

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

JULIA FRÓES DE SOUSA SOBRINHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO REÚSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS E CINZAS EM EDIFICAÇÕES – ESTUDO DE CASO**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói
2021

JULIA FRÓES DE SOUSA SOBRINHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO REÚSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS E CINZAS EM EDIFICAÇÕES – ESTUDO DE CASO**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:

Prof. Paulo Luiz da Fonseca D.Sc.

Coorientadora:

Prof.^a Renata Gonçalves Faísca. D.Sc.

Niterói
2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S677a Sobrinho, Julia Fróe de Sousa
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO REÚSO DE
ÁGUAS PLUVIAIS E CINZAS EM EDIFICAÇÕES ? ESTUDO DE CASO /
Julia Fróe de Sousa Sobrinho ; Paulo Luiz da Fonseca,
orientador ; Renata Gonçalves Faisca, coorientador.
Niterói, 2021.
79 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2021.

1. Reúso de águas cinzas. 2. Aproveitamento de água
pluvial. 3. Análise econômico-financeira. 4.
Sustentabilidade dos recursos hídricos. 5. Produção
intelectual. I. Fonseca, Paulo Luiz da, orientador. II.
Faisca, Renata Gonçalves, coorientador. III. Universidade
Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

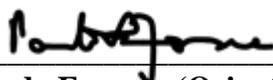
JULIA FRÓES DE SOUSA SOBRINHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO REÚSO DE ÁGUAS
PLUVIAIS E CINZAS EM EDIFICAÇÕES – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Civil, como requisito parcial
para conclusão do curso.

Aprovada em 07 de maio de 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Paulo Luiz da Fonseca (Orientador) - UFF

RENATA GONCALVES FAISCA Assinado de forma digital por
renatafaisca@id.uff.br:019614 RENATA GONCALVES FAISCA
renatafaisca@id.uff.br:01961405792
05792 Dados: 2021.05.19 15:34:56 -03'00'

Prof.^a Renata Gonçalves Faisca (Coorientadora) - UFF



Prof. Elson Antonio do Nascimento - UFF



Eng. Cristiano Saad Travassos do Carmo - UFF

Niterói
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o esforço investido na minha educação. Assim como às minhas irmãs pela amizade e apoio sempre que eu precisei.

Ao meu namorado que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico e sempre acreditando no meu potencial. Além dos meus fiéis amigos, principalmente os do meio acadêmico, que na relação de amizade e troca me ajudaram a chegar até aqui.

Sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo meu professor Paulo Luiz da Fonseca, orientador do meu trabalho, e pela professora Renata Gonçalves Faísca, minha coorientadora. Obrigada por me manter motivada e pela atenção dispensada que se tornou essencial para a conclusão do projeto.

Um agradecimento especial ao engenheiro Cristiano Travassos, por me ceder o projeto arquitetônico utilizado nesse projeto. Obrigada também por todo incentivo de estudar sempre novas tecnologias relacionadas à Engenharia Civil.

Por fim, gostaria de agradecer também à Universidade Federal Fluminense e a todos os seus professores que sempre proporcionaram ensino de alta qualidade.

RESUMO

Neste projeto, estudou-se a implementação dos sistemas de aproveitamento de água da chuva e reúso de águas cinzas, para fins não potáveis, como uma metodologia de preservação dos recursos hídricos. Para tal, foi realizada a análise técnica e econômica desses sistemas aplicados em um edifício multifamiliar, localizado, hipoteticamente, na cidade de Porto Alegre. No projeto proposto, a água da chuva será aproveitada para atividades localizadas no térreo do prédio, como irrigação de jardins, lavagem de carros e pisos, enquanto as águas cinzas serão reutilizadas para o abastecimento das bacias sanitárias de todos os banheiros do edifício. Aplicando as metodologias desenvolvidas ao longo do trabalho, constatou-se uma alta economia no consumo de água potável, o que torna o projeto viável e sustentável. Além disso, ao fazer a análise econômica dos sistemas, aplicando os conceitos do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e payback, os sistemas aplicados apresentaram uma economia estimada de até R\$ 380.195,34 ao valor pago para a concessionária de abastecimento de água da cidade, com um período de retorno relativamente baixo. O estudo sugere que o aproveitamento de água da chuva e o reúso de águas cinzas são recursos sustentáveis no ramo de Engenharia Civil, ao passo que contribui para preservação ambiental, diminuindo os efeitos da crise hídrica, e ainda podem oferecer benefícios financeiros.

Palavras-chave: Aproveitamento de água da chuva, reúso de águas cinzas, fins não potáveis, recursos hídricos, análise econômica, preservação ambiental.

ABSTRACT

In this project, we studied the implementation of rainwater reuse and water reuse systems, for non-potable purposes, as a methodology for the preservation of water resources. At the same time, a technical and economic analysis of the structural system was carried out in a multifamily building, hypothetically located in the city of Porto Alegre. No proposed project, rainwater will be used for activities on the ground floor of the building, such as irrigating gardens, washing cars and floors, while gray waters will be reused to supply sanitary basins for all bathrooms in the building. Applying the methodologies developed throughout the work, it was found a high economy in the consumption of drinking water, which makes the project viable and sustainable. In addition, when doing the economic analysis of the systems, applying the concepts of net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and payback, the systems dissipated an estimated savings of up to R\$ 380,195.34 to the amount paid to the city's water supply concessionaire, with a relatively low payback period. The necessary study that the use of rainwater and the reuse of gray waters are sustainable resources in the field of Civil Engineering, while contributing to environmental preservation, reducing the effects of the water crisis, and can still offer financial benefits.

Keywords: Use of rainwater, reuse of gray, non-potable water, water resources, economic analysis, environmental preservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de aproveitamento de água pluvial.....	18
Figura 2 - Sistema de reúso de águas cinzas.	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de demanda residencial de água em usos internos.	21
Tabela 2 - Parâmetros de demanda residencial de água em usos externos.	22
Tabela 3 - Consumo de água residencial.	22
Tabela 4 – Estimativa de demanda de água não potável para usos internos.	23
Tabela 5 - Estimativa de demanda de água não potável para usos externos.	23
Tabela 6 - Dados pluviométricos de Porto Alegre.	30
Tabela 7 – Dimensionamento do reservatório pelo método Rippl.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estimativa do consumo de água potável	29
Quadro 2 – Estimativa do consumo de água pela irrigação de jardins.....	29
Quadro 3 – Estimativa do consumo de água para limpeza de pisos.....	29
Quadro 4 – Estimativa do consumo de água pela lavagem de carros.	30
Quadro 5 – Estimativa do consumo das bacias sanitárias.	34
Quadro 6 – Estimativa do consumo nos chuveiros.	34
Quadro 7 – Estimativa do consumo nas torneiras dos banheiros.	34
Quadro 8 - Tubulação de recalque e sucção	36
Quadro 9 - Dimensionamento dos barriletes	37
Quadro 10 - Estimativa dos custos de implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva.....	38
Quadro 11 - Estimativa de custos da implantação do sistema de reúso de águas cinzas	39
Quadro 12 - Custo por hora dos profissionais solicitados.....	41
Quadro 13 - Estimativa dos custos com mão de obra	41
Quadro 14 - Custos de manutenção e operação para o sistema.....	43
Quadro 15 - Economia de água em reais	44
Quadro 16 - VPL e TIR do sistema de aproveitamento de água da chuva.....	45
Quadro 17 – VPL e TIR do sistema de reúso de águas cinzas.	46
Quadro 18 - VPL e TIR do sistema integrado de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas	48
Quadro 19 - Parâmetros para análise econômica do projeto de aproveitamento de água da chuva.....	50
Quadro 20 - Parâmetros para análise econômica do reúso de águas cinzas.	50
Quadro 21 - Parâmetros para análise econômica dos sistemas integrados.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agencia Nacional de Águas
PCC	Projeto de Conclusão de Curso
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFF	Universidade Federal Fluminense
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Considerações Iniciais	13
1.2.	Objetivos da pesquisa	14
1.2.1.	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2.	<i>Objetivo Específico</i>	14
1.3.	Metodologia	15
1.4.	Organização do texto	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	Sistema de aproveitamento de água da chuva	17
2.2.	Sistema de reúso de águas cinzas	19
2.3.	Demanda de água não potável	21
2.4.	Estudo da viabilidade econômica	24
2.4.1.	<i>VPL</i>	24
2.4.2.	<i>Taxa interna de retorno (TIR)</i>	25
2.4.3.	<i>Payback</i>	26
3	ESTUDO DE CASO	28
3.1.	Características da edificação	28
3.2.	Viabilidade técnica do aproveitamento de águas pluviais	28
3.2.1.	<i>Demanda de água não potável</i>	28
3.2.2.	<i>Oferta pluviométrica de Porto Alegre</i>	30
3.2.3.	<i>Descrição do sistema de aproveitamento de água pluvial</i>	31
3.3.	Viabilidade técnica do reúso de águas cinzas	33
3.3.1.	<i>Demanda e oferta de água não potável</i>	33
3.3.2.	<i>Descrição do sistema de reúso</i>	35
4	ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DOS PROJETOS	38

4.1.	Custos para implantação	38
4.2.	Custos de manutenção e operação	42
4.3.	Economia no consumo de água e geração de esgoto	43
4.4.	Análise da viabilidade econômica	44
4.4.1.	<i>Sistema de aproveitamento de águas pluviais, para fins não potáveis</i>	44
4.4.2.	<i>Sistema de reúso de águas cinzas</i>	46
4.4.3.	<i>Sistema integrado: Aproveitamento de águas pluviais + reúso de águas cinzas</i> 47	
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1.	Viabilidade técnica dos sistemas	49
5.2.	Viabilidade econômica dos sistemas	49
6	CONCLUSÃO	52
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
8	APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO DO EDIFÍCIO	58
9	APÊNDICE B – PROJETO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS ...	63
10	APÊNDICE C – PROJETO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O aumento pela demanda de água potável, impulsionada por fatores como o crescimento populacional desordenado em grandes centros urbanos, evidência a importância na adoção de alternativas sustentáveis de abastecimento do recurso hídrico. Como estratégia de minimizar os efeitos da escassez de água, surgem algumas possibilidades, como a racionalização de água, aproveitamento de águas pluviais, reúso de águas cinzas, dessalinização da água do mar, assim como, transposição de rios.

