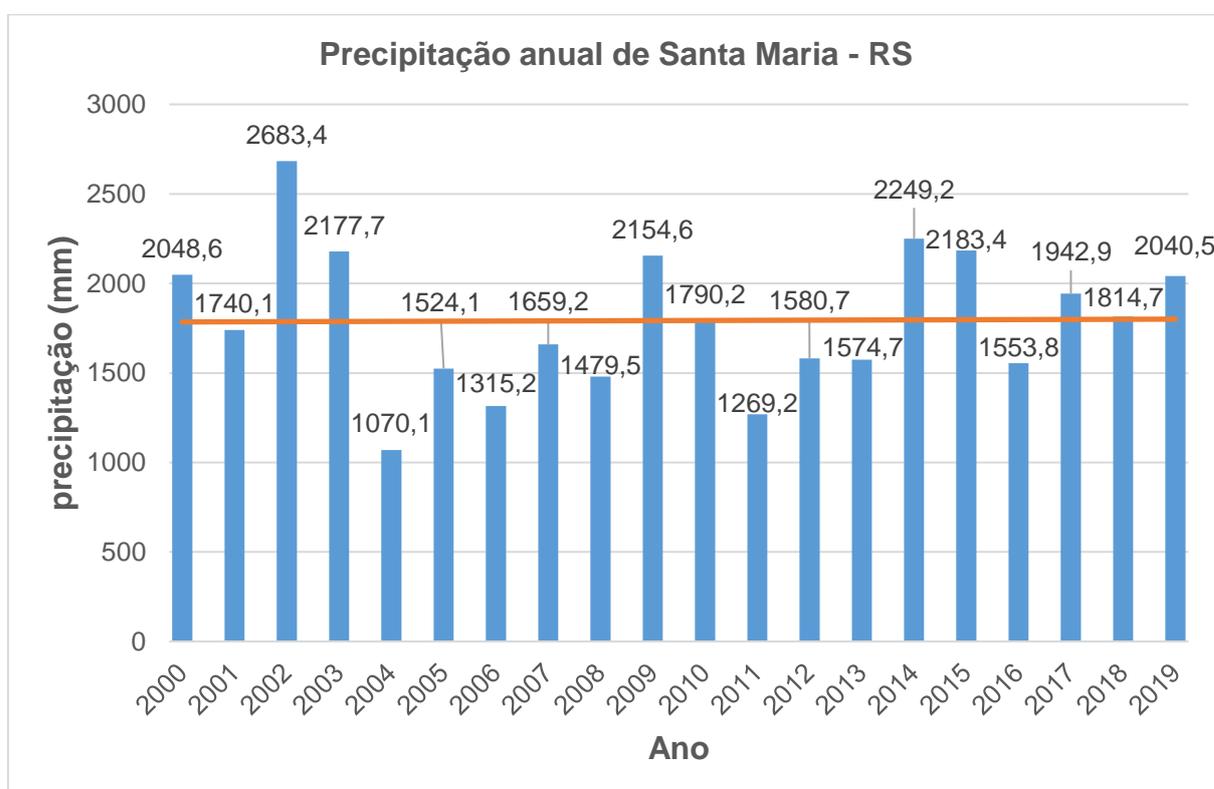
Todas as análises descritas acima foram simuladas para um período de vida útil de 15 anos, com início em 2021 e estendendo-se até 2035. Esse prazo foi definido a partir de uma média entre: i) o tempo estipulado na instrução normativa SRF nº 162, Anexo I, de 1998, que projeta uma vida útil de 10 anos para filtros e reservatórios; e ii) o tempo recomendado por Athayde Júnior, Dias e Gadelha (2008), que estipulam que as estruturas físicas projetadas (equipamentos e obras civis), devem atender, em geral, a um período de 20 anos, quando se faz as projeções de análise econômica no aproveitamento de água pluvial.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. PRIMEIRA ETAPA: DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A partir da análise das precipitações na cidade de Santa Maria-RS, observou-se uma intensidade média anual de 1.792,59 mm entre os anos de 2000 e 2019. Sendo que os maiores índices pluviométricos foram registrados em 2002, com 2.683,4 mm; ao passo que as precipitações mínimas ocorram em 2004, com 1.070,1 mm. Dos 20 anos apresentados na Figura 17, 9 estiveram acima da média anual, o que é representado pela linha laranja do gráfico; e outros 7 anos apresentaram valores próximos à média anual. Com isso, pode-se afirmar que a cidade possui condições que tornam viáveis o aproveitamento de água da chuva.

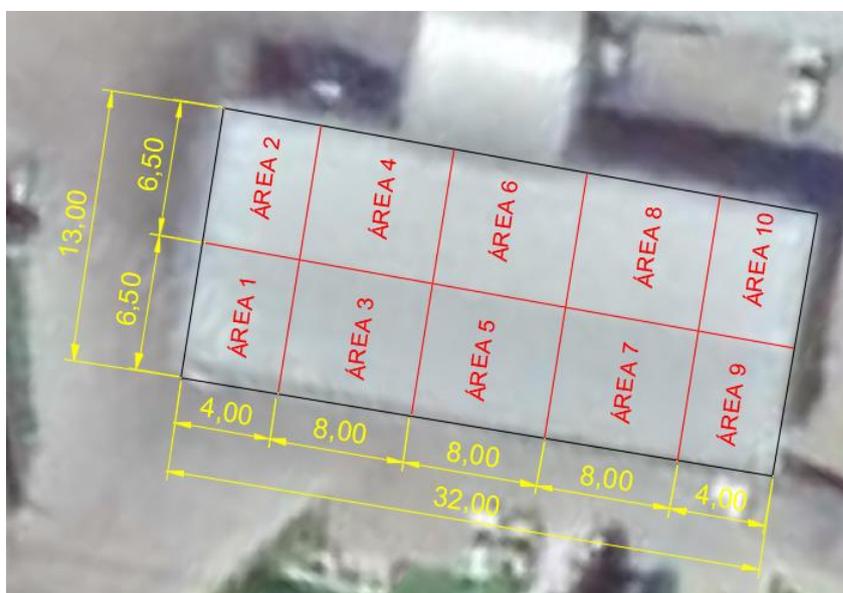
Figura 17 - Precipitação anual (mm) em Santa Maria – RS, de 2000 a 2019



Fonte: autor

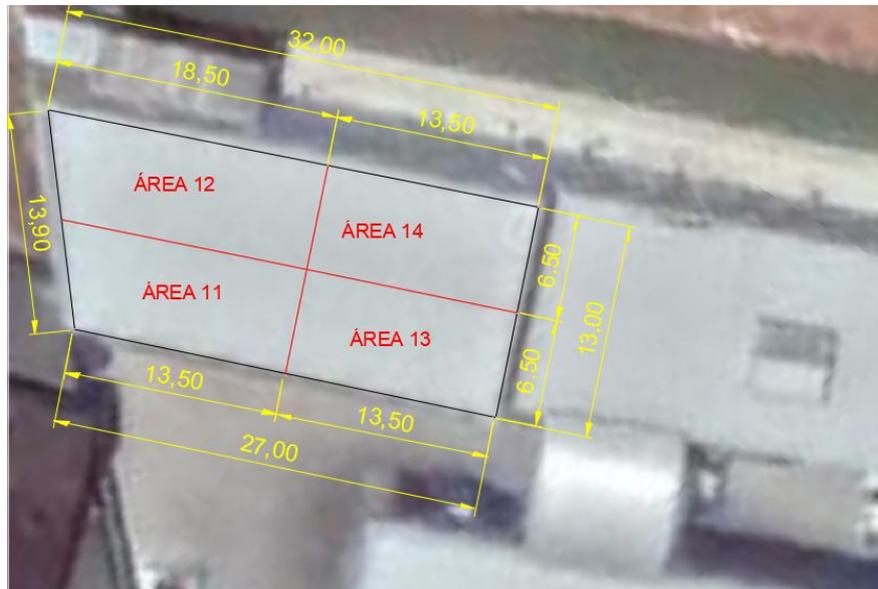
O local escolhido para este estudo de caso possui três áreas cobertas de forma separada, que destinam por caminhos independentes a água pluvial até os condutores verticais. Como o estabelecimento em questão não dispunha de planta dessas coberturas, o tamanho das áreas para possível captação da água de chuvas foi estimado com o auxílio de imagens do Google Earth e por meio de medições realizadas no local (Figura 18; Figura 19; Figura 20). A área de captação projetada com auxílio desse recurso foi de 1.250,50 m<sup>2</sup>.

Figura 18 - Área coberta do posto Sim



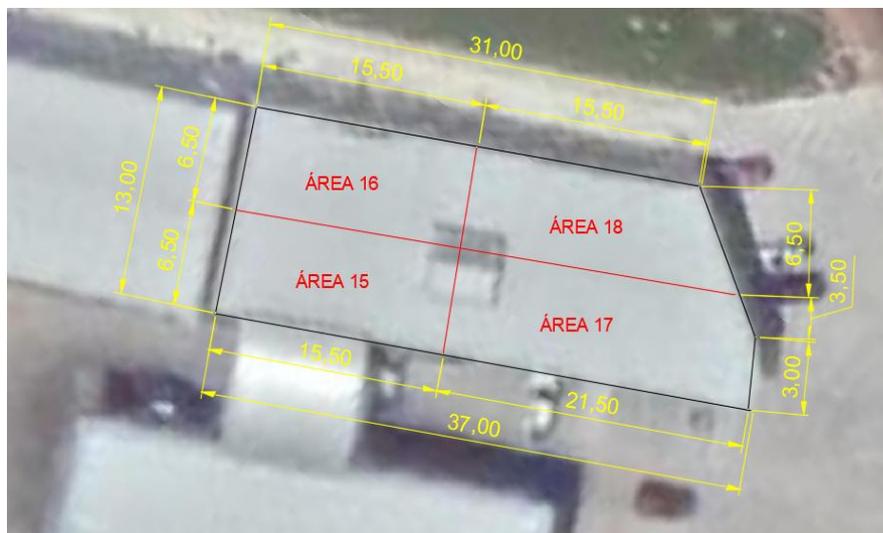
Fonte: adaptado de Google Earth.

Figura 19 - Área coberta da Mademax Pneus



Fonte: adaptado de Google Earth.

Figura 20 - Área coberta da Racer Point



Fonte: adaptado de Google Earth.

Através das dimensões estimadas do estabelecimento, usou-se o programa Revit para sugerir e avaliar o local mais viável física e economicamente para a implantação da lavagem de veículos. Na Figura 21 é possível ter uma aproximação

da disposição do novo serviço, situado ao lado da Racer Point, caso opte-se por essa escolha.

Figura 21 – Vistas gerais do estabelecimento com projeção da implantação da lavagem de veículos



Fonte: Autor.

Na sequência, determinou-se a demanda de água por veículo. O estabelecimento tomado como base para este estudo gasta em torno de R\$ 187,00 ao mês para uma demanda de 122 veículos. Considerando que nesse valor também está contabilizado o consumo de dois funcionários que, juntos, geram uma demanda diária de cerca de 84 litros (Tabela 5), o volume médio de água consumido exclusivamente na atividade de lavagem de um veículo foi determinado como sendo 151,33 L, obtido pelo desconto dos 84 L consumidos pelos funcionários do volume total consumido (Tabela 6). Esse valor está próximo dos 150 L/veículo sugeridos por

Tomaz (2003). É importante ressaltar que para chegar a esse valor, desconsiderou-se a eficiência dos equipamentos usados na lavagem dos veículos e eventuais perdas desnecessárias de água, o que pode potencializar a economia durante a execução do serviço, visto que em algumas pesquisas o consumo é significativamente mais baixo como nas medições de Lage (2010), onde uma das concessionárias analisadas obteve resultado médio de consumo de 95 L/veículo.