É evidente a importância da água para manutenção da vida de todos os seres vivos, além de ser fundamental no desenvolvimento econômico. A necessidade de gerenciamento hídrico é evidente a medida em que a demanda por água aumenta. Frente a isso, medidas que contribuem com a preservação e disponibilidade desse recurso, desde sua captação e distribuição, até ao tratamento das águas usadas, torna-se necessário para o desenvolvimento sustentável da água. Nesse contexto, métodos de educação ambiental à população, o controle do abastecimento de indústrias e agrícola, bem como um melhor desempenho político, contribuem juntos para a garantia do recurso hídricos às gerações futuras (SOBRINHO, 2020).

Segundo Cunha (2011), os sistemas que apresentam maior aplicabilidade são o aproveitamento de água pluviais e o reúso de água cinza, principalmente pela facilidade de coleta e armazenamento em nível doméstico, não havendo necessidade de tecnologias sofisticadas. Essas técnicas propõem a utilização de água da chuva ou cinza, para atividades de fins não potáveis, tais como, lavagem de veículos, irrigação de jardins, abastecimento de bacias sanitária, assim como, lavagem de roupas e pisos.

O aproveitamento de águas pluviais é considerado uma prática milenar, já adotada por antigas civilizações, e nos últimos anos tem sido inserida na gestão de recursos hídrico de vários países. Além de diminuir o consumo de água potável, a captação da água da chuva, contribui para a redução de enchentes nos grandes centros urbanos. No Brasil, esse sistema já possui uma norma específica, além de legislações municipais e estaduais, entretanto, ainda é pouco utilizado nas edificações do país.

O reúso de águas cinzas, tem o objetivo de utilizar o efluente produzido e tratado, em atividades com menor exigência. É uma técnica amplamente utilizada em países que apresentam frequentes problemas relacionados a falta de água, como Japão, Austrália, Reino

Unido e Alemanha. Apesar disso, no Brasil, o reúso ainda não possui uma norma específica, possuindo, entretanto, legislações em alguns municípios e estados.

As condições técnicas dos sistemas de aproveitamento de água da chuva e reúso de águas cinzas consistem no dimensionamento dos componentes, tais como, área de captação, caixas de inspeção, calhas, condutores, reservatórios, instalações prediais, além da manutenção. Ainda é verificado na viabilidade técnica, a demanda de água não potável da edificação, considerando os pontos de uso para a mesma. Assim como, é importante realizar o levantamento do volume de água da chuva aproveitável, baseado na área de captação e no índice pluviométrico da região.

Embora as alternativas citadas de sistemas prediais de água não potável apresentarem viabilidade técnica, além de ser importantes meios de preservação dos recursos hídricos, a implantação desses sistemas depende também da viabilidade econômica e aceitação social. Sendo assim, o presente trabalho tem a finalidade de avaliar no ponto de vista econômico a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e reúso de águas cinzas em edificações.

1.2. Objetivos da pesquisa

1.2.1. Objetivo Geral

Elaborar um estudo econômico-financeiro para implantação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, para fins não potáveis, com aplicação em estudo de caso em um edifício residencial multifamiliar localizado na cidade de Porto Alegre.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisa exploratória e bibliográfica com ênfase no estudo econômico para reúso e aproveitamento de águas pluviais.
- Prever a demanda de água não potável do edifício em estudo.
- Estimar os custos para implantação para os sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.
- Realizar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas propostos.

1.3. Metodologia

A metodologia para desenvolvimento desse projeto final foi baseada em pesquisa exploratória, utilizando referências bibliográficas como artigos científicos, livros, decretos municipais e estaduais publicados, além de normas brasileiras. Além disso, um estudo de caso foi realizado, com o objetivo de analisar os conceitos abordados na prática.

A pesquisa bibliográfica é definida por Gil (2002), como um apanhado constituído, principalmente, por livros e artigos científicos. Sua proposta é analisar diferentes posições que englobam um determinado assunto (Gil, 2002). Marconi & Lakatos (2003) declaram ainda que essa pesquisa é elaborada a partir de importantes trabalhos realizados com capacidade de enriquecer o material a ser feito com dados atuais e relevantes. O estudo dessa literatura é fundamental para evitar erros e contribuir para planificação do trabalho com novas indagações relacionadas ao tema.

Enquanto o estudo de caso é um método de pesquisa que utiliza, geralmente, dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. Caracteriza-se por ser um estudo detalhado e exaustivo de poucos, ou mesmo de um único objeto, fornecendo conhecimentos profundos (Eisenhardt, 1989; Yin, 2009).

1.4. Organização do texto

Esse PCC está estruturado em 5 capítulos, cuja descrição sucinta será apresentada na sequência.

O capítulo 2 compreende uma revisão bibliográfica, abordando os conceitos e estudos desenvolvidos por diferentes autores com o tema de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, para fins não potáveis em edificações. Além disso, foi desenvolvido o tema de avaliação econômica e financeira de investimentos.

No capítulo 3 é efetuado um estudo de caso, por meio de um projeto de reúso de águas cinzas e aproveitamento de água da chuva em uma edificação. É estudada a viabilidade técnica das três opções de projeto, na situação isolada de cada projeto, além da situação integrada dos dois projetos no edifício.

O capítulo 4 consiste na análise financeira dos projetos isolados de aproveitamento de água da chuva e reúso de águas cinzas, além da análise do conjunto dos dois projetos. Para isso,

foi feito a estimativa dos custos para o investimento inicial, de mão de obra e manutenção para implementação dos projetos, além da economia dos gastos com a concessionária de água que cada sistema proporciona.

No capítulo 5 são discutidos os resultados obtidos com as análises técnicas e financeiras, realizadas nos capítulos anteriores. São comparadas as três situações de projeto, apresentando suas vantagens do ponto de vista técnico e financeiro, e por fim decidido o melhor projeto a ser implementado.

O capítulo 6 consiste na conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistema de aproveitamento de água da chuva

No Brasil, os recursos hídricos representam 11% dos recursos mundiais e 50% da América do Sul. Entretanto, a distribuição das fontes de água e bacias hidrográficas no país não é uniforme durante os períodos do ano e nem ao longo de sua extensão geográfica. Devido à essa falta de uniformidade na distribuição dos recursos hídricos, algumas regiões sofrem com problemas de escassez com maior intensidade e frequência (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2001).

O aproveitamento de água da chuva torna-se um uma das alternativas viáveis para substituição da água potável no abastecimento de edificações. Além de contribuir com a conservação do recurso hídrico, é uma solução que, segundo Bertolo (2006), diminui a erosão local e as inundações provocadas pelo escoamento superficial resultado de impermeabilizações, tais como telhados de habitações e pavimentos. Deste modo, o escoamento superficial que poderia degradar canais e concentrar poluentes é convertido em água que será captada e posteriormente utilizada para consumo.

Além das questões de abastecimento, diminui a erosão local e as inundações provocadas pelo escoamento superficial resultado de impermeabilizações, tais como telhados de habitações e pavimentos. Deste modo, o escoamento superficial que poderia degradar canais e concentrar poluentes é convertido em água que será captada e posteriormente utilizada para consumo (BERTOLO, 2006)

Para o estudo da implantação de um sistema de coleta de água da chuva para fins não potáveis, deve ser realizado um levantamento, visando selecionar um modelo de sistema de captação e aproveitamento da água pluvial que apresentasse, não somente custos mais baixos, mas também eficiência e durabilidade para ser implementado (BELO E NASCIMENTO, 2010).

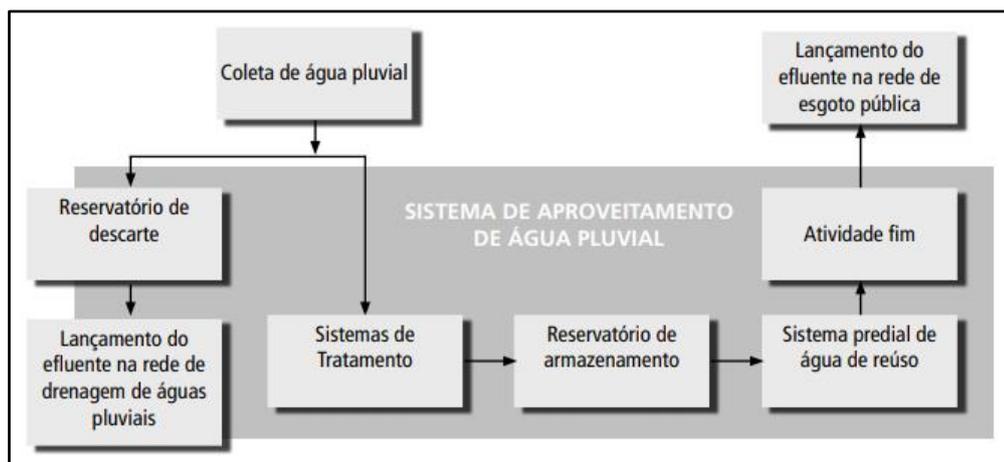
Um estudo feito por Ghisi (2006) avaliando o potencial de economia de água potável que poderia ser atingido utilizando águas pluviais no Brasil, concluiu que o potencial de economia que poderia ser atingido variou de 48 a 100%. O estudo relacionou dados de precipitação, áreas de captação de águas pluviais e consumo per capita nas cinco regiões do país. Com exceção da região sudeste, as outras regiões apresentaram potencial

de economia de mais de 50%, demonstrando a viabilidade do uso de água pluvial para substituição de água potável em usos não potáveis, proporcionando economia.

O sistema de coleta e aproveitamento de água da chuva já vem sendo utilizado em algumas regiões do Brasil, principalmente no Nordeste, entretanto, as legislações e normas técnicas sobre o procedimento são recentes. Apenas em 2007 foi criada a norma NBR 15527/2007 - Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, onde fornece diretrizes sobre a concepção do sistema de aproveitamento.

O sistema de aproveitamento de água pluvial funciona a partir da captação, transporte, armazenamento e utilização da água da chuva, no qual, o fluxograma pode ser visualizado na Figura 1. As instalações devem obedecer, obrigatoriamente, às instruções contidas nas normas: NBR 10844 (ABNT, 1989), para as calhas e condutores horizontais e verticais; NBR 12213 (ABNT, 1992), para as grades de remoção de detritos; NBR 15527 (ABNT, 2007), que dispõe sobre a utilização da água de chuva para fins não potáveis e seus requisitos; NBR 12217 (ABNT, 1994), para o projeto de preservação; NBR 12214 (ABNT, 1992), para o sistema de bombeamento de água; e NBR 5626 (ABNT, 1998), que aborda as instalações prediais de água fria (KUCHINSKI e GASTALDINI, 2017).

Figura 1 - Sistema de aproveitamento de água pluvial.



Fonte: SindusCon-SP, 2005

De acordo com a NBR 15527 (ABNT,2007), é possível determinar o volume de água aproveitável de acordo com a área da coleta, precipitação média no local, coeficiente de escoamento superficial, além da eficiência do sistema de captação. Outra recomendação da norma, é em relação ao descarte dos primeiros 2 mm de chuva, para evitar a contaminação.

2.2. Sistema de reúso de águas cinzas

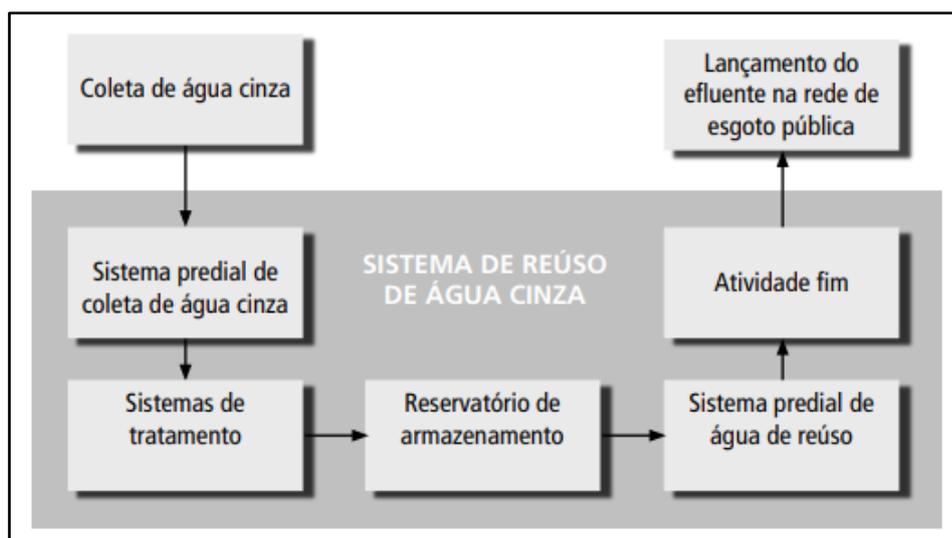
Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), a água cinza é um efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, ou seja, corresponde ao efluente gerado pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pias de cozinha.

As águas cinzas se apresentam como uma viável fonte de substituição de água potável para aplicações em atividades menos exigentes, já largamente utilizada em diversos países, como Japão, Canadá e Alemanha. Segundo May (2009), essa prática apresenta grande potencial de abastecimento, pois diferentemente das águas pluviais, as águas cinzas não dependem dos índices pluviométricos, apenas das vazões oriundas do uso da água potável na edificação.

Basicamente, o sistema de reúso de águas cinzas é composto por três etapas, cujo fluxograma encontra-se ilustrado na Figura 2, e descritas de acordo com May e Hespanhol (2006):

1. Coleta: sistema de condutores verticais e horizontais, para o transporte do efluente do chuveiro, lavatório e máquina de lavar, até o sistema de armazenamento.
2. Armazenamento: composto por um ou mais reservatórios para armazenar o conteúdo proveniente dos coletores;
3. Tratamento: dependerá da qualidade que a água coletada deverá receber, para atender às necessidades do seu destino.

Figura 2 - Sistema de reúso de águas cinzas.



Fonte: SindusCon-SP, 2005

Apesar de o reúso ser uma realidade em muitos países, o Brasil apresenta poucas legislações que regulamentam o reúso de águas, e nenhuma norma. Na NBR 13969 (ABNT, 1997) Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação - contém a descrição de que caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação 36 dos campos agrícolas e pastagens.

Segundo Jeppesen (1997), as orientações para o aproveitamento doméstico de água cinza são: proteger as pessoas de doenças transmitidas pela água devido à operação de instalações de reutilização; assegurar que as instalações não causem nenhum dano ambiental para a vizinhança; e aplicar a água cinza em um sistema que resulte numa boa relação custo-benefício.

2.3. Demanda de água não potável

Uma das primeiras etapas para viabilização do projeto de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, consiste em avaliar se a quantidade de água armazenada atende a demanda de água para fins não potáveis.

A demanda residencial pela água difere, de região para região, de acordo com o modo e padrão de vida da população. Segundo Anecchini (2005) o consumo de água em uma habitação é influenciado por diversos fatores, tais como o clima, a renda familiar, habitantes na residência, cultura e gestão do sistema de abastecimento.

Os usos da água em uma residência podem ser internos e externos e sua quantificação é, geralmente, feita por estimativa de demanda, visto que as pesquisas no Brasil com relação ao consumo residencial de água são escassas (TOMAZ, 2003).

Ainda segundo Tomaz (1999), nos Estados Unidos o consumo de água potável residencial é estimado de modo semelhante ao adotado pelas companhias americanas de eletricidade, baseado em parâmetros de engenharia. Tais parâmetros estão relacionados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Parâmetros de demanda residencial de água em usos internos.

Uso interno	Unidade	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Provável
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5	4
Nº de pessoas na casa	Pessoa	2	5	3,5
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	Minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,30	0,15
Máquina de lavar roupas	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108
Torneira da cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira do banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15

Fonte: DZIEGIELEWSKI et. al., 1993, apud TOMAZ, 1999.

Tabela 2 - Parâmetros de demanda residencial de água em usos externos.

Uso externo	Unidade	Valores
Casas com piscina	porcentagem	0,1
Gramado ou jardins	Litro/dia.m ²	2
Lavagem de carros	Litros/lavagem.carros	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Manutenção da piscina	Litros/dia/m ²	3
Lavagem de pisos	L/dia.m ²	4

Fonte: DZIEGIELEWSKI et. al., 1993, apud TOMAZ, 1999.

Em 1986, Brown e Caldwell dos Estados Unidos também chegaram a seguinte estimativa de consumo, apresentada por Dziegielewski (1993) conforme Tabela 3. A bacia sanitária consome 35% da água do consumo interno de uma residência. O segundo consumo de água em uma residência é na lavagem de roupas, que é 22% do consumo residencial.

Tabela 3 - Consumo de água residencial.

Consumo interno em uma residência	Porcentagem de consumo
Bacia sanitária	35 %
Lavagem de roupa	22 %
Chuveiros	18 %
Torneiras	13 %
Banhos	10 %
Lavagem de pratos	2 %
Total	100 %

Fonte: Brown e Caldwell, 1986 in Dziegielewski, 1993, apud Tomaz, 1999.

A estimativa das vazões em cada ponto de consumo de uma residência em relação ao consumo total de água, no Brasil está apresentada na Tabela 4, para usos internos e na Tabela 5, para usos externos.

Tabela 4 – Estimativa de demanda de água não potável para usos internos.

Uso interno	Unidade	Parâmetro		
		Inferior	Superior	Provável
Bacia sanitária – volume de descarga	L/descarga	6,8	18	9
Bacia sanitária – frequência de uso	Descarga/pessoa.dia	4	6	5
Vazamento da bacia sanitária	Porcentagem	0	30	9
Máquina de lavar roupas – volume de água	L/ciclo	108	189	108
Máquina de lavar roupas	Carga/pessoa.dia	0,2	0,37	0,37

Fonte: adaptado de Tomaz (2007)

Tabela 5 - Estimativa de demanda de água não potável para usos externos.