Tabela 5 - Demanda de água para os funcionários da lavagem

<b>Demanda de água diária com funcionários na lavagem de veículos</b>			
	Demanda (L)	Nº de funcionários (ne)	Frequência de uso (Fu)
Vaso sanitário (Vs)	7,6	2	4
Pia do banheiro (B)	2,4	2	4
Hidratação (Hi)	2	2	1
Demanda diária total	84		

Fonte: Autor.

Tabela 6 - Média de gastos mensais na conta de água e estimativa de demanda por veículo

<b>Consumo médio de água na lavagem de carro em 2020</b>				
Conta de água (R\$)	Consumo (m³)	Consumo (L)	Nº de veículos lavados	Demanda por veículo (L)
187	20,23	20.226,33	122	151,33

Fonte: Autor.

A partir do levantamento realizado nos postos de Santa Maria que possuíam lavagem de veículos, dos quais 11 disponibilizavam o serviço, chegou-se a um número aproximado de 15,27 veículos lavados ao dia, durante o segundo semestre de 2020. Quando considerado somente os postos do bairro Camobi, região de localização do posto Rede Sim, esse número seria de aproximadamente 16 veículos. Dessa forma, adotou-se a demanda de 15 veículos/dia para efeito de cálculos do sistema de aproveitamento pluvial, sem levar em consideração a tendência de aumento na busca pelo serviço (Tabela 7). Há de se destacar, entretanto, que em função dos demais serviços ofertados pela Rede Sim (loja de conveniência, lancheria,

borracharia, etc.) poderá ocorrer um aumento dessa demanda; a exemplo do que acontece com o posto JP Santa Lúcia, localizado na RS-509 - Km 3, que possui características estruturais mais próximas do posto em estudo.

É importante ressaltar ainda, que devido às consequências ocasionadas pela pandemia COVID-19, houve uma redução na demanda de lavagens de veículos na cidade durante o ano de 2020, fator que pode potencializar a demanda futura necessária de água, em função do aumento do uso do serviço.

Tabela 7 - Postos pesquisados que possuem lavagem de carro em Santa Maria.

<b>Posto</b>	<b>Bairro</b>	<b>Endereço</b>	<b>Nº de lavagens</b>
Petrobras	Camobi	Avenida Roraima, 910	16
Leo Irineu Furlan e Cia	Camobi	RS-509	11
Padoin	Camobi	Rod. Rst-287, 6880	42
Santa Lúcia	Camobi	BR-287, 4787	15
Petrobras	Camobi	Est. RS-509 – Km 7,5, 5015	6
Ipiranga	Camobi	Rod. Rst-287	5
Dutra Auto Posto	Nossa Sra. Da Medianeira	Av. Nossa Sra. Da Medianeira, 1384	8
Auto Posto Medianeira	Nossa Sra. Da Medianeira	Av. Nossa Sra. Da Medianeira, 648	10
Petrobras	Nossa Sra. Da Medianeira	Av. Medianeira	5
JP Santa Lúcia	Km Três	RS-509	35
Auto Posto Latina	São José	BR-287	15
		Média	15,27

Fonte: Autor.

Com um montante de 15 veículos ao dia, foi encontrado o consumo total, ao fim de cada expediente, de 2.269,96 L (Tabela 8). Para a demanda anual e mensal, foram considerados dias de trabalho apenas de segunda a sexta-feira, eliminando finais de semana e feriados. Ao realizar uma análise do período de 2000 a 2019, isso representa uma média de 20,85 dias a cada mês; sendo assim, adotou-se 21 dias úteis de serviço.

As informações pluviométricas, de demanda diária de água para lavagem de veículos e da área disponível para captação, foram utilizadas como dados de entrada (Tabela 9) para a determinação do volume potencialmente captável de água da chuva e para, posteriormente, realizar o processo de simulação dos diferentes volumes de

reservatório pelo método da simulação, de modo que a necessidade de água da CORSAN para lavagem de veículos fosse a mínima possível.

Tabela 8 - Estimativa de consumo diário de água com lavagem de veículos

<b>Estimativa de lavagens por dia</b>	
Nº de veículos diários	15
Dias de lavagens no mês	21
Nº de veículos mensais	315
Consumo por dia (L)	2.269,96
Consumo por dia (m³)	2,27

Fonte: Autor.

Tabela 9 - Informações utilizadas para determinação do volume pluvial potencialmente captável para a simulação dos diferentes volumes de reservatórios pelo método da simulação

Nº	Data de medição	Precipitação total, diária (mm)	Chuva acima de 2 mm (mm)	Volume captável (L/m²)	Feriado ou fim de semana?	Demanda (L)
1	01/01/2000	0	0	0	Sim	0,00
2	02/01/2000	0	0	0	Sim	0,00
3	03/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
4	04/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
5	05/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
6	06/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
7	07/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
8	08/01/2000	0	0	0	Sim	0,00
9	09/01/2000	0	0	0	Sim	0,00
10	10/01/2000	0,6	0	0	Não	2.269,96
11	11/01/2000	13,3	13,3	16.631,65	Não	2.269,96
12	12/01/2000	32	32	40.016	Não	2.269,96
13	13/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
14	14/01/2000	0	0	0	Não	2.269,96
...	...	...	...	...	...	...
7278	31/12/2019	0	0	0	Não	2.269,96

Fonte: Autor.

Para cada volume de reservatório considerado nesse estudo foram analisados: os dias consecutivos de falhas, o número total de dias com falha, o número total de dias em que houve extravasamento e a eficiência no atendimento da demanda. Para

análise específica da eficiência foi estabelecido como adequado um volume de reservatório capaz de atender a demanda requerida em pelo menos 90% do tempo.

Na Tabela 10 é apresentado um exemplo de aplicação do método da simulação, para o volume de reservatório de 15.000 L.

Tabela 10 - Exemplo de aplicação do método da simulação para um reservatório de 15.000 L, apresentado para 5 dias de simulação

Nº	1	2	3	4	5
<b>Data de medição</b>	10/01/00	11/01/00	12/01/00	13/01/00	14/01/00
<b>Precipitação total, diária (mm)</b>	0,6	13,3	32	0	0
<b>Chuva acima de 2 mm (mm)</b>	0	13,3	32	0	0
<b>Volume captável (L/m<sup>2</sup>)</b>	0	16.631,65	40.016	0	0
<b>Feriado ou fim de semana?</b>	Não	Não	Não	Não	Não
<b>Demanda (L)</b>	2.269,96	2.269,96	2.269,96	2.269,96	2.269,96
<b>Volume no reservatório</b>	0	11.866,94	15.000,00	12.730,04	10.460,08
<b>Falha?</b>	Sim	Não	Não	Não	Não
<b>Dias consecutivos de falhas</b>	1	0	0	0	0
<b>Total de dias com falhas</b>	6	6	6	6	6
<b>Extravasamento?</b>	Não	Sim	Sim	Não	Não
<b>Eficiência</b>	85,17%				

Fonte: Autor.

Convém destacar que o reservatório de 15.000 L apresentou uma eficiência no atendimento da demanda menor que 90%, chegando a apresentar quase o dobro de dias incapazes de atender a demanda se comparado ao de 20.000 L, segundo menor volume de reservatório adotado no estudo (Tabela 11). Analisando as eficiências para cada volume, é possível afirmar que quanto maior o reservatório, maior será sua eficiência, porém essa discrepância dos resultados torna-se irrisória, a partir de

determinado volume, que se torna mais viável levar em consideração outros fatores para a escolha do melhor volume para esse reservatório, como por exemplo, desperdício de espaço físico ou valores dos recursos empregados na implantação do sistema.

Tabela 11 - Resultados obtidos pelo método da simulação para diferentes volumes de reservatório

<b>Reservatório</b>	<b>Dias analisados (Nt)</b>	<b>Dias de falhas (Nf)</b>	<b>Falha do sistema (F)</b>	<b>Confiança do sistema (Cs)</b>	<b>Extravasamento</b>
15.000 L	7.278	1.079	0,15	85,17%	1.625 dias 22,33%
20.000 L	7.278	653	0,09	91,03%	1.602 dias 22,01%
25.000 L	7.278	354	0,05	95,14%	1.590 dias 21,85%
27.500 L	7.278	275	0,04	96,22%	1.582 dias 21,74%
30.000 L	7.278	222	0,03	96,95%	1.581 dias 21,72%

Fonte: Autor.

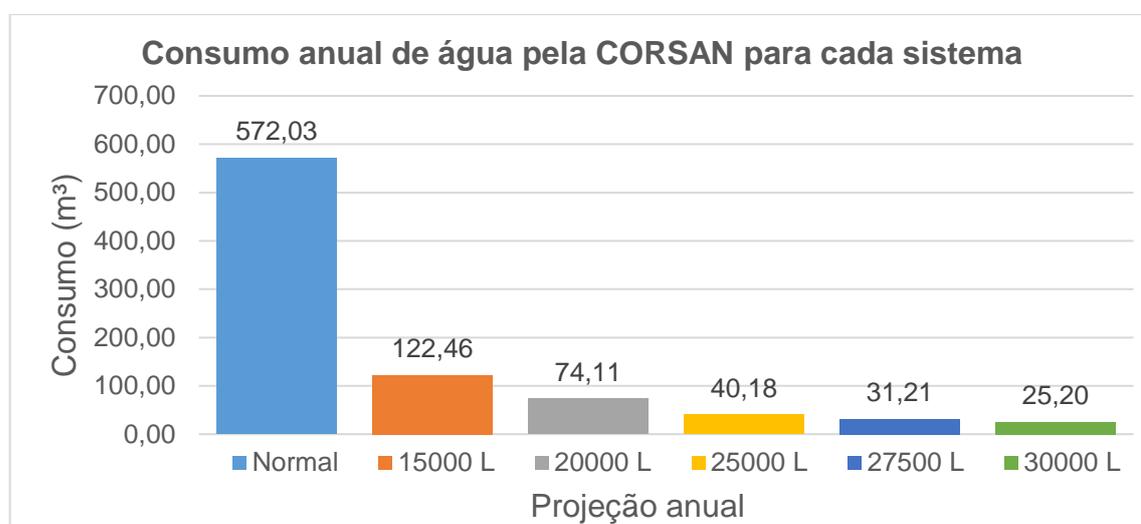
Tanto o reservatório de 30.000 L como o de 27.500 L e o de 25.000 L, apresentaram médias baixas de dias falhos por ano, sendo aproximadamente 11, 14 e 18 dias, respectivamente, para o período entre 2000 e 2019. Com isso, percebe-se que caso utilizado o aproveitamento pluvial, na pior das hipóteses, ou seja, considerando a capacidade de armazenamento de 20.000 L, em média, em apenas 33 dias por ano a demanda não seria atendida (Tabela 12). Esse número pode ser considerado expressivamente baixo, visto que 497,12 m<sup>3</sup> de água da CORSAN seriam economizados em apenas um ano com o emprego do sistema de aproveitamento de água da chuva. Isso equivaleria a 3.285 lavagens de veículos ou a quase 9 anos de consumo de água de uma pessoa, se considerado dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, de 2018, que aponta que o brasileiro consome em média 154 L de água por dia (BRASIL, 2019) ( Figura 22).