Uso externo	Unidade	Valor
Rega de gramados e jardins	Litro/dia.m ²	2
Lavagem de carros – volume de água	Litros/lavagem.carro	150
Lavagem de carros - frequência	Lavagem/mês	4

Fonte: adaptado de Tomaz (2007)

Em questão do consumo externo de água em residências, como lavagem de pisos e irrigação de jardins pode-se admitir um consumo de 3 L/m²/dia nos jardins, e 4 L/m²/dia. Quanto a frequência desses consumos, são estimadas 8 dias por mês para essas atividades (PHILIPPI, 2004).

Nesse contexto, é possível dividir o consumo residencial em dois grupos: os que demandam de água potável, como a higiene pessoal, água para beber e na preparação de alimentos; e os não-potáveis, como a lavagem de roupas, rega de jardins, lavagem de calçadas e veículos e na descarga da bacia sanitária.

Percebe-se na literatura apresentada, que a água utilizada para os fins não potáveis, em média, significa 40% do total da demanda residencial. Segundo Peters (2006), pesquisas feitas no Japão mostraram que com o uso da água reciclada (água de chuva + água cinza) para fins não potáveis, foi possível reduzir o consumo em 30% de água potável.

2.4. Estudo da viabilidade econômica

O estudo de viabilidade de um empreendimento é o exame de um projeto a ser executado a fim de verificar sua justificativa, tomando-se em consideração os aspectos jurídicos, administrativos, comerciais, técnicos e financeiros. A máxima eficiência técnica somente se torna viável se for demonstrada a máxima eficiência econômica e financeira, ou seja, deve-se procurar a eficiência técnica da engenharia compatível com a eficiência econômica e financeira (HIRSCHFELD, 2000).

Bezerra da Silva (2005) afirma que quando a decisão de investir é pautada apenas na análise comparativa da quantidade de recursos entrantes e de saídas referentes ao custeio do empreendimento, resultando em um retorno lucrativo, trata-se de viabilização econômica e se o investimento não proporciona fluxo de caixa negativo, a decisão de investir também é viável no âmbito financeiro. Daí pode-se concluir que um projeto é viável tanto economicamente quanto financeiramente.

De acordo com Gonçalves (2006), a viabilidade financeira de um sistema de reuso pode ser avaliada a partir da comparação entre os custos de uma edificação sem sistema de reuso com a mesma edificação com o sistema de reuso em funcionamento, incluídos como custo operacional: mão de obra, gestão de subprodutos, manutenção de equipamentos, suprimentos de materiais e consumo de energia elétrica, contrapostos com a redução no consumo de água potável e com o custo de implantação do sistema.

Para Contador (2000), para se decidir sobre a viabilidade de um projeto, utiliza-se de critérios e regras para que esses sejam aceitos e ordenados por preferência. Deve-se ressaltar que não existe um critério único, universalmente aceito pelos empresários, acionistas, órgãos e instituições de financiamento e meio acadêmico.

No caso do projeto de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais, tema do atual trabalho, torna-se necessário o levantamento dos materiais e mão de obra utilizados para a implantação do sistema e seus respectivos valores. Além disso levar-se em consideração o preço da água e do esgoto e o reajuste sofrido pelos mesmos. Com esses dados, é possível analisar a viabilidade econômica do sistema, com o cálculo do valor líquido presente (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno do investimento (payback).

2.4.1. VPL

Segundo Hirschfeld (2000), o método do Valor Presente Líquido objetiva determinar um valor no instante inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios. Dessa forma, correspondendo ao somatório algébrico de todos os valores envolvidos nos períodos determinados, reduzidos ao instante inicial e a uma taxa de juros comparativa, como apresentado na Equação 1.

$$VPL = -I + \sum_0^n \frac{Fn}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde:

VPL: valor presente líquido de um fluxo de caixa (em R\$);

n: número de períodos envolvidos em cada elemento de série de receitas e dispêndios do fluxo de caixa;

Fn: cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa que ocorrem em *n* (em R\$);

i: taxa de juros comparativa ou taxa mínima de atratividade (TMA), (em %)

Para avaliação do projeto baseando-se no método do VPL, o critério deve seguir o seguinte raciocínio:

- Se o VPL for maior que zero, as receitas serão maiores que as despesas, tornando o projeto viável;
- Se o VPL for igual a zero, receitas e despesas serão iguais, a decisão de investir no projeto é neutra;
- Se o VPL for menor que zero, as despesas serão maiores que as receitas, o projeto é inviável.

Segundo Yashima (2005), o valor presente líquido (VPL) é um indicador mais rigoroso e isento de falhas técnicas e corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados à taxa ou às taxas adequadas de desconto. Esse é um método considerado, pelo meio acadêmico, como sendo o mais rigoroso de todos.

2.4.2. Taxa interna de retorno (TIR)

Segundo Hirschfeld (2000), quando se pretende investir, seja em um empreendimento, seja em uma aplicação financeira, o mesmo é realizado pelo desejo de se receber, em devolução, uma quantia de dinheiro que, em relação à quantia investida, corresponda, no mínimo, à taxa de atratividade, também chamada de expectativa ou taxa de equivalência. Esse ganho em devolução, comparado à quantia investida, constitui uma parcela percentual chamada de taxa de retorno.

Essa TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL, caso em que a somatória das receitas se torna exatamente igual a somatória das despesas, conforme demonstra a equação 2.

$$VPL = Benefícios - Custos = 0 \quad (2)$$

Para a análise de projetos de investimentos baseados no método da TIR os critérios são:

- Se $TIR < TMA$, o projeto é viável;
- Se $TIR = TMA$, a viabilidade do projeto é indiferente;
- Se $TIR > TMA$, o projeto é inviável.

O método da TIR pode ser considerado o indicador mais aconselhável para a análise de viabilidade econômica de alternativas de redução do consumo de água domiciliar para fins de higiene pessoal na ótica do consumidor (ANDRÉ E PELIN, 1998 apud YWASHIMA, 2005).

2.4.3. *Payback*

Segundo Hirschfeld (2000), o prazo de recuperação de investimento, também conhecido por prazo de retorno ou payback, fornece o número de períodos do fluxo de caixa inerente ao cenário analisado, nos quais o somatório dos benefícios se iguala ao somatório dos custos, ou seja, intervalo de tempo necessário para que os benefícios advindos de um investimento possam cobrir seus custos, sendo utilizado em virtude de sua aparente objetividade.

O payback pode ser considerado o indicador mais simples e conhecido ao apontar o tempo necessário para recuperar o investimento aplicado em um sistema como. É um indicador de grande aceitação nos meios empresariais e não exige informações externas ao projeto.

Esse método também é muito utilizado porque fornece a ideia de liquidez e segurança dos projetos, nesse caso, quanto menor o payback, maior é a liquidez do projeto e, conseqüentemente, menor o risco envolvido (CONTADOR, 2000).

Segundo Ywashima (2005), esse método é muito utilizado como indicador secundário adicional, relacionado ao risco, para auxiliar no processo de decisão, ou seja, no desempate de alternativas indiferentes a outros critérios.

3 ESTUDO DE CASO

3.1. Características da edificação

O estudo foi realizado com base no projeto de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para consumo não potável em um edifício multifamiliar residencial, localizado, hipoteticamente, na cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (2020), a cidade possui clima subtropical úmido, com temperatura média anual 19,5 °C e uma pluviosidade média anual de 1525 mm.

A construção é composta por um prédio de médio padrão, possuindo sete pavimentos, sendo o primeiro pavimento uma área livre, e outros seis pavimentos tipo com três apartamentos por andar, totalizando 18 apartamentos. Cada apartamento possui dois quartos, sala, cozinha e dois banheiros, abrigando em média quatro pessoas por apartamento, totalizando 72 habitantes. Além disso, possui uma garagem no térreo, com duas vagas de veículo por apartamento, somando a uma área de lazer na cobertura.

3.2. Viabilidade técnica do aproveitamento de águas pluviais

O projeto teve como foco a utilização da água de chuva e o aproveitamento da água cinza para fins não potáveis. Enquanto as águas pluviais irão ser utilizadas para irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos, as águas cinzas irão abastecer as bacias sanitárias da edificação.

3.2.1. Demanda de água não potável

A partir da quantidade de habitantes que residirão no edifício, foi possível estimar a quantidade de água consumida, indicado no Quadro 1. Para isso, foi adotado o consumo per capita de 200 L por dia, recomendação do Decreto n. 9.369/88 da Prefeitura de Porto Alegre.

Quadro 1 - Estimativa do consumo de água potável

Número de habitantes	72
Consumo per capita (L/hab/dia)	200
Consumo diário (L/dia)	14.400
Consumo mensal (L/mês)	432.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados das Tabelas 4 e 5, algumas considerações do projeto foram feitas para o desenvolvimento do trabalho:

- Área de jardim: o total da área de jardins do edifício é de aproximadamente 100 m², sendo regado 2 L/m², 20 dias no mês.
- Área de limpeza: limpeza geral é feita uma vez por semana e, para cada limpeza, são gastos 2 L/m² de água.
- Lavagem de carros: cada apartamento possui duas vagas de veículo, onde lavam o carro 4 vezes por mês, consumindo em cada lavagem 150 L.

As estimativas do consumo de água pluviais para as atividades anteriormente citadas encontram-se nos Quadros 2, 3 e 4, chegando à demanda de aproximadamente 22 m³ de água.

Quadro 2 – Estimativa do consumo de água pela irrigação de jardins

Áreas com jardins	100 m ²
Consumo padrão	2 L/m ² /dia
Consumo total diário	200 L/dia
Dias de irrigação por mês	20 dias
Demanda total mensal	4.000 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quadro 3 – Estimativa do consumo de água para limpeza de pisos.

Área de limpeza	800 m ²
Consumo padrão	2 L/m ² /dia
Consumo total diário	1800 L/dia
Dias de limpeza por mês	4 dias
Demanda total mensal	7.200 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quadro 4 – Estimativa do consumo de água pela lavagem de carros.

Apartamentos	18 unid.
Carros por apartamento	2 unid.
Quantidade de carros	36 unid.
Frequência de lavagens	2 lavagens/mês
Consumo padrão	150 L/lavagens
Demanda total mensal	10.800 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

3.2.2. Oferta pluviométrica de Porto Alegre

Para análise da oferta pluviométrica de Porto Alegre, foram utilizados a média histórica mensal de precipitação pluviométrica, cujo valor é de 112,3 mm. Os valores por mês estão indicados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados pluviométricos de Porto Alegre.

Meses do ano (1961-1990)	Média histórica (mm)
JAN	100,1
FEV	108,6
MAR	104,4
ABR	86,1
MAI	94,6
JUN	132,7
JUL	121,7
AGO	140,0
SET	139,5
OUT	114,3
NOV	104,2
DEZ	101,2

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (1981-2010)

3.2.3. Descrição do sistema de aproveitamento de água pluvial

Para o dimensionamento do sistema de captação de água da chuva partiu-se da verificação dos componentes do telhado, tais como a área de contribuição, calhas, condutores verticais e horizontais. Foram locadas duas calhas na cobertura uma com diâmetro de 200 mm e outra com 150 mm. Cada calha direciona a água para um condutor vertical, ambos com 70 mm. Na saída das calhas para o condutor vertical serão instaladas grades para a retirada de material grosseiro presentes na cobertura.

Os condutores verticais chegam até o primeiro pavimento do edifício, onde os primeiros 1.000 L de água serão descartados para melhorar a qualidade da água captada. Enquanto o excedente segue para o reservatório de uso final.

A estimativa do volume do reservatório para a acumulação da água de chuva coletada foi baseada no levantamento das áreas da cobertura do edifício em estudo e no índice pluviométrico da região em estudo, sendo calculado, de acordo com a NBR 15.527:2007 pela seguinte equação:

$$V = P \times A \times C \times \eta$$

Onde:

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

P é a precipitação média mensal de 112,3 mm;

A é a área de coleta de 500 m²;

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

η é fator de captação, eficiência do sistema de captação.

O valor da precipitação média mensal da região de Porto Alegre é em média 112,3 mm, como já foi mencionado anteriormente. A área de coleta do edifício corresponde a cobertura do prédio, com uma área de 500 m². Adotou-se um valor prático de $C \times \eta = 0,8$. Sendo assim, o máximo volume de água da chuva aproveitável é, em média, 45 m³ por mês. Essa média mensal é teórica porque o volume de chuva aproveitável não depende só do potencial pluviométrico da região, mas também de como ocorre a distribuição das chuvas ao longo dos dias e meses, e também da capacidade de armazenamento do reservatório.

Segundo Junior (2018), apesar de a NBR 15.527/2007 apresentar como possibilidade dimensionar reservatórios a partir das médias pluviométricas anuais, a

eficiência e a viabilidade do projeto podem ser prejudicadas se os cálculos forem realizados dessa forma.

Sendo assim, para o dimensionamento do reservatório utilizou-se o método de Rippl, no qual depende da determinação do volume com foco na área de captação e na precipitação do local em estudo, considerando que nem toda a água da chuva seja armazenada e correlacionando esse volume a demanda mensal da edificação, que pode ser constante ou variável. No método de Rippl podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias. Segundo Tomaz (2005), utiliza-se normalmente séries mensais com dados históricos de um longo período. A equação para o cálculo do reservatório pelo método de Rippl é a seguinte:

$$S = D - (CxPx A)$$

Onde:

S: volume de água do reservatório;

D: demanda ou consumo;

P: precipitação média;

C: coeficiente de escoamento superficial;

A: área de captação.

Com a utilização do programa computacional Excel, a aplicação do método de Rippl se torna simples e eficaz, a partir da elaboração de uma planilha, com o objetivo de selecionar o tamanho adequado do reservatório para suprir a demanda de água do edifício. Para o dimensionamento, foi considerada a demanda mensal de 22 m³, considerando apenas a irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos, uma área de captação de 500 m² e coeficiente de Runoff de 0,8, conforme indica a Tabela 7.

Tabela 7 – Dimensionamento do reservatório pelo método Rippl.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva captado (m ³)	Diferença entre demanda e volume de chuva (m ³)	Diferença acumulada (m ³)
Janeiro	100,1	22	500	40,04	-18,04	0
Fevereiro	108,6	22	500	43,44	-21,44	0
Março	104,4	22	500	41,76	-19,76	0
Abril	86,1	22	500	34,44	-12,44	0
Mai	94,6	22	500	37,84	-15,84	0
Junho	132,7	22	500	53,08	-31,08	0
Julho	121,7	22	500	48,68	-26,68	0
Agosto	140	22	500	56	-34	0
Setembro	139,5	22	500	55,8	-33,8	0
Outubro	114,3	22	500	45,72	-23,72	0
Novembro	104,2	22	500	41,68	-19,68	0
Dezembro	101,2	22	500	40,48	-18,48	0
TOTAL	1347,4	264		538,96		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 7 pode-se verificar que o volume da chuva captado durante o ano é superior ao somatório das demandas mensais. De acordo com as médias mensais, todos os meses geram um volume superior à respectiva demanda. Sendo assim, o volume do reservatório de águas pluviais adotado é equivalente ao volume da própria demanda mensal de 22,0 m³.

3.3. Viabilidade técnica do reúso de águas cinzas

No sistema proposto para o reúso de águas cinzas consiste no tratamento e distribuição de efluentes provenientes dos lavatórios dos banheiros e dos ralos dos chuveiros. Nesse contexto, foram necessários seis tubos de queda, com seus respectivos canais de ventilação. Os efluentes após passarem pelas etapas de tratamento adotadas no projeto serão destinadas ao reservatório superior, por meio de um sistema de recalque. Por fim, as águas cinzas serão reutilizadas para o abastecimento das bacias sanitárias do edifício, como um sistema complementar ao de água potável.

3.3.1. Demanda e oferta de água não potável

A demanda de água não potável no sistema de reúso consiste no consumo das bacias sanitárias, que serão os pontos de abastecimento. Para estimar esse dado foi necessário levantar as seguintes considerações: cada pessoa utiliza a bacia sanitária cinco vezes ao dia, na qual, cada descarga possui 9 L de água. O Quadro 5 contém a estimativa de demanda mensal de água pelas bacias sanitárias total no edifício, no valor de 97,2 m³.

Quadro 5 – Estimativa do consumo das bacias sanitárias.

Apartamentos	18 unid.
Moradores	4 pessoas
Total moradores	72 pessoas
Descarga por pessoa	5 vezes/dia
Consumo por descarga	9 L
Demanda total	97.200 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Enquanto a oferta de águas cinzas, contida no Quadro 6, corresponde ao consumo pelos chuveiros e lavatórios dos banheiros, chegando a um total de 272,2 m³. Para tal, as seguintes considerações foram feitas:

- Chuveiros: cada pessoa toma em média 1 banho por dia de 10 minutos em média; em cada banho são gastos 9 L/min;
- Torneiras: a vazão das torneiras dos banheiros é de 9 L/min; cada pessoa usa em média a torneira por 4 minutos cada dia.

Quadro 6 – Estimativa do consumo nos chuveiros.

Apartamentos	18 unid.
Moradores	4 pessoas
Total moradores	72 pessoas
Banhos por dia	1 banho/dia/pessoa
Consumo do chuveiro	9 L/min
Demanda total	194.400 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Quadro 7 – Estimativa do consumo nas torneiras dos banheiros.

Apartamentos	18 unid.
--------------	----------

Moradores	4 pessoas
Total moradores	72 pessoas
Uso da torneira por dia	4 min/dia/pessoa
Consumo da torneira	9 L/min
Demanda total	77.760 L/mês

Fonte: elaborado pelo autor (2021).

3.3.2. Descrição do sistema de reúso

Para o dimensionamento do sistema de reúso é possível utilizar como base o sistema tradicional, porém o sistema deve prever a separação da coleta de águas cinzas e negras. Devem-se relacionar todos os aparelhos que contribuem para o sistema de coleta, definir o número de unidades Hunter de contribuição de cada aparelho, para então se determinar o diâmetro da tubulação.

A separação dos dois sistemas começa no ramal de esgoto, o caminho da tubulação dos ralos dos chuveiros e torneiras do banheiro passaram a compor um novo sistema de coleta. O edifício que antes possuía seis tubos de queda e ventilação, passa a ter doze tubos de cada.

De acordo com o projeto do sistema de reúso de águas cinzas, o efluente é coletado dos banheiros por meio dos ramais de descarga e esgoto, ambos com 50 mm de diâmetro e 2% de declividade. Esse fluído seguirá para uma caixa sifonada de diâmetro de 100 mm. O edifício contém seis tubos de queda e seis tubos de ventilação, ambos dimensionados a 50 mm.