Tabela 12 - Média anual de dias falhos no atendimento da demanda, por reservatório

Média de falha anual por reservatório				
15.000 L	20.000 L	25.000 L	27.500 L	30.000 L
53,95 dias	32,65 dias	17,70 dias	13,75 dias	11,10 dias

Fonte: Autor.

Figura 22 - Potencial de economia por volume de reservatório

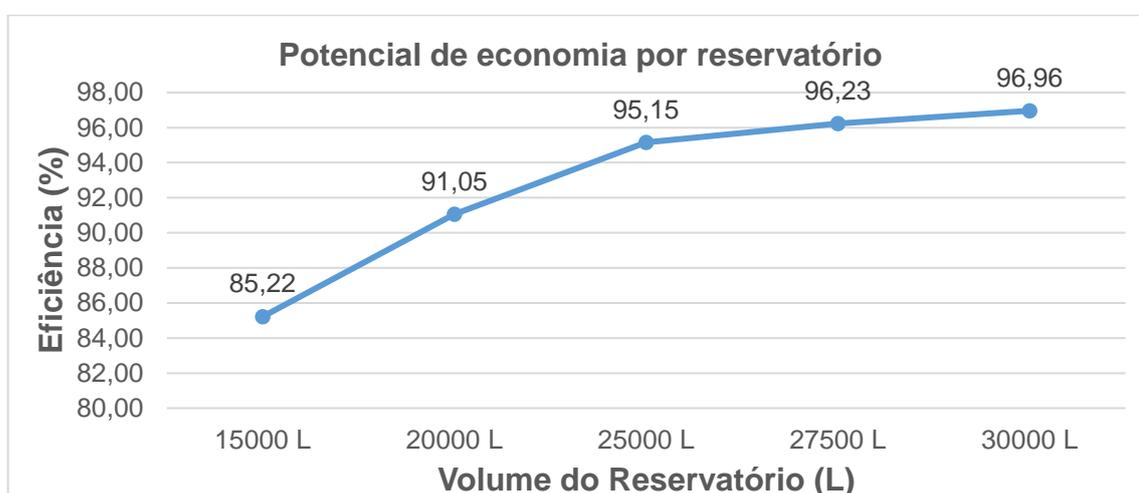


Fonte: Autor.

De modo geral, as eficiências no atendimento à demanda tendem a aumentar com o aumento do volume do reservatório utilizado para o armazenamento das águas pluviais. No entanto, essa alteração é menos significativa para volumes maiores, ocorrendo uma variação da eficiência da ordem 5,85% quando o reservatório de 15.000 L é substituído pelo de 20.000 L, um ganho de 4,11% quando se substitui o volume de 20.000 L por 25.000 L, um aumento de 1,09% quando usado o reservatório de 27.500 L em relação ao emprego de 25.000 L e, uma elevação da eficiência de apenas 0,73% quando se opta pela troca desse último reservatório pelo de 30.000 L (Figura 23). Isso indica que, para a área de contribuição desse estudo, atingiu-se o volume ideal e, dessa forma, um aumento desse volume de armazenamento não gera um ganho significativo da eficiência ao atendimento da demanda, uma vez que não há área de coleta disponível para captação e destino de maior volume de aproveitamento ao reservatório de armazenamento.

De fato, quando são analisados os dias totais de extravasamento dos reservatórios no período em estudo, para os diferentes volumes testados (Figura 24), bem como o número máximo de dias consecutivos com falha no atendimento à demanda, percebe-se que não há grandes variações entre os vários volumes de armazenamento simulados (em torno de 22% de dias com extravasamento e, no máximo 5 dias consecutivos falhos), o que demonstra, claramente, que para essa dimensão de área de captação, não há disponibilidade de água pluvial sem coleta, que justifique a implantação de volumes de reservatórios maiores do que 20.000 L.

Figura 23 - Potencial de economia por volume de reservatório



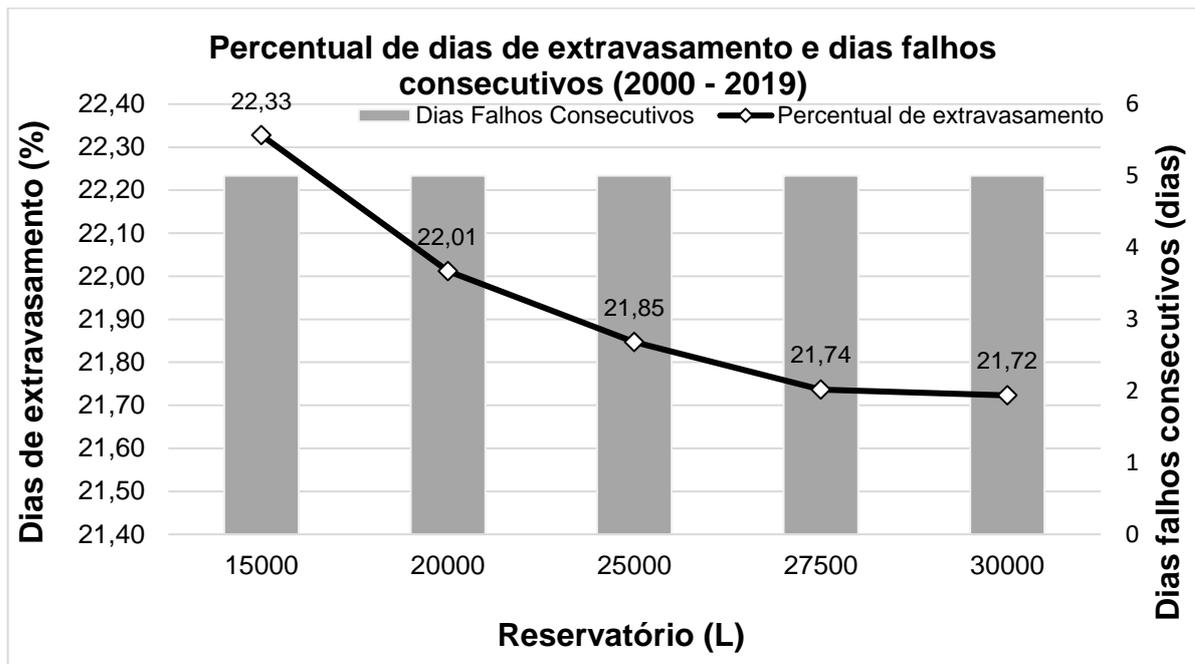
Fonte: Autor.

Obviamente, a escolha do reservatório ideal requer uma análise conjunta dessas informações em relação também ao percentual de falhas no atendimento à demanda, à verificação da eficiência do sistema no suprimento do consumo de água, além de uma verificação da ociosidade do volume, sendo ainda necessário a análise econômica, para os diferentes volumes simulados.

Na prática, é improvável um único modelo de reservatório ter vantagem em todos os quesitos analisados; com isso caberá ao projetista definir a melhor opção para uma dada situação em particular. Lucchese (2020), por exemplo, ao usar o método da simulação no dimensionamento de um reservatório para aproveitamento de água pluvial em lavagem de veículos de transporte público, optou por um modelo capaz de suprir apenas os meses de maior escassez hídrica, mesmo atendendo a

aproximadamente 54% da demanda ao longo do ano, na busca de manter um equilíbrio entre todos os parâmetros analisados.

Figura 24 - Total de dias com ocorrência de extravasamento entre o período de 2000 a 2019



Fonte: Autor.

Por fim, a escolha do sistema foi realizada considerando-se as análises do fornecimento de água por gravidade, sem a necessidade de bombeamento. Como não há impedimentos físicos do local com relação à altura da base para o reservatório, considerou-se a um nível de 1,0 metro. Caso o estabelecimento opte por mais pressão na saída, o suporte pode ser adequado às necessidades, ou haveria a opção de inserção de bombeamento, fator que ocasionará um reajuste nas despesas.

#### 4.2. SEGUNDA ETAPA: ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

Essa etapa apresenta os resultados da análise financeira da implantação do sistema de aproveitamento pluvial, após a verificação da viabilidade técnica identificada anteriormente. Para tal identificou-se o melhor custo-benefício entre o fornecimento de água para suprir a demanda da lavagem de veículos somente pela

companhia de saneamento (modelo tradicional de abastecimento), ou então, pelo uso de um sistema de aproveitamento pluvial, complementado, quando necessário, pelo uso da água fornecida por tal companhia. Estabeleceu-se ainda, o volume de reservatório com melhor custo-benefício, em um período de 15 anos, quando utilizado o sistema de aproveitamento pluvial.

Para essa análise econômica adotou-se uma demanda diária para lavagem de 15 veículos, para todo o período analisado, desconsiderando-se futuras variações na procura diária pelo serviço. Isso representou, portanto, 3.780 veículos lavados por ano, subtraídos os feriados e finais de semana, em que se estipulou a não oferta do serviço de lavagem.

Conforme já expresso anteriormente, considerou-se um consumo médio fixo de 151,33 L/veículos, totalizando um consumo de água anual de 572.029,61 L.

#### **4.2.1. Análise econômica dos custos de uma lavagem de veículos utilizando a demanda de água proveniente da companhia de saneamento**

Para essa análise, inicialmente foram estimadas as variações das taxas do m<sup>3</sup> fornecido pela CORSAN, nos últimos 6 anos, na tentativa de estabelecer um padrão de aumento da cobrança nesse período (Tabela 13), que pudesse orientar estimativas de aumentos futuros.

Tabela 13 - Tabela tarifaria empresarial, categoria comercial, da CORSAN de 2015 a 2020

CORSAN		Acréscimo em relação ao ano anterior		Preço base do m <sup>3</sup>	Acréscimo em relação ao ano anterior	
Ano	Serviço básico (R\$)					
2015	37,17	R\$	%	5,00	R\$	%
2016	41,43	4,26	11,46	5,57	0,57	11,40
2017	43,16	1,73	4,18	5,80	0,23	4,13
2018	44,07	0,91	2,11	5,92	0,12	2,07
2019	47,46	3,39	7,69	6,38	0,46	7,77
2020	50,27	2,81	5,92	6,76	0,38	5,96
<b>Média</b>		2,62	6,27		0,35	6,26

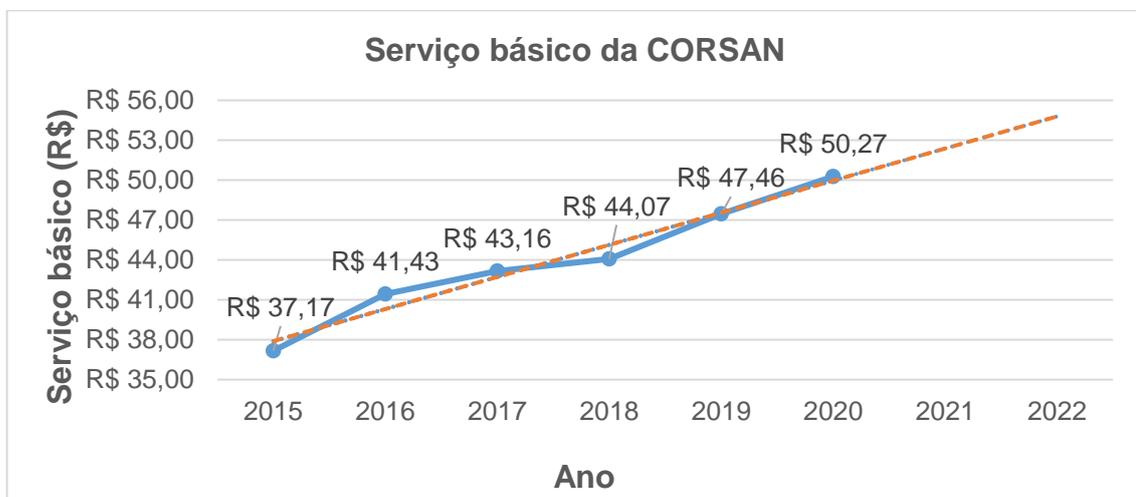
Fonte: Autor.