Os tubos de queda conduzem o efluente até o subsolo da edificação, onde se conecta às caixas de inspeção por meio de curvas de 90°. Os condutores horizontais foram dimensionados com diâmetro 100 mm e declividade de 1%.

O sistema de tratamento é composto inicialmente por um tanque séptico dimensionado com 12 m³, nesse local o esgoto é retido por um período de tempo para que ocorra a sedimentação dos sólidos, transformando-os bioquimicamente em compostos mais simples e estáveis. Em seguida, o efluente passa pelo processo de filtração, processo pelo qual as substâncias insolúveis são separadas e retidas. O filtro anaeróbio foi dimensionado com 10 m³. Logo após, o efluente segue para um filtro de areia com 1 m³, para a retirada das partículas em suspensão. Por fim, a água cinza é armazenada em um

reservatório onde ocorrerá a desinfecção com cloro de 2 mg/L, para eliminar os microrganismos patogênicos presentes no fluido.

Para o dimensionamento dos reservatórios, foram considerados o tempo e o volume de geração de água cinza diário. O sistema possui dois reservatórios, um superior com 40% do volume reservado e outra inferior com 60%. O volume gerado é recalcado para o reservatório superior por meio de bombeamento hidráulico.

O volume estimado diário gerado pelas águas cinzas é de 9,07 m³, portanto, o reservatório inferior foi dimensionado para comportar 5,44 m³ e o reservatório superior 3,63 m³. Os reservatórios comerciais com capacidade mais próxima aos volumes definidos são de plástico reforçado em fibra de vidro (PRFV) de 7,0 m³ e 5,0 m³.

A bomba hidráulica deve trabalhar 05 horas diariamente, com base nisso foi possível determinar o diâmetro de recalque e sucção do conjunto motor bomba, de acordo com o Quadro 8.

Quadro 8 - Tubulação de recalque e sucção

Qr (L/h)	Qr (m³/s)	Dr (mm)	Dr (DN)	DS (DN)
1500	4,2.10 ⁻⁴	17,9	20	25

Fonte: elaborado pelo autor (2021)

De acordo com os dados apresentados foi possível obter a potência do conjunto motor bomba $Pot = 367,75$ W. Com isso foi possível escolher uma bomba hidráulica na lista do SINAPI. A escolhida foi “bomba centrifuga motor elétrico monofásico 0,33 HP, bocais 1”x3/4”, diâmetro do rotor 99 mm, Hm/Q= 4 mca / 8,5 m³/h a 18 mca/ 0,90 m³/h”. Para melhor funcionamento do sistema, foram instaladas duas bombas, uma extra para não comprometer o abastecimento de água caso a bomba principal sofra algum dano.

Para a distribuição das águas cinzas foram necessárias três colunas, cada qual abastece dois banheiros de cada apartamento por andar. O dimensionamento para cada coluna e barrilete consta no Quadro 9. Enquanto para os ramais e sub-ramais foi adotado o diâmetro nominal de 20 mm.

Quadro 9 - Dimensionamento dos barriletes

Andar	Trechos	Peso	Vazão (m³/s)	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (m²)	Velocidade (m/s)
2° PAV.	H-G	0,6	0,00023	20	17	0,00023	1,0
3° PAV.	G-F	1,2	0,00033	20	17	0,00023	1,43
4° PAV.	F-E	1,8	0,00040	20	17	0,00023	1,74
5° PAV.	E-D	2,4	0,00046	25	21,6	0,00037	1,24
6° PAV.	D-C	3,2	0,00054	25	21,6	0,00037	1,46
7° PAV.	C-B	3,8	0,00058	25	21,6	0,00037	1,57
COB	B-A	11,4	0,00101	32	27,6	0,00060	1,68

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DOS PROJETOS

Para avaliar a viabilidade de execução do projeto de aproveitamento de água da chuva e reúso de águas cinzas, para suprir somente parte das demandas de fins não potáveis, foi realizada uma análise econômico-financeira.

4.1. Custos para implantação

O primeiro passo foi realizar uma estimativa orçamentária dos custos de implantação e manutenção de cada sistema. As instalações hidrossanitárias do edifício já haviam sido projetadas e, portanto, inclusas no orçamento da obra. Assim, apenas novos materiais foram contabilizados no estudo da viabilidade econômica dos projetos de aproveitamento de água de chuva e reúso de águas cinzas.

Os custos de implantação consistem em tubulações, acessórios hidráulicos, assim como reservatórios e o sistema de tratamento da água cinza. Para a estimativa dos custos de implantação do sistema foram elaborados o Quadro 10, referente ao aproveitamento de águas pluviais, e o Quadro 11, relacionado ao reúso de águas cinzas. Foram utilizados os custos de composições do SINAPI (Caixa Econômica Federal, 2021) para a maior parte dos itens relacionados.

Quadro 10 - Estimativa dos custos de implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis.

DESCRIÇÃO	REFERÊNCIA	LISTA DE MATERIAL	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	CUSTO TOTAL
Condutor vertical	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	50	21,12	1056
Calha	SINAPI	CALHA PLUVIAL DE PVC, DIAMETRO ENTRE 119 E 170 MM, COMPRIMENTO DE 3 M	unid.	14	44,27	619,78
Condutor vertical	SINAPI	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 75 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS	unid.	2	40,61	81,22
Condutor horizontal	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	9	36,99	332,91

Condutor horizontal	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 150 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	6	75,19	451,14
Caixa de passagem	SINAPI	CAIXA DE PASSAGEM METALICA DE SOBREPOR COM TAMPA PARAFUSADA, DIMENSOES 50 X 50 CM	unid.	2	61,04	122,08
Reservatório de descarte	SINAPI	CAIXA D'AGUA FIBRA DE VIDRO PARA 1000 LITROS, COM TAMPA	unid.	1	377,22	377,22
Filtro	Acquasave	FILTRO AUTOLIMPANTE COM SISTEMA DUPLO DE FILTRAGEM	unid.	1	1.182,64	1182,64
Reservatório de armazenamento	SINAPI	CAIXA D'AGUA FIBRA DE VIDRO PARA 10000 LITROS, COM TAMPA	unid.	2	3643,53	7287,06
Reservatório de armazenamento	SINAPI	REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 1 " (REF 1509)	unid.	2	54,87	109,74
Peça de utilização	SINAPI	TORNEIRA CROMADA COM BICO PARA JARDIM/TANQUE 1/2 " OU 3/4 " (REF 1153)	unid.	1	85,6	85,6
					Total	11.705,39

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 11 - Estimativa de custos da implantação do sistema de reúso de águas cinzas.

DESCRIÇÃO	REFERÊNCIA	LISTA DE MATERIAL	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNIT.	CUSTO TOTAL
Ramal de esgoto	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 50 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	258	16,11	4156,38
Ramal de esgoto	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 40 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	204	12,92	2635,68
Caixa sifonada	SINAPI	CAIXA SIFONADA PVC, 100 X 100 X 50 MM, COM GRELHA REDONDA BRANCA	unid.	36	17,37	625,32
Tubo de queda	SINAPI	CURVA DE PVC, 90 GRAUS, SERIE R, DN 50 MM, PARA ESGOTO OU AGUAS PLUVIAIS	unid.	6	27,78	166,68
Caixa de inspeção	SINAPI	CAIXA DE INSPECAO, DIMENSOES 600 X 600 X 50 MM	unid.	5	61,04	305,2

Sub-coletores	SINAPI	TUBO PVC, SERIE R, DN 100 MM, PARA ESGOTO OU ÁGUAS PLUVIAIS PREDIAIS (NBR 5688)	m	15	36,99	554,85
Unidade de tratamento	SINAPI	FOSSA SEPTICA,SEM FILTRO, PARA 40 A 52 CONTRIBUINTES, CILINDRICA, COM TAMPA, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), CAPACIDADE APROXIMADA DE 10000 LITROS (NBR 7229)	unid.	1	11011,16	11011,16
Unidade de tratamento	SINAPI	FILTRO ANAEROBIO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), CAPACIDADE *5000*	unid.	2	4138,82	8277,64
Unidade de tratamento	Nostraacqua	FILTRO ZEÓLITA CAIXA D'ÁGUA 1000 L/h	unid.	1	1445,25	1445,25
Reservatório inferior	SINAPI	CAIXA D'AGUA FIBRA DE VIDRO PARA 5000 LITROS, COM TAMPA	unid.	1	1757,12	1757,12
Reservatório superior	SINAPI	CAIXA D'AGUA FIBRA DE VIDRO PARA 1500 LITROS, COM TAMPA	unid.	2	612,03	1224,06
Instalação elevatória	SINAPI	BOMBA CENTRIFUGA COM MOTOR ELETRICO MONOFASICO, POTENCIA 0,33 HP, BOCAIS 1" X 3/4"	unid.	2	590,75	1181,5
Sistema de recalque	SINAPI	VALVULA DE RETENCAO VERTICAL, DE BRONZE (PN-16), 3/4", 200 PSI, EXTREMIDADES COM ROSCA	unid.	1	56,61	56,61
Sistema de recalque	SINAPI	REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 1 " (REF 1509)	unid.	5	54,87	274,35
Reservatório superior	SINAPI	AUTOMATICO DE BOIA SUPERIOR / INFERIOR, *15* A / 250 V	unid.	2	38,9	77,8
Unidade tratamento	FIRMEFORT	FILTRO CLORADOR	unid.	1	399	399
Instalação elevatória - recalque	SINAPI	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 20 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	m	52	3,2	166,4
Instalação elevatória - sucção	SINAPI	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 25 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	m	55	4,11	226,05
Sistema de reúso – Ramais e Sub-ramais	SINAPI	TUBO PVC, SOLDAVEL, DN 32 MM, AGUA FRIA (NBR-5648)	m	10	9,23	92,3
					Total	34.633,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O investimento de materiais estimado para o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, foi de R\$ 11.705,39, onde é possível observar no Quadro 10 que os reservatórios de distribuição de água são os itens mais onerosos do sistema. Enquanto os custos estimados para o reúso de águas cinzas foi de R\$ 34.633,35, observando no Quadro 11, o destaque de maior investimento consiste nos custos de tratamento do efluente proposto, composto por tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia. Somando os dois sistemas, o investimento inicial proposto foi de R\$ 46.338,74.