Analisando a tabela anterior é possível observar que não houve um padrão constante para os acréscimos nas taxas relativas ao serviço básico, bem como, no preço base do m<sup>3</sup>. Diante disso, para estabelecer as estimativas de aumento futuro, calculou-se a média aritmética da variação com base nos anos analisados.

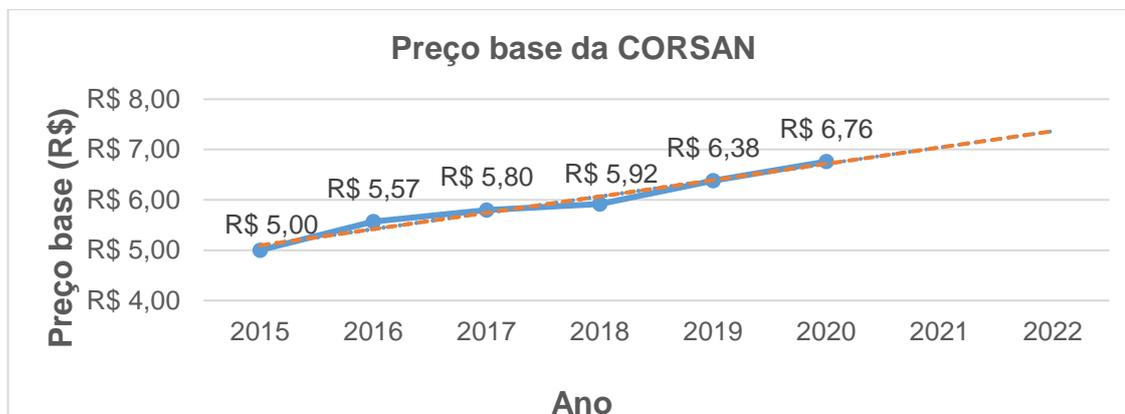
No caso do serviço básico, a variação encontrada foi equivalente a um aumento de 6,7% por ano (Figura 25); já para o preço base do m<sup>3</sup>, o valor foi acrescido em 6,26% ao ano (Figura 26). A partir desses resultados, fez-se uma projeção de aumento no serviço básico e preço base, para um período de 15 anos, considerando-se um crescimento anual linear referente à média obtida em porcentagem (Tabela 14).

Uma vez estabelecidas as estimativas tarifárias da CORSAN para os próximos 15 anos, fez-se um comparativo dos gastos com lavagem de veículos para o modelo tradicional e para cada dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva.

Figura 25 - Serviço básico de água cobrado pela CORSAN e linha de tendência



Fonte: Autor.

Figura 26 - Preço base do m<sup>3</sup> de água cobrado pela CORSAN e linha de tendência

Fonte: Autor.

Tabela 14 - Tendência de tarifaria empresarial, categoria comercial, da CORSAN de 2021 a 2035

Ano	Serviço Básico	Preço base do m <sup>3</sup>
2021	R\$ 53,42	R\$ 7,18
2022	R\$ 56,77	R\$ 7,63
2023	R\$ 60,33	R\$ 8,11
2024	R\$ 64,12	R\$ 8,62
2025	R\$ 68,14	R\$ 9,16
2026	R\$ 72,41	R\$ 9,73
2027	R\$ 76,95	R\$ 10,34
2028	R\$ 81,78	R\$ 10,99
2029	R\$ 86,91	R\$ 11,68
2030	R\$ 92,36	R\$ 12,41
2031	R\$ 98,15	R\$ 13,19
2032	R\$ 104,31	R\$ 14,02
2033	R\$ 110,85	R\$ 14,89
2034	R\$ 117,80	R\$ 15,83
2035	R\$ 125,19	R\$ 16,82

Fonte: Autor.

Se implementado um estabelecimento sem sistema de aproveitamento pluvial, ou seja, apenas com consumo da companhia de saneamento, constatou-se no primeiro ano uma despesa bem abaixo comparado aos demais sistemas, de R\$ 4.750,25, visto que esse valor remete apenas ao custo operacional da lavagem dos veículos. No entanto, a disparidade na conta de água entre o modelo convencional e o sistema dos anos subsequentes é significativamente desvantajosa, apresentando

uma média de aumento anual de R\$ 455,21 com a companhia (Tabela 15). Ao fim da projeção de 15 anos, os custos cumulativos chegarão a R\$ 112.831,81 (Tabela 16).

Tabela 15 - Custos anuais com a CORSAN previstos em lavagens de veículos (2021 a 2035), sem sistema de aproveitamento pluvial (modelo tradicional de abastecimento)

<b>Previsão de gastos (2021-2035) em lavagem de veículos sem aproveitamento pluvial</b>				
Ano	Lavagens por ano (Na)	Consumo total (L)	Consumo total em m <sup>3</sup> (Ca)	Custo total (Ga)
2021	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 4.750,25
2022	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 5.047,90
2023	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 5.364,19
2024	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 5.700,30
2025	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 6.057,47
2026	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 6.437,02
2027	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 6.840,35
2028	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 7.268,96
2029	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 7.724,42
2030	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 8.208,42
2031	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 8.722,74
2032	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 9.269,29
2033	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 9.850,09
2034	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 10.467,28
2035	3.780	572.029,61	572,03	R\$ 11.123,14

Fonte: Autor.

Tabela 16 - Previsão de custos acumulados com a CORSAN em lavagens de veículos (2021 a 2035), sem sistema de aproveitamento pluvial (modelo tradicional de abastecimento)

<b>Custos sem implantação de sistema de aproveitamento pluvial</b>	
Ano	Custos
2021	R\$ 4.750,25
2022	R\$ 9.798,15
2023	R\$ 15.162,34
2024	R\$ 20.862,63
2025	R\$ 26.920,10
2026	R\$ 33.357,12
2027	R\$ 40.197,47
2028	R\$ 47.466,43
2029	R\$ 55.190,85
2030	R\$ 63.399,26
2031	R\$ 72.122,00
2032	R\$ 81.391,29
2033	R\$ 91.241,38
2034	R\$ 101.708,66
2035	R\$ 112.831,81

Fonte: Autor.

#### 4.2.2. Análise econômica dos custos junto a CORSAN utilizando sistema de aproveitamento pluvial

Identificadas as médias anuais de dias falhos no atendimento da demanda (Tabela 12) de lavagem de veículos, para os diferentes volumes de reservatório simulados, foi possível estabelecer a quantidade de água que precisaria ser complementada através da companhia de abastecimento, a cada ano (Tabela 17). Essa necessidade anual foi obtida multiplicando-se, para cada reservatório simulado, a média anual de dias falhos pela demanda de água diária necessária para a lavagem de veículos.

No caso do reservatório de 15.000 L, 122,46 m<sup>3</sup> de água não foram supridos pelo sistema de aproveitamento pluvial, enquanto que, para o reservatório de 30.000 L, entre todos, o mais eficiente no atendimento à demanda, não foram supridos apenas 25,20 m<sup>3</sup>.

Tabela 17 - Demanda de água complementar da CORSAN, entre 2021 e 2035, utilizando sistema de aproveitamento pluvial

<b>Reservatório</b>	15.000 L	20.000 L	25.000 L	27.500 L	30.000 L
<b>Demanda</b>	122,46 m <sup>3</sup>	74,11 m <sup>3</sup>	40,18 m <sup>3</sup>	31,21 m <sup>3</sup>	25,20 m <sup>3</sup>

Fonte: Autor.

Com os valores tarifários da CORSAN projetados para cada ano, observou-se que o ano de maior gasto será 2035, para o reservatório de 15.000 L, com uma estimativa de R\$ 2.549,31 de gastos com a demanda não suprida pelo sistema de aproveitamento.

Por outro lado, considerando os gastos por ano com as demandas não supridas pelo reservatório de 25.000 L, por exemplo, os custos com o uso da água da companhia de saneamento (Tabela 18) são menos expressivos, se comparados aos custos que seriam demandados pela lavagem de veículos com o sistema tradicional de abastecimento (Tabela 15). Nesse cenário, as despesas em 2035, seriam inferiores a R\$ 2.200,00, ao passo que, nesse mesmo ano, os custos com o sistema tradicional de lavagem seriam praticamente R\$ 11.000,00.

Esses valores se assemelham, dadas as devidas proporções, ao estudo de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para a lavagem de uma

frota de 98 ônibus/dia, na cidade de Florianópolis. Nesse estudo, o consumo anual de água foi, em média, 8.820 m<sup>3</sup>, e, segundo as projeções, para suprir a demanda de água proposta pelo autor, que foi de aproximadamente 54%, a economia anual do estabelecimento com a empresa prestadora do serviço de abastecimento seria de R\$ 73.536,00, considerando as despesas tarifárias cobradas (LUCHESE, 2020).

Tabela 18 - Projeção de custos anuais com demanda de água complementar da CORSAN, entre 2021 e 2035, utilizando sistema de aproveitamento pluvial

<b>Custos anuais com demanda de água pela CORSAN</b>					
Ano	15.000 L	20.000 L	25.000 L	27.500 L	30.000 L
2021	R\$ 1.520,80	R\$ 1.173,47	R\$ 929,69	R\$ 865,28	R\$ 822,07
2022	R\$ 1.616,12	R\$ 1.247,03	R\$ 987,98	R\$ 919,54	R\$ 873,62
2023	R\$ 1.717,41	R\$ 1.325,20	R\$ 1.049,92	R\$ 977,19	R\$ 928,39
2024	R\$ 1.825,05	R\$ 1.408,28	R\$ 1.115,75	R\$ 1.038,46	R\$ 986,61
2025	R\$ 1.939,44	R\$ 1.496,55	R\$ 1.185,70	R\$ 1.103,57	R\$ 1.048,47
2026	R\$ 2.061,00	R\$ 1.590,37	R\$ 1.260,04	R\$ 1.172,76	R\$ 1.114,21
2027	R\$ 2.190,18	R\$ 1.690,06	R\$ 1.339,04	R\$ 1.246,29	R\$ 1.184,07
2028	R\$ 2.327,45	R\$ 1.796,00	R\$ 1.422,99	R\$ 1.324,43	R\$ 1.258,31
2029	R\$ 2.473,33	R\$ 1.908,59	R\$ 1.512,20	R\$ 1.407,47	R\$ 1.337,21
2030	R\$ 2.628,36	R\$ 2.028,23	R\$ 1.607,01	R\$ 1.495,72	R\$ 1.421,06
2031	R\$ 2.793,09	R\$ 2.155,37	R\$ 1.707,76	R\$ 1.589,50	R\$ 1.510,16
2032	R\$ 2.968,16	R\$ 2.290,48	R\$ 1.814,83	R\$ 1.689,16	R\$ 1.604,85
2033	R\$ 3.154,20	R\$ 2.434,06	R\$ 1.928,62	R\$ 1.795,07	R\$ 1.705,48
2034	R\$ 3.351,89	R\$ 2.586,64	R\$ 2.049,53	R\$ 1.907,62	R\$ 1.812,41
2035	R\$ 3.561,98	R\$ 2.748,79	R\$ 2.178,03	R\$ 2.027,22	R\$ 1.926,05

Fonte: Autor.

#### **4.2.3. Projeção de custos de implantação e manutenção de um sistema de aproveitamento pluvial**

Para a projeção de custos de implantação de um sistema de aproveitamento pluvial foram desconsiderados os custos com as estruturas de calhas e de condutores verticais, uma vez que tais elementos já faziam parte da estrutura do posto de combustíveis da Rede Sim. Sendo assim, para essa estimativa contabilizou-se apenas os materiais necessários para o sistema de aproveitamento pluvial e fazer as conexões com a estrutura existente.

Em todos os volumes analisados foi previsto a utilização de no máximo dois reservatórios para perfazer o volume total simulado, na combinação mais econômica

para cada caso. Foram usados tubos em PVC e conexões para as instalações hidráulicas necessárias.

O modelo de filtro escolhido foi o VF6, da linha 3P Technick, de aço inox 304, que cobre uma área de até 1.500 m<sup>2</sup> (Figura 27). Esse produto requer baixa manutenção, que, pela sua simplicidade, pode ser efetuada pelo próprio usuário. A filtragem da água ocorre em duas etapas: inicialmente são removidos os detritos maiores e, na sequência, uma tela autolimpante com malhas de 0,39 mm a 0,98 mm elimina as demais sujidades.

Figura 27 - Filtro VF6 da 3P Technick

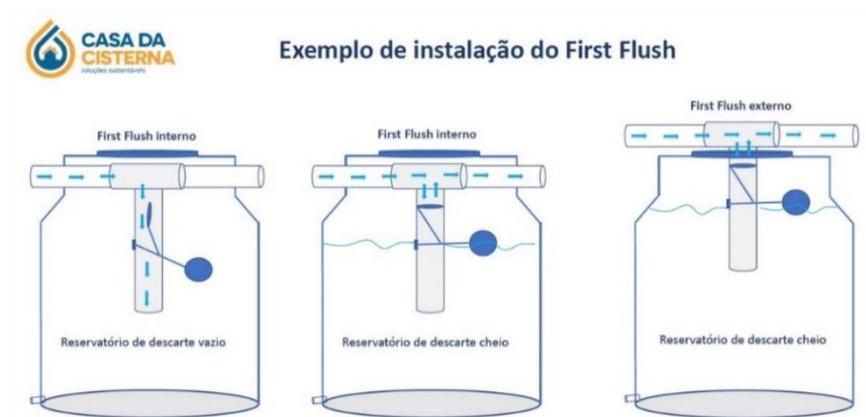


Fonte: Casa da Cisterna.

Esse filtro apresenta uma boa eficiência hídrica e bom custo-benefício se comparado com outros modelos disponíveis no mercado, a um valor de R\$ 8.402,70 o kit completo (freio, sifão e conjunto flutuante), na loja Casa da Cisterna, de Joinville, Santa Catarina. Caso o cliente opte por modelos mais simples, mas que entreguem resultados semelhantes, há outras variedades disponíveis por um preço reduzido, como o Kit 7 Ciclo 1000, que sai por R\$ 4.745,40 contando todos os materiais necessários.

O sistema para descarte das primeiras águas da chuva escolhido nesse estudo de caso foi o First Flush DM 150 (Figura 28). Considerando o descarte inicial de 2 mm para a área de 1.250 m<sup>2</sup>, será necessário a implantação de um reservatório de 2.500 L para essa água, o que resultará em um custo final de R\$ 2.089,99, para aquisição dos produtos na mesma loja citada anteriormente.

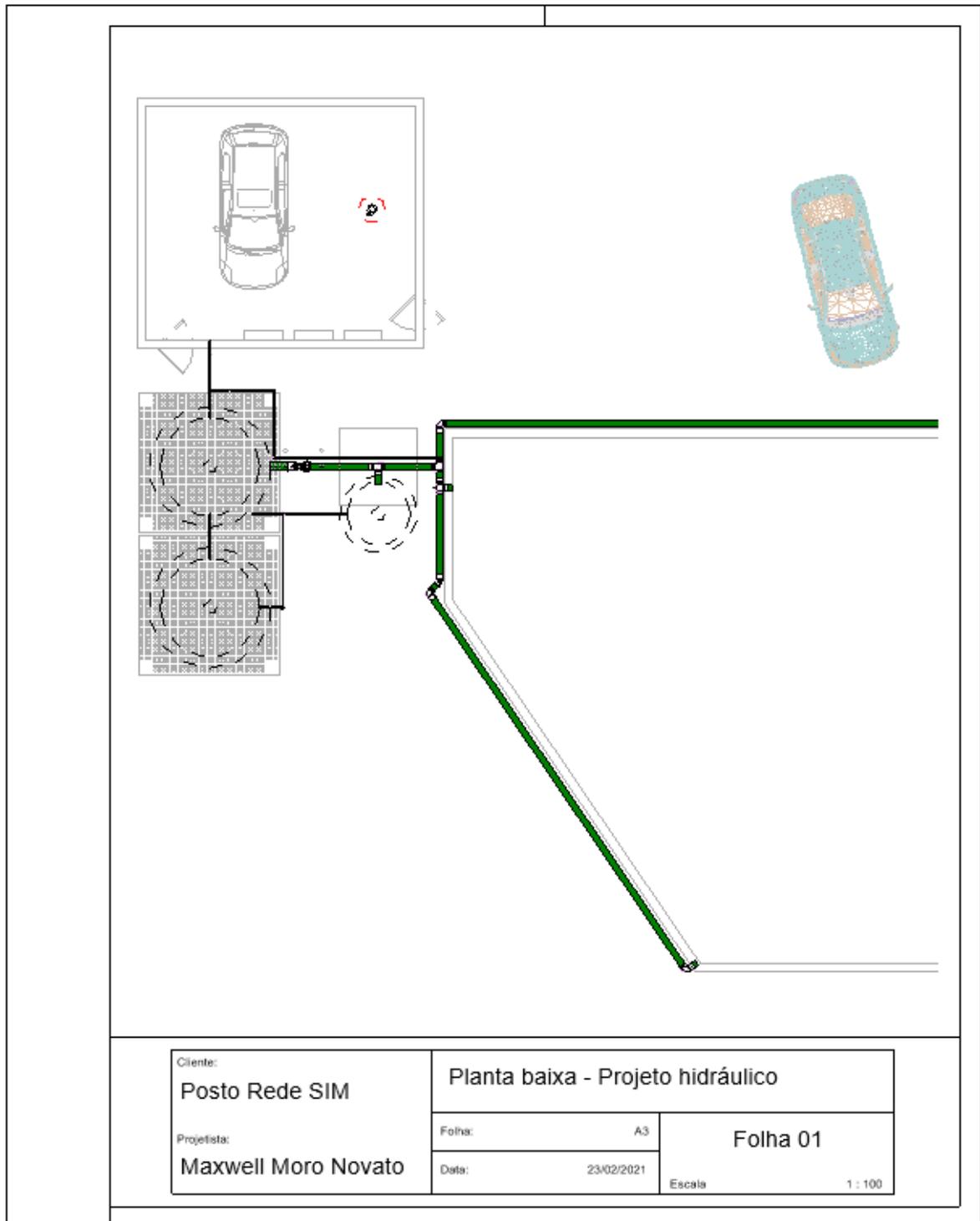
Figura 28 - Exemplo de instalação do filtro First Flush DM 150



Fonte: Casa da Cisterna.

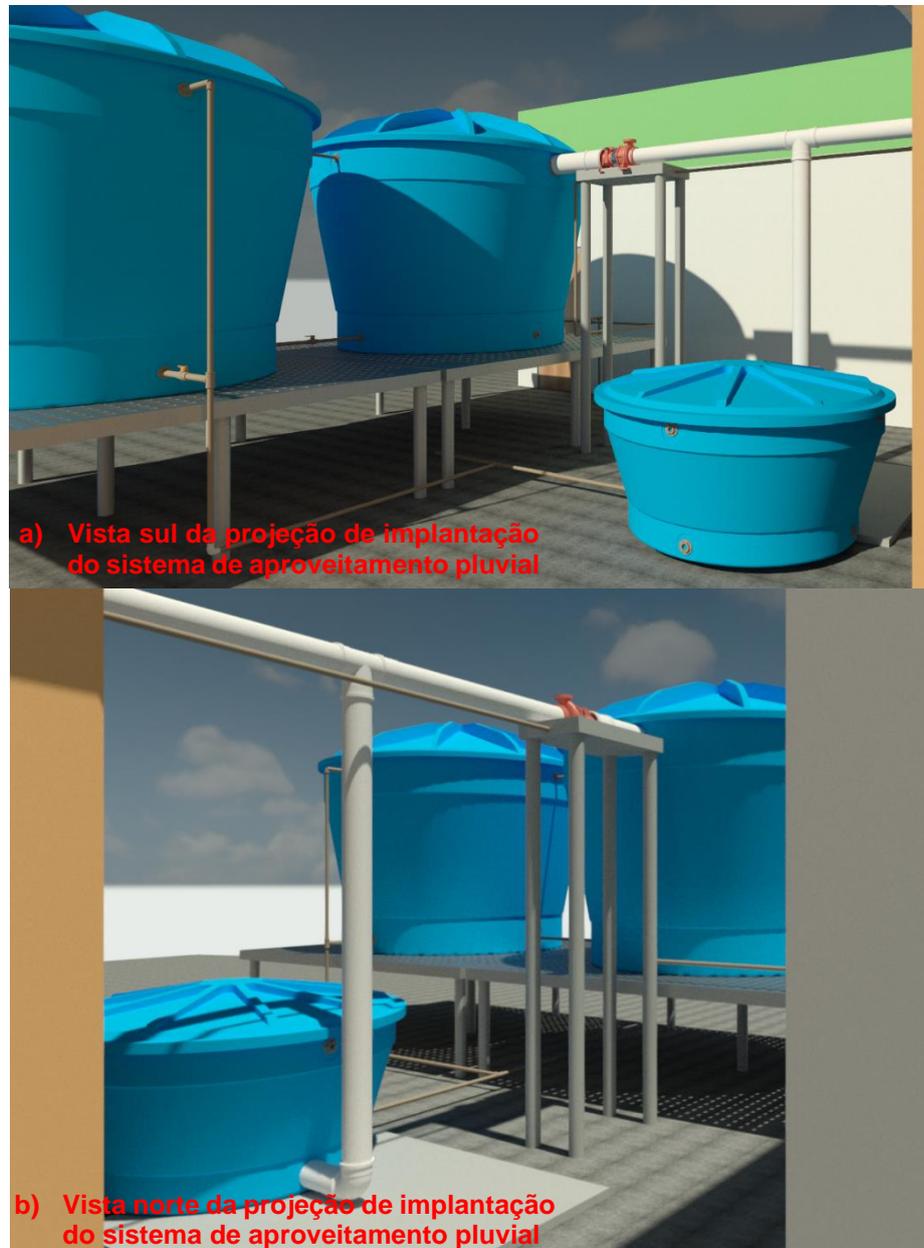
Na Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21 são apresentados os custos individuais e totais para implantação de um sistema de aproveitamento para lavagem de veículos, simulado para diferentes tamanhos de reservatórios. Vale ressaltar que todos os valores apresentados são referentes a pesquisas realizadas no mês de dezembro de 2020, nas respectivas lojas descritas ao lado de cada material. Foi dada preferência para empresas situadas na região ou que tivessem um preço vantajoso mesmo acrescido de frete. No caso das tubulações e conexões, como compete ao estabelecimento a escolha do local mais adequado para a lavagem, fez-se uma projeção de gastos em cada material. Para se encontrar uma estimativa aproximada do quantitativo, sugeriu-se um local e *layout* da lavagem com o sistema, na lateral leste do estabelecimento (Figura 29; Figura 30).