A estimativa dos gastos com a mão de obra também foi baseada catálogos da SINAPI, o custo por hora adotado para cada profissional está relacionado no Quadro 12. Estimou-se que o tempo necessário para realizar a obra de aproveitamento de águas pluviais foi de 4 dias, com a mão de obra de um encanador e um auxiliar. Enquanto, para o sistema de reúso de águas cinzas o tempo estimado foi de 8 dias, com a mão de obra de um encanador e um auxiliar, além de um pedreiro e um servente que irão trabalhar apenas 4 dias. Na obra também é necessário a presença de um engenheiro civil por pelo menos 6 dias. Além disso, levou-se em consideração 5 dias para elaboração dos projetos. O custo total com mão de obra é indicado no Quadro 13.

Quadro 12 - Custo por hora dos profissionais solicitados.

Profissional	Custo/h (R\$/h)
Encanador	16,31
Auxiliar de encanador	11,56
Pedreiro	13,94
Auxiliar de pedreiro	10,64
Engenheiro Civil de obra pleno	90,75
Engenheiro Civil projetista pleno	91,26

Fonte: Caixa Econômica Federal, 2021.

Quadro 13 - Estimativa dos custos com mão de obra, em R\$

Sistemas	Encanador	Auxiliar do encanador	Pedreiro	Auxiliar do pedreiro	Engenheiro Civil de obra pleno	Engenheiro Civil projetista	Total
Aproveitamento de águas pluviais	521,92	369,92	-	-	1.452,00	1.825,20	4.168,84

Reúso de águas cinzas	1.043,84	739,84	446,08	340,48	2.904,00	1.825,20	7.299,44
Dois sistemas juntos	1.565,76	1.109,76	446,08	340,48	4.356,00	3.650,40	11.468,48

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.2. Custos de manutenção e operação

No sistema de aproveitamento de água da chuva os custos relativos à manutenção do sistema referem-se a limpeza periódica do filtro, que por se tratar de um filtro autolimpante, é realizada apenas de 3 em 3 meses. Além disso, foi contabilizada os custos para a limpeza do reservatório, realizada duas vezes ao ano. Por meio de pesquisas em empresas no ramo de limpeza de reservatórios, o valor encontrado, em média, para esses serviços foi de R\$ 800,00, totalizando um valor de R\$ 1.600,00 por ano, portanto, R\$ 133,33 mensais.

Para que o sistema de reúso de águas cinzas funcione de forma eficiente é ideal considerar a manutenção do sistema de tratamento adotado. No processo de desinfecção, recomenda-se que as pastilhas de cloro de 200 g sejam repostas todo mês, entretanto, é necessária uma inspeção semanal no clorador. Consultando a loja Cobasi (2021), o preço encontrado para a pastilha de cloro de 200g foi de R\$ 9,50.

Assim como no sistema de aproveitamento de água pluvial, nos custos de manutenção do sistema de reúso de águas cinzas foi contabilizado a limpeza dos reservatórios, duas vezes ao ano, chegando a um valor de R\$ 83,33 por mês. Além da limpeza do tanque séptico e filtros, realizadas uma vez a cada dois anos, por um valor de R\$1950,00, sendo o valor mensal de R\$81,25.

Outro custo referente a manutenção do sistema está relacionado ao filtro de areia. Nesse caso, deve ser feito a troca da camada superficial da areia, com uma espessura de 5 cm, a cada ano, totalizando em torno de 1 m³ de areia média ao preço unitário de R\$ 60,00 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

Durante a operação do sistema, o gasto com energia elétrica referente a bomba que recalca a água tratada até o reservatório superior, também deve ser considerado. Essa estimativa pode ser realizada relacionando o consumo diário e o preço da tarifa elétrica. Consultando o manual da bomba CAM-W10, estima-se que para uma altura manométrica de 43,7 m metros a vazão da bomba é em média de 2,8 m³/h, para encher o reservatório superior com 3,63 m³, resultando em 1,30 h de funcionamento por dia. Sendo assim, pode-

se relacionar o consumo energético da bomba de 14,34 kWh, com a tarifa da companhia de energia de 0,574 R\$/kWh (CEEE, 2021). Sendo assim, o custo energético mensal estimado da bomba é de R\$ 8,23.

Os custos com transporte dos materiais necessários para implementação dos sistemas foram considerados baixo em relação aos outros custos gerados pelos projetos, portanto, não foi contabilizado nessa análise econômico-financeira.

Com esses itens de manutenção e operação para o sistema de reúso de águas cinzas citados acima, foi elaborado o Quadro 14, com os custos anteriormente citados por mês, chegando a um custo total mensal de R\$ 320,64.

Quadro 14 - Custos de manutenção e operação para o sistema.

Sistema	Custo anual (R\$)
Aproveitamento de águas pluviais	1.599,96
Reúso de águas cinzas	2.247,72
Total	3.847,68

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.3. Economia no consumo de água e geração de esgoto

Como foi visto no item 3.3.1, a oferta de águas pluviais consegue suprir, em média, um volume de 22 m³ por mês, ou seja, aproximadamente 0,733 m³/dia, de água não potável. Enquanto as águas cinzas responderão pelo abastecimento de 3,24 m³/dia, referente ao consumo das bacias sanitárias. Sendo assim, o sistema de aproveitamento de água da chuva trará uma economia de 264 m³ ao ano, além do sistema de reúso de águas cinzas, que conseqüentemente provocará uma economia de 1.166,4 m³ ao ano. Esse volume de água deixará de ser adquirido da concessionária, o que também ocorrerá a não incidência de tarifa de esgotamento sanitário.

Para o cálculo de economia mensal em reais, consultou-se o valor da tarifa no site da DMAE (PORTO ALEGRE, 2021), no qual a Equação 2 calcula o valor do serviço de água, e a Equação 3 é referente ao serviço de esgoto sanitário.

$$V = PB \times 0,2711 \times C^{1,43577} \quad (2)$$

$$Ve = PBx Cx 0,8 \quad (3)$$

Onde:

V= valor mensal da conta de água em R\$; para consumo mensal entre 21 m³ e 1.000 m³;

PB= o preço básico da água, R\$3,75/m³;

C= consumo mensal de água em m³.

Relacionando o consumo de água mensal e o valor da conta de água gerada por esses consumos, foi elaborado o Quadro 14.

Quadro 15 – Economia referente a utilização de água da concessionária, em reais.

Tipo de instalação	Consumo de água da concessionária (m³)	Valor da conta de água (R\$/mês)	Valor da conta de esgoto (R\$/mês)	Valor total da conta (R\$/mês)
Sistema tradicional	432,0	6.181,72	1.296,0	7.477,72
Sistema de aproveitamento de águas pluviais	410,0	5.734,79	1.296,0	7.030,79
Sistema de reúso de águas cinzas	334,8	4.287,18	1.004,4	5.291,58
Sistema aproveitamento de águas pluviais + reúso de águas cinzas	302,8	3.711,33	908,4	4.619,73

Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Dessa forma, o sistema de aproveitamento de águas pluviais, para fins não potáveis, acarretará em uma economia de R\$ 446,93 por mês, enquanto a economia do sistema de reúso de águas cinzas é de R\$ 2.156,14, enquanto os dois sistemas juntos são capazes de gerar uma economia mensal de R\$ 2.857,99.

4.4. Análise da viabilidade econômica

4.4.1. Sistema de aproveitamento de águas pluviais, para fins não potáveis

Um dos métodos mais simples de engenharia econômica e análise de investimentos é o período de payback, que se refere ao tempo que um investimento leva para recuperar o valor investido. A economia anual do sistema de aproveitamento de águas pluviais é de R\$ 5.363,16, enquanto o valor investido foi de R\$ 17.474,19. Fazendo a relação do capital investido com o valor da economia, chega-se ao payback de 3,26 anos.

Apesar de ser largamente utilizada, a avaliação do período de payback não leva em consideração o valor do recurso monetário, no tempo. Portanto, o método de análise do Valor Presente Líquido ou VPL é aplicado a fim de encontrar o real ganho obtido com o investimento ao longo dos anos, trazendo a valor presente todos os valores do fluxo de caixa durante o período de tempo analisado e considerando-se uma determinada taxa de juros (i).

O VPL pode ser calculado a partir da Equação 1. A taxa de desconto (i) considerada consiste na Taxa de Longo Prazo (TLP) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que tem vigência trimestral e, no primeiro trimestre de 2021 ficou em 4,61% ao ano (BNDES, 2021). O Fluxo de caixa líquido (Fn) foi definido anteriormente em uma média de R\$ 5.363,16, assim como o investimento inicial do sistema foi de R\$ 14.695,80. O Quadro 16 contém os resultados obtidos em uma análise de 20 anos. O VPL foi calculado abaixo.

$$VPL = -17.474,19 + \left(\frac{5363,16}{(1,0461)}\right) + \left(\frac{5363,16}{(1,0461)^2}\right) + \left(\frac{5363,16}{(1,0461)^3}\right) + \dots + \left(\frac{5363,16}{(1,0461)^{20}}\right)$$

$$VPL = 51.629,22$$

Quadro 16 - VPL e TIR do sistema de aproveitamento de água da chuva.

Período	Fluxo de caixa	VPL	VPL acumulado
0	-17474,19	-17474,19	-17474,19
1	5363,16	5126,81388	-12347,37612
2	5363,16	4900,883166	-7446,492954
3	5363,16	4684,908867	-2761,584086
4	5363,16	4478,45222	1716,868134
5	5363,16	4281,093796	5997,96193
6	5363,16	4092,432651	10090,39458
7	5363,16	3912,085509	14002,48009
8	5363,16	3739,685985	17742,16607

9	5363,16	3574,88384	21317,04991
10	5363,16	3417,344269	24734,39418
11	5363,16	3266,747222	28001,14141
12	5363,16	3122,786753	31123,92816
13	5363,16	2985,170398	34109,09856
14	5363,16	2853,618581	36962,71714
15	5363,16	2727,864048	39690,58119
16	5363,16	2607,651322	42298,23251
17	5363,16	2492,736184	44790,96869
18	5363,16	2382,885178	47173,85387
19	5363,16	2277,875134	49451,729
20	5363,16	2177,49272	51629,22172
		VPL	51629,22172
		TIR	24%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o valor do VPL positivo, pode-se considerar o projeto viável, além disso, a Taxa interna de retorno (TIR) de 24% é maior que a taxa mínima de atratividade, de 4,61%, ou seja, o sistema não terá prejuízo.

4.4.2. Sistema de reúso de águas cinzas

Para o sistema de reúso de águas cinzas, o valor total investido foi de R\$ 44.180,51, enquanto a economia anual gerada com os custos da concessionária foi de R\$ 26.233,68. Portanto, o payback desse sistema é de 1,68 anos, equivalente a aproximadamente 20 meses. Enquanto o valor do VPL ao longo de 20 anos está exposto no Quadro 17, calculado pela seguinte expressão.

$$VPL = -44.180,51 + \left(\frac{26.233,68}{(1,0461)}\right) + \left(\frac{26.233,68}{(1,0461)^2}\right) + \left(\frac{26.233,68}{(1,0461)^3}\right) + \dots + \left(\frac{26.233,68}{(1,0461)^{20}}\right)$$

$$VPL = 293.836,03$$

Quadro 17 – VPL e TIR do sistema de reúso de águas cinzas.

Período	Fluxo de caixa	VPL	VPL acumulado
0	-44180,51	-44180,51	-44180,51
1	26.233,68	25077,60252	-19102,90748

2	26.233,68	23972,47158	4869,564107
3	26.233,68	22916,04205	27785,60615
4	26.233,68	21906,16771	49691,77387
5	26.233,68	20940,79697	70632,57084
6	26.233,68	20017,96862	90650,53946
7	26.233,68	19135,80788	109786,3473
8	26.233,68	18292,52259	128078,8699
9	26.233,68	17486,39957	145565,2695
10	26.233,68	16715,80113	162281,0706
11	26.233,68	15979,16178	178260,2324
12	26.233,68	15274,98497	193535,2174
13	26.233,68	14601,84014	208137,0575
14	26.233,68	13958,35975	222095,4173
15	26.233,68	13343,23655	235438,6538
16	26.233,68	12755,22087	248193,8747
17	26.233,68	12193,11812	260386,9928
18	26.233,68	11655,78637	272042,7792
19	26.233,68	11142,13399	283184,9132
20	26.233,68	10651,11748	293836,0306
		VPL	293836,0306
		TIR	52%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o valor do VPL positivo, pode-se considerar o projeto viável, além disso, a Taxa interna de retorno (TIR) de 52% é maior que a taxa mínima de atratividade, de 4,61%, ou seja, o sistema não terá prejuízo.

4.4.3. Sistema integrado: Aproveitamento de águas pluviais + reúso de águas cinzas

No cenário de implementação dos dois sistemas no edifício, o capital investido passa a ser R\$ 61.654,90, gerando uma economia anual na conta de água de R\$ 34.292,28. O payback desse conjunto consiste, portanto, em 1,80 anos, equivalente a aproximadamente 22 meses.

O Quadro 18 corresponde aos valores do VPL ao longo de 20 anos, calculado pela seguinte expressão numérica:

$$VPL = -61.654,90 + \left(\frac{34.292,28}{(1,0461)}\right) + \left(\frac{34.292,28}{(1,0461)^2}\right) + \left(\frac{34.292,28}{(1,0461)^3}\right) + \dots + \left(\frac{34.292,28}{(1,0461)^{20}}\right)$$

$$VPL = 380.195,34$$

Quadro 18 - VPL e TIR do sistema integrado de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas

Período	Fluxo de caixa	VPL	VPL acumulado
0	-61654,9	-61654,9	-61654,9
1	34.292,28	32781,07256	-28873,82744
2	34.292,28	31336,46167	2462,634227
3	34.292,28	29955,51254	32418,14677
4	34.292,28	28635,4197	61053,56647
5	34.292,28	27373,50129	88427,06775
6	34.292,28	26167,19366	114594,2614
7	34.292,28	25014,04613	139608,3075
8	34.292,28	23911,71602	163520,0236
9	34.292,28	22857,96389	186377,9875
10	34.292,28	21850,64897	208228,6364
11	34.292,28	20887,72485	229116,3613
12	34.292,28	19967,23531	249083,5966
13	34.292,28	19087,3103	268170,9069
14	34.292,28	18246,16222	286417,0691
15	34.292,28	17442,08223	303859,1513
16	34.292,28	16673,4368	320532,5881
17	34.292,28	15938,66437	336471,2525
18	34.292,28	15236,27222	351707,5247
19	34.292,28	14564,8334	366272,3581
20	34.292,28	13922,98384	380195,342
		VPL	380195,342
		TIR	49%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o valor do VPL positivo, pode-se considerar o projeto viável, além disso, a Taxa interna de retorno (TIR) de 49% é maior que a taxa mínima de atratividade, de 4,61%, ou seja, o sistema não terá prejuízo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Viabilidade técnica dos sistemas

No sistema de aproveitamento de águas pluviais, o recurso tratado é destinado a atividades localizadas no térreo da edificação, tais como, lavagem de carros, pisos e irrigação do jardim, no qual foi realizada uma estimativa de consumo para essas atividades de 22 m³ por mês. Para a estimativa da oferta de água da chuva, foi consultada a média mensal pluviométrica da cidade de Porto Alegre, de 112,3 mm para uma área de captação de 500 m².

O volume do reservatório foi dimensionado pelo método Rippl com um valor de 22 m³, pois em todos os meses do ano a oferta de água da chuva ultrapassa o consumo de água nas atividades determinadas.

Sabe-se que o consumo estimado de água em toda edificação é de 432 m³, portanto o sistema de aproveitamento de água da chuva proporciona uma economia de 5,1% de água potável.

O sistema de reúso de águas cinza foi destinado ao abastecimento das bacias sanitárias dos banheiros do edifício, responsável pelo consumo de 97,2 m³ de água por mês. No qual, foi destinada ao tratamento o efluente proveniente do lavatório e chuveiro de cada banheiro dos apartamentos, totalizando um volume de águas cinzas de 272,2 m³.

A partir do consumo estimado de água na edificação de 432 m³, o sistema isolado de reúso de águas cinzas proporciona uma economia de 22,5% de água potável.

Sendo assim, a economia de água potável estimada para o funcionamento dos dois sistemas juntos foi de 27,6%, sendo uma metodologia, portanto, de grande potencial, comprovando ser uma prática sustentável viável para conservação dos recursos hídricos.

5.2. Viabilidade econômica dos sistemas

Foi realizada a análise econômica do sistema de aproveitamento de águas pluviais, cujo os valores estimados encontram-se no Quadro 19, separadamente do sistema de reúso de águas cinzas, no qual os valores são apresentados no Quadro 20, por fim, uma análise do conjunto de ambos os sistemas, no Quadro 21 possui o quantitativo encontrado.

Quadro 19 - Parâmetros para análise econômica do projeto de aproveitamento de água da chuva.

Parâmetros	Valor
Investimento inicial	R\$ 11.705,39
Custo com mão de obra	R\$ 4.168,84
Despesa anual com manutenção	R\$ 1.599,96
Economia anual no consumo de água e geração de esgoto	R\$ 5.363,16
Taxa mínima de atratividade ao ano	4,61%
Payback	3,26 anos
VPL, para 20 anos	R\$ 51.629,22
TIR	24%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quadro 20 - Parâmetros para análise econômica do reúso de águas cinzas.

Parâmetros	Valor
Investimento inicial	R\$ 34.633,35
Custo com mão de obra	R\$ 7.299,44
Despesa anual com manutenção	R\$ 2.247,72
Economia anual no consumo de água e geração de esgoto	R\$ 25.873,68
Taxa mínima de atratividade ao ano	4,61%
Payback	1,68 anos
VPL, para 20 anos	R\$ 293.836,03
TIR	52%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quadro 21 - Parâmetros para análise econômica dos sistemas integrados