Figura 29 - Planta baixa do sistema de aproveitamento de água da chuva para lavagem de veículos



Fonte: Autor.

Figura 30 – Vistas gerais do sistema de aproveitamento de água da chuva com capacidade de 20.000 L



Fonte: Autor.

Tabela 19 - Projeção de custos com tubos e conexões na implantação do sistema de aproveitamento pluvial

<b>TUBULAÇÕES</b>			
	Valor unitário	Un	Valor total
Tubo em PVC 150 mm Plastubos	R\$ 130,50	7	R\$ 913,50
Tubo em PVC 32 mm Plastubos	R\$ 28,68	2	R\$ 57,36
Tubo em PVC 25 mm Tigre	R\$ 23,00	1	R\$ 23,00
Total (para todos os sistemas)			R\$ 993,86
<b>CONEXÕES</b>			
<b>25 mm</b>	Valor unitário	Un	Valor total
Joelho soldável 90 GR Tigre	R\$ 0,88	2	R\$ 1,76
Adaptador anel cx Amanco	R\$ 10,29	2	R\$ 20,58
Te soldável Tigre	R\$ 1,69	2	R\$ 3,38
<b>32 mm</b>			
Registro de esfera soldável tigre	R\$ 35,91	3	R\$ 107,73
Adaptador anel cx Fortlev	R\$ 22,26	6	R\$ 133,56
Te soldável Tigre	R\$ 5,20	2	R\$ 10,40
Joelho soldável 90 GR Tigre	R\$ 3,25	2	R\$ 6,50
<b>150 mm</b>			
Joelho esgoto 90 GR Amanco	R\$ 51,21	5	R\$ 256,05
Luva ESG SIM Tigre	R\$ 26,90	3	R\$ 80,70
Te ESG	R\$ 67,90	2	R\$ 135,80
Adesivo e fita veda rosca para PVC	R\$ 13,50	1	R\$ 13,50
Total (para todos os sistemas)			R\$ 769,96

Fonte: Autor.

Tabela 20 - Projeção de custos com reservatórios e filtros na implantação do sistema de aproveitamento pluvial

<b>Reservatórios e filtros</b>	
Material	Valor unitário
Reservatório 2.500 L	R\$ 1.709,99
Reservatório 5.000 L	R\$ 1.990,00
Reservatório 7.500 L	R\$ 4.688,66
Reservatório 10.000 L	R\$ 4.270,00
Reservatório 15.000 L	R\$ 7.471,80
Reservatório 20.000 L	R\$ 12.313,24
Kit filtro VF6	R\$ 8.402,70
First Flush DM 150	R\$ 2.089,99
Frete filtro e First Flush	R\$ 360,00
Base do reservatório	R\$ 5.500,00

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Projeção de custos totais para cada volume de reservatório na implantação do sistema de aproveitamento pluvial

<b>Volume</b>	<b>Reservatórios</b>	<b>Total</b>
15.000 L	1 de 5.000 L e 1 de 10.000 L	R\$ 24.376,51
20.000 L	2 de 10.000 L	R\$ 26.656,51
25.000 L	1 de 10.000 L e 1 de 15.000 L	R\$ 29.858,31
27.500 L	1 de 7.500 L e 1 de 20.000 L	R\$ 35.118,41
30.000 L	2 de 15.000 L	R\$ 33.060,11

Fonte: Autor.

Pode-se observar que os maiores custos para a implantação do sistema são referentes aos reservatórios, que terão impacto direto na avaliação financeira. Para essa análise em específico, o sistema que se apresentou menos vantajoso foi aquele com capacidade de 27.500 L, com um custo de R\$ 35.118,41. Mesmo que este reservatório tenha sido ligeiramente mais eficiente no atendimento da demanda, em comparação aos modelos com menor capacidade, isso por si só não foi suficiente para justificar a sua escolha a longo prazo.

Com relação às manutenções dos componentes do sistema de aproveitamento pluvial (descritos na Tabela 22) considerou-se que o estabelecimento utilizará mão-de obra própria, visto que as manutenções necessárias são de fácil execução; requerendo somente limpeza quando necessário.

Tabela 22 - Projeção dos gastos com a manutenção dos componentes do sistema de aproveitamento pluvial

<b>Produto / Revisão</b>	<b>Intervalo de tempo</b>	<b>Valor anual</b>
Dispositivo de descarte de detritos	Anual – proprietário	R\$ 0,00
Dispositivo de descarte inicial	Trimestral – proprietário	R\$ 0,00
Calhas	Quando necessário - proprietário	R\$ 0,00
Reservatório	Quando necessário - proprietário	R\$ 0,00
Clorador flutuante – Hcl penta	Mensal	R\$ 280,63
Solução de hipoclorito de sódio	Anual	R\$ 29,90
Análise de pH	Semestral	R\$ 120,00
Análise de Turbidez	Semestral	R\$ 120,00
Análise de Coliformes	Semestral	R\$ 600,00
	<b>Total</b>	<b>R\$ 1.150,53</b>

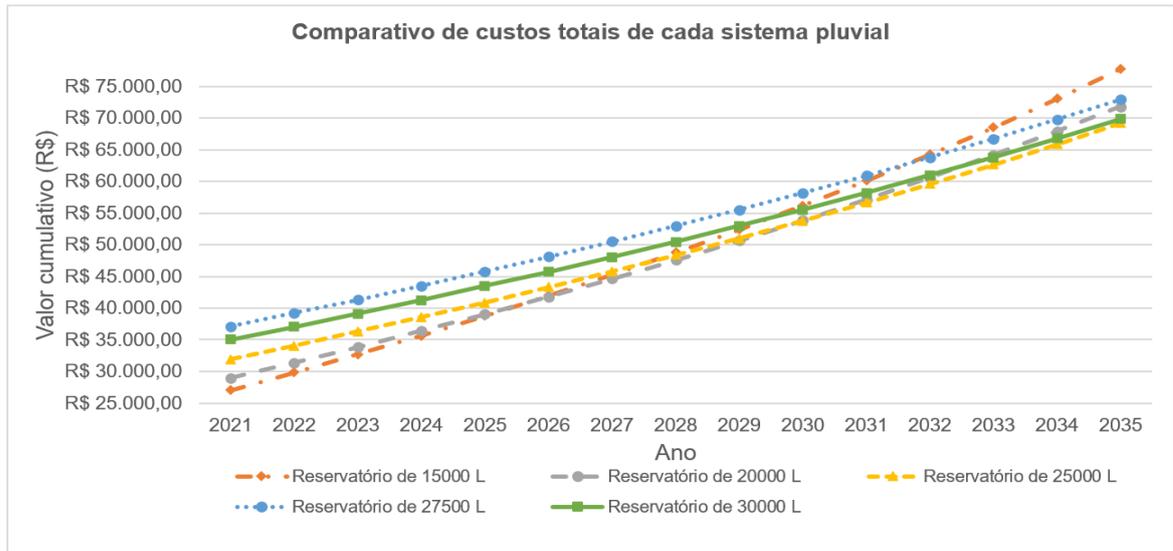
Fonte: Autor.

Na desinfecção da água armazenada optou-se pelo uso de cloro, visto que não é nocivo ao homem, é econômico e tem boa durabilidade. Considerou-se que serão usadas 4 unidades mensais (48 ao ano) já que, em todas as condições simuladas existem dois reservatórios e que, em média, 200 gramas de tabletes de cloro duram, aproximadamente, 15 dias em 30.000 litros de água. Para a análise da qualidade da água, que envolvem pH, turbidez e coliformes, optou-se por realizá-la no Laboratório de Engenharia de Meio Ambiente (LEMA), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Como a norma NBR 15527:2019 sugere uma frequência de monitoramento mínima semestral, foram estimados os custos de 4 análises por ano, por ser o sistema composto por dois reservatórios. Assim sendo, os gastos de manutenção anuais, desconsiderando a variação de valor dos produtos, serão de R\$ 1.150,53 (Tabela 22).

Na Figura 31 é apresentado um comparativo de custos totais para cada sistema de aproveitamento pluvial. O valor inicial, no ano de 2021, engloba os custos de implantação dos sistemas (Tabela 21), os gastos com manutenção anual (Tabela 22) e os custos operacionais com a CORSAN (Tabela 18). Já nas projeções para os demais anos, considerando que o filtro VF6 e o First Flush tenham uma vida útil de pelo menos 15 anos, entram na contabilidade apenas as duas últimas despesas mencionadas anteriormente.

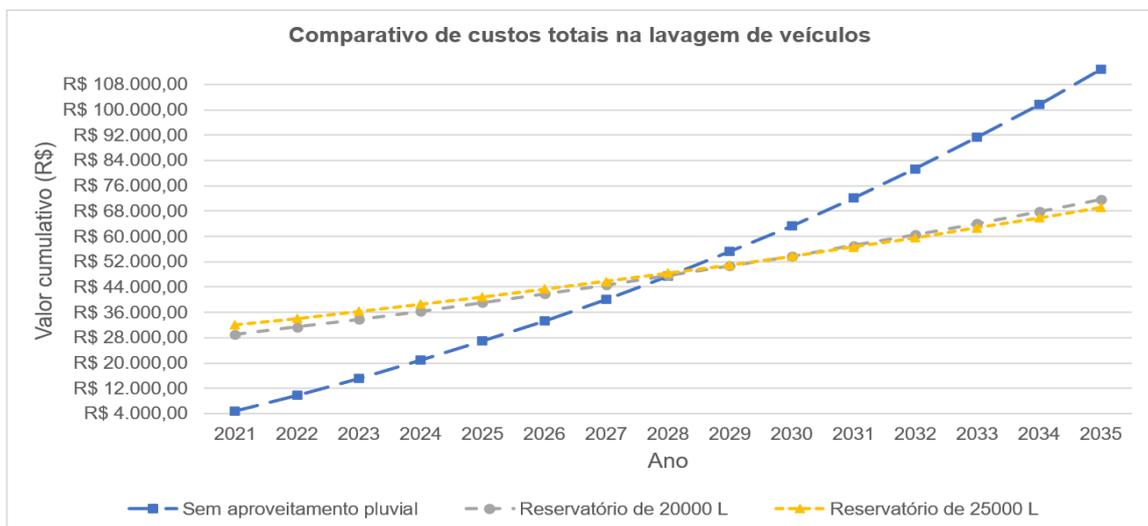
Assim sendo, entre os 5 sistemas analisados, os que se apresentaram mais satisfatórios foram o de 20.000 L e 25.000 L, visto que o modelo de 15.000 L não passou na eficiência mínima no atendimento da demanda, adotada nesse estudo. Já os demais reservatórios não oferecem vantagens no investimento quando relacionada a parte financeira com a eficiência dos sistemas no atendimento da demanda (Figura 31). A previsão de custo acumulado mais baixo durante os 15 anos, sem uma análise mais aprofundada do VPL, foi de R\$ 65.708,87, referente ao sistema de 25.000 L, e se mostra bem abaixo das projeções do modelo tradicional (Figura 32).

Figura 31 - Comparativo de custos totais com cada sistema de aproveitamento pluvial



Fonte: Autor.

Figura 32 - Comparativo de custos totais na lavagem de veículos com e sem aproveitamento pluvial



Fonte: Autor.

#### 4.2.4. Análise econômica e período de retorno

Uma metodologia nova de implantação de ideias em qualquer atividade só terá sucesso se for atraente dos pontos de vista social, ambiental e econômico (COSGROVE; RIJSBERMAN, 2000). Se olhado pela perspectiva da redução do

impacto ambiental gerado, os sistemas de aproveitamento de água da chuva para lavagens de veículos representam uma iniciativa extremamente positiva. Entretanto, é fundamental avaliar também a sua atratividade financeira para entender se há viabilidade econômica em sua implantação.

Como o período adotado para o estudo em questão foi de 15 anos, considerou-se a TMA fixada em 3,47% a.a., tendo por base a previsão do Tesouro IPCA+ 2035. Cardoso (2018) e Lage (2010), por exemplo, optaram pela média aritmética dos últimos três anos (2015-2017) e quatro anos (2006-2010), respectivamente, dos índices do IPCA.

Para se fazer a correta interpretação da análise financeira, projetou-se primeiro o potencial de economia anual com o sistema de aproveitamento pluvial em relação ao modelo convencional (Tabela 23). O período zero mostra o investimento inicial necessário para a implantação de cada sistema, e por isso aparece com valor negativo no fluxo de caixa, ao passo que os demais períodos representam a diferença de custos operacionais e gastos de manutenção anuais do sistema convencional para o de aproveitamento de água da chuva. Esse resultado retrata o potencial de economia anual para cada escolha de reservatório.

Tabela 23 - Diferença entre fluxo de caixa de cada sistema para o modelo tradicional

<b>Fluxo de caixa (FC) em reais</b>						
Ano	Período (j)	15.000 L	20.000 L	25.000 L	27.500 L	30.000 L
	0	-24.376,51	-26.656,51	-29.858,31	-35.118,41	-33.060,11
2021	1	2.078,93	2.426,25	2.670,03	2.734,44	2.777,65
2022	2	2.281,25	2.650,33	2.909,38	2.977,83	3.023,75
2023	3	2.496,25	2.888,45	3.163,73	3.236,47	3.285,26
2024	4	2.724,72	3.141,49	3.434,02	3.511,31	3.563,16
2025	5	2.967,50	3.410,38	3.721,24	3.803,37	3.858,47
2026	6	3.225,49	3.696,12	4.026,45	4.113,73	4.172,28
2027	7	3.499,64	3.999,76	4.350,78	4.443,53	4.505,75
2028	8	3.790,97	4.322,42	4.695,44	4.793,99	4.860,11
2029	9	4.100,55	4.665,30	5.061,68	5.166,41	5.236,67
2030	10	4.429,53	5.029,66	5.450,87	5.562,16	5.636,83
2031	11	4.779,12	5.416,84	5.864,45	5.982,71	6.062,05
2032	12	5.150,60	5.828,28	6.303,93	6.429,60	6.513,91
2033	13	5.545,36	6.265,50	6.770,94	6.904,49	6.994,08
2034	14	5.964,86	6.730,11	7.267,22	7.409,13	7.504,34
2035	15	6.410,63	7.223,82	7.794,58	7.945,39	8.046,56

Fonte: Autor.

Uma vez encontrada a projeção de fluxo de caixa em cada caso, o próximo passo para a correta verificação da viabilidade dos sistemas consistiu em analisar o VPL e TIR nos 15 anos. Para isso, utilizou-se a equação ( ) em cada período, somando-se os valores no fim.

Na Tabela 24, percebe-se que o sistema que renderá mais lucros ao fim de 15 anos é o de 25.000 L, gerando uma economia de R\$ 24.052,74 em relação ao modelo convencional. Porém, na análise da TIR, que está diretamente relacionada com o *payback*, o sistema que se saiu melhor foi o de capacidade 20.000 L, alcançando 7,98%; valor expressivamente acima da TMA, o que demonstrou que esse reservatório é bastante positivo para a escolha do investimento.

Tabela 24 - VPL e TIR para cada sistema de aproveitamento pluvial

<b>Fluxo de caixa atualizado em reais</b>						
Ano	Período (j)	15.000 L	20.000 L	25.000 L	27.500 L	30.000 L
	0	-24.376,51	-26.656,51	-29.858,31	-35.118,41	-33.060,11
2021	1	2.009,21	2.344,88	2.580,49	2.642,74	2.684,50
2022	2	2.130,81	2.475,55	2.717,52	2.781,45	2.824,34
2023	3	2.253,43	2.607,49	2.855,99	2.921,65	2.965,70
2024	4	2.377,19	2.740,81	2.996,02	3.063,45	3.108,69
2025	5	2.502,18	2.875,62	3.137,73	3.206,98	3.253,44
2026	6	2.628,50	3.012,03	3.281,22	3.352,35	3.400,06
2027	7	2.756,27	3.150,16	3.426,62	3.499,67	3.548,67
2028	8	2.885,59	3.290,12	3.574,05	3.649,07	3.699,40
2029	9	3.016,56	3.432,02	3.723,62	3.800,66	3.852,35
2030	10	3.149,29	3.575,97	3.875,45	3.954,57	4.007,65
2031	11	3.283,89	3.722,09	4.029,66	4.110,92	4.165,44
2032	12	3.420,46	3.870,50	4.186,37	4.269,83	4.325,82
2033	13	3.559,12	4.021,31	4.345,72	4.431,43	4.488,93
2034	14	3.699,97	4.174,65	4.507,81	4.595,84	4.654,90
2035	15	3.843,12	4.330,62	4.672,79	4.763,19	4.823,85
VPL (R\$)		19.139,08	22.967,31	24.052,74	19.925,38	22.743,63
TIR (a.a.)		7,33%	7,98%	7,56%	5,58%	6,61%

Fonte: Autor.

Resultados favoráveis do modelo de aproveitamento de água da chuva em relação ao modelo convencional também foram observados por Lage (2010), em que as taxas internas de retorno variaram entre 1,52% a.m. e 0,54% a.m. para um sistema de água pluvial em lavagem de veículos, e por Cardoso (2018), onde as taxas

encontradas foram de 1,67% a.m. e 1,08% a.m. para o aproveitamento de água pluvial em edifícios públicos. Tais achados, a exemplo do encontrado nesse estudo, demonstram que, em geral, é vantajoso do ponto de vista econômico o investimento em aproveitamento de água da chuva, desde que estipulado o reservatório mais adequado para cada situação.

Sendo assim, fica a critério do dono do estabelecimento escolher a opção que melhor lhe convém, considerando, para tal: ter um retorno financeiro maior, ou recuperar o investimento no menor prazo possível.

Com relação ao período de retorno, o sistema de 20.000 L apresentou o prazo mais curto, onde o capital investido seria retornado em 9 anos 2 meses e 13 dias (Tabela 25). Lage (2010), por exemplo, encontrou números semelhantes, com um período variando de 6 anos 1 mês e 29 dias a 12 anos 6 meses e 27 dias para os sistemas analisados.

Tabela 25 - *Payback* para cada sistema de aproveitamento pluvial

<b><i>Payback</i></b>			
15.000 L	9 anos	6 meses	28 dias
20.000 L	9 anos	2 meses	13 dias
25.000 L	9 anos	4 meses	25 dias
27.500 L	10 anos	6 meses	17 dias
30.000 L	9 anos	11 meses	4 dias

Fonte: Autor.

Assim sendo, tendo em vista a eficiência, os custos de implementação, a economia gerada, a taxa interna de retorno e o *payback*, pode-se concluir que é viável e recomendável o sistema de aproveitamento de água pluvial para a lavagem de veículos, e entre todas as análises, o sistema de 20.000 L é o que apresenta mais vantagens em sua implementação.

Apenas para fins de curiosidade, caso o estabelecimento venha a receber mais clientes do que os 15 previstos, os lucros com o investimento tendem a aumentar significativamente, ao passo que se fossem 20 veículos/dia, número coerente considerados os estabelecimentos com estrutura física semelhante, o VPL para o reservatório escolhido seria de R\$ 33.037,76 e a TIR de 10,89%.

## 5. CONCLUSÃO

O aproveitamento da água de chuvas, vem ganhando maior espaço nos dias atuais, tanto para fins residenciais quanto comerciais; sobretudo, pelo surgimento de sistemas de aproveitamento mais eficientes e que necessitam de menos manutenção, o que resulta em maior segurança, maior aplicabilidade e menor custo ao usuário. A crescente popularidade desses sistemas tem viabilizado a entrada no mercado de produtos mais acessíveis economicamente, o que torna mais vantajoso o aproveitamento de águas pluviais para fins potáveis e não potáveis, não somente no âmbito da sustentabilidade ambiental, mas também pelo seu apelo econômico-social.

Sem dúvida, a popularização e a intensificação do uso de sistemas de aproveitamento pluvial, dentro dos melhores padrões de segurança recomendados nas normas, trarão ganhos expressivos para a conservação da água para usos mais nobres e, a médio prazo, representarão ganhos financeiros para aqueles que os utilizarem.

No Brasil, um país com amplo potencial para tal alternativa de aproveitamento; é possível observar um aumento do interesse de empresas e da construção civil em investir em semelhantes tecnologias, embora essa prática ainda não esteja disseminada. Há que se considerar ainda que, além de contribuir para reduzir a escassez hídrica, o emprego de sistemas de aproveitamento pluvial poderá também auxiliar na redução da sobrecarga sobre as redes de drenagem urbana; possibilitando a diminuição do escoamento superficial e, por consequência, ajudando a minimizar a ocorrência de alagamentos e de inundações urbanas; problemas cada vez mais comuns nas cidades brasileiras.

De fato, muitos municípios têm, inclusive, incentivado através de legislações, o emprego de sistemas de aproveitamento pluvial e de outras técnicas como medidas compensatórias em drenagem urbana, de modo a assegurar as vazões de pré-urbanização ou, ao menos, garantir vazões na pós-urbanização dentro de valores pré-definidos. Em se tratando de legislações nacionais, nos últimos anos, houve, inclusive, importantes aperfeiçoamentos desse arcabouço legal, que passou a orientar com maior clareza técnica as medidas a serem seguidas para a garantia de um consumo pluvial saudável e seguro, sem riscos para a saúde; seja essa água utilizada para fins potáveis ou não potáveis.

É importante destacar ainda que, como o emprego de tais sistemas de aproveitamento traz também ganhos financeiros para o usuário, a criação de legislações municipais que tornem obrigatória a manutenção de vazões em patamares pré-estabelecidos, através do emprego de técnicas compensatórias em drenagem urbana, poderá ser melhor aceita pela população quando prevista a possibilidade da implantação desses sistemas de aproveitamento e não apenas de reservatórios de detenção.

Convém salientar, todavia, que a implantação de sistemas para o aproveitamento da água da chuva necessita de um estudo de viabilidade técnica e econômica, que auxilie na análise de custos *versus* benefícios na escolha dos componentes desse sistema; especialmente do tamanho do reservatório de armazenamento mais indicado para a demanda de consumo pretendida e para a área de captação disponível.

A avaliação do potencial da área de captação em função das precipitações locais, somada à observação e ao cálculo da eficiência no atendimento da demanda; do número de dias falhos consecutivos sem atendimento da demanda, do percentual de dias falhos totais sem atendimento às demandas; e do percentual de extravasamento do reservatório, são fatores que auxiliam na análise da viabilidade técnica de um sistema de aproveitamento pluvial. Esses fatores, ao serem considerados em conjunto com a análise econômica dos custos de implantação de tais sistemas indicarão a viabilidade financeira de se implantar ou não esse sistema de aproveitamento pluvial; e qual as melhores escolhas de volumes de reservatórios de acordo com o custo *versus* benefício e tempo de retorno do investimento.

Nesse estudo de caso, em específico, se investigou a viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema de aproveitamento pluvial para suprir o consumo de uma lavagem de veículos em um posto de combustíveis na cidade de Santa Maria; o qual dispunha de uma área para captação de 1.250 m<sup>2</sup>.

Entre as simulações dos sistemas de aproveitamento com eficiência acima de 90% no atendimento da demanda, o que excetuou o reservatório de 15.000 L, o reservatório de volume 20.000 L apresentou o melhor custo *versus* benefício, requerendo um investimento de R\$ 26.656,51. O uso de reservatórios maiores (25.000, 27.500 e 30.000 L), se comparado aos custos de sua implantação, não adicionou acréscimos significativos em termos de melhoria da eficiência no

atendimento da demanda do sistema, em número de dias falhos consecutivos sem atendimento da demanda e no percentual de dias falhos totais sem atendimento as demandas; ainda que tenha sido observado uma leve melhoria no atendimento à demanda (dias falhos totais) ao se progredir o reservatório de 15.000 L para 20.000 L e, desse último, para 25.000 L.

Para esse reservatório de 20.000 L, se comparado os gastos finais totais, a economia do sistema de aproveitamento de águas pluviais em relação ao modelo sem aproveitamento da chuva, superou os R\$ 22.000,00 em 15 anos; além de obter uma TIR de 7,98%, bem acima da TMA, o que tornou o investimento economicamente viável. Para um período de pelo menos 15 anos, o *payback* foi bastante satisfatório, com um retorno financeiro em 9 anos 2 meses e 13 dias.

Destarte, para os materiais e os parâmetros usados nesse estudo de caso, a implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva para lavagem de veículos no posto de combustíveis da Rede Sim, demonstrou viabilidade técnica e vantagem econômica sobre o uso exclusivo de água da companhia de saneamento para esse mesmo fim; sendo a melhor opção a médio prazo, o uso de reservatório de 20.000 L.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Volume 1. Brasília: ANA, 2010a. 72 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Volume 2. Brasília: ANA, 2010b. 92p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**. Relatório pleno. Brasília: ANA, 2017. 169 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013–2015**. Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Brasília: ANA, 2018. 79 p

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p.

AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA; J. M. Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya. **Water**, [S.l], v. 8, n.4, doi:10.3390/w8040149.

ANDRADE NETO, C. O. de. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Rio Grande do Norte, v.1, n.1, p. 73-86, 2013.

AQUASTOCK. **Tecnologia para o reaproveitamento de água de chuva**: catálogo de produtos. São Paulo: Aquastock, [s.d].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10281**: torneiras: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2015. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15491**: caixa de descarga para limpeza de bacias sanitárias: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2019a. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16782**: conservação de água em edificações: requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro, 2019b. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro, 2019c. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: sistemas prediais de água fria e água quente: projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020. 56 p.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído [online]**, Porto Alegre, v.8, n.2, p.85-98, 2008. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5360/3285>>.

AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS. **RAINWATER TANKS**. Austrália, 2013. Disponível em: <<https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/Lookup/4602.0.55.003main+features4Mar%202013>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BANCO MUNDIAL. **Apoiar os países em tempos sem precedentes**: relatório anual 2020. Washington: Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento, 2020. 106p.

BOS, R. et al. **Manual sobre os Direitos Humanos à água potável e saneamento para profissionais**. Londres: IWA, 2017. 120 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações**. SODRÉ, V.D. de A.; FUKASAWA, B.N.; Oliveira, M.R. Brasília-DF: CEBIC, 2019. 156p.

CAMPISANO, A.; BUTLER, 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**, [s. l.], v. 115, p. 195-209, mai. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>

CARDOSO, R. N. C. **Viabilidade econômica de sistemas de captação de água da chuva para fins não potáveis em dois prédios da Universidade Federal do Pará**. 2018. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

CARVALHO JUNIOR, R. de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. São Paulo: Blucher, 2017. 288p.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11. ed. [S. l.]: Atlas, 2010. 432p.

CHANG, M.; CROWLEY, C. M. Preliminary observations on water quality of storm runoff from four selected residential roofs. **Journal of The American Water Resources Association**, [S.l.], v.29, n.5, p. 777-83, out. 1993. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1993.tb03237.x>

COSGROVE, W.; RIJSBERMAN, F. **World Water Vision: Making Water Everybody's Business**. 1. ed. [S. l.]: Routledge, 2000. 136 p.

ENGEPLAS. **Aproveitamento de água da chuva**. Curitiba, [s.d.]. Disponível em: <[https://www.engeplas.com.br/produtos/pro\\_ver\\_sub.asp?fprocodi=8&fsubcodi=38](https://www.engeplas.com.br/produtos/pro_ver_sub.asp?fprocodi=8&fsubcodi=38)>. Acesso em: 22 dez. 2020.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4: Manual**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, jun. 2014. 62 p.

GHISI, E. Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in the Residential Sector of Brazil. **Building and Environment**, [S.l.], v.41, n.11, p.1544-50, nov. 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.018>

JONES, M. P.; HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l.], v. 54, n.10, p.623-29, ago. 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.002>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama: População: População no último censo**. [S. l.], 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9258-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 28 dez. 2020.

IPIRANGA. **Posto ecoeficiente: novos ares, novos rumos**. [S. l.], [20--]. Disponível em: <<https://portal.ipiranga/wps/portal/ipiranga/postoselojas/postoecoeficiente#dialog3>>. Acesso em: 28 out. 2020.

IPIRANGA. **SCAP: Sistema de captação de águas pluviais**. [S. l.], [20--]. Disponível em: <<https://portal.ipiranga/wps/portal/ipiranga/aempresa/sustentabilidade/maisiniciativas/scap/#:~:text=A%20%C3%A1gua%20pluvial%20%C3%A9%20captada,part%C3%A2culos%20s%C3%B3lidas%20oriundas%20do%20telhado.>>. Acesso em: 28 out. 2020.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v.2, n.1, p. 171-82, 2001. Doi: <https://doi.org/10.37779/nt.v2i1.1136>

LAGE, E. S. **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte**: Potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. 2010. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

LUCCHESE, A. A. **Aproveitamento de água pluvial para lavagem de veículos de uma empresa de transporte público**. 2020. 68p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2020.

MARINOSKY, A. K.; GHISI, E. Avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em habitação de baixo padrão: estudo de caso em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído [online]**, Porto Alegre, v.18, n.1, p.423-43, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100230>

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Brasília: MMA; ANA, 2007. 60p.

MORROW, A. C.; DUNSTAN, R. H.; COOMBES, P. J. Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. **Science of The Total Environment**, [S.l.], v.408, n.20, p.4542-48, set. 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.002>

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. de. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, São Paulo, v.2, n.1, p.36-48, 2010.

RECEITA FEDERAL DO BRASIL. Instrução normativa RFB nº 1700, de 14 de março 2017. Dispõe sobre a determinação e o pagamento do imposto sobre a renda e da contribuição social sobre o lucro líquido das pessoas jurídicas e disciplina o tratamento tributário da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins no que se refere às alterações introduzidas pela Lei nº 12.973, de 13 de maio de 2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de mar. 2017. Seção 1, p. 23. Disponível em: <<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=compilado&idAto=81268#1706802>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Demografia: Taxa de urbanização**. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. 5. ed. Porto Alegre, 2020a. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/grau-de-urbanizacao>>. Acesso em: 14 ago. 2020

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. **Meio ambiente: Abastecimento de água**. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. 5. ed. Porto Alegre, 2020b. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/abastecimento-de-agua>>. Acesso em: 14 ago. 2020

ROEBUCK, R. M.; ASHLEY, R. M. Predicting the hydraulic and life-cycle cost performance of rainwater harvesting systems using a computer-based modelling tool.

**Water Practice and Technology**, [S.l.], v.2, n.2, 2007. Doi: <https://doi.org/10.2166/wpt.2007.046>

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído [online]**, Porto Alegre, v.11, n.4, p.47-64, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000400005>

SARI, V. et al. Eficiência de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em municípios do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. **REGA**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 37-52, jul./dez. 2010.

SELBORNE, L. **A Ética do Uso da Água Doce**: um levantamento. Brasília: UNESCO, 2001. 80 p. (Cadernos UNESCO Brasil. Série Meio Ambiente, volume 3).

SERGIPE. Governo do Estado, Secretaria de Estado da Saúde. **Nutricionista orienta sobre hidratação e alimentação balanceada**. Aracaju, 2020. Disponível em: <<https://www.saude.se.gov.br/nutricionista-orienta-sobre-hidratacao-e-alimentacao-balanceada/>>. Acesso em: 8 fev. 2021

SILVA, J. A. **Gestão de Recursos Hídricos e Sistemas de Informações Geográficas**: Contribuições Para a Organização Sócio-Espacial do Pontal do Paranapanema-SP. 2006. 225f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2006.

SILVA, M. C. da.; KUTIANSKI, S.; SCHERER, L. M. Fatores determinantes na variação da taxa de depreciação: estudo empírico em empresas listadas do setor de bens industriais. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 14., 2014, Natal/RN. **Anais...** Natal/RN: Associação Brasileira de Custos, 2014. Disponível em: <[file:///D:/Usu%C3%A1rios/Nova%20pasta%20\(4\)/3834-3928-1-PB.pdf](file:///D:/Usu%C3%A1rios/Nova%20pasta%20(4)/3834-3928-1-PB.pdf)>. Acesso em: 05 de jan. de 2021.

TEIXEIRA, C. A. et al. 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 [online]**, Porto Alegre, v.17, n.2, p.135-155, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000200150>.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. 1. ed. São Paulo: Navegar, 2003. 180p.

TESOURO DIRETO. **Confira a rentabilidade de cada título**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.tesourodireto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

UMAPATHI, S.; CHONG, M. N.; SHARMA, A. K. **Investigation and monitoring of twenty homes to understand mains water savings from mandated rainwater**

**tanks in South East Queensland.** Queensland: Urban Water Security Research Alliance; 2012. 37p.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017.** Águas residuais: o recurso inexplorado. Resumo executivo. Umbria: UN Water, 2017.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019.** Não deixar ninguém para trás – fatos e dados. Resumo executivo. Perúgia: UN Water, 2019. 12p.

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários. Projetos Práticos e Sustentáveis.** 1. ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2019. 427p.

WORLD BANK GROUP. **World development indicators 2016.** Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development, 2016. 180 p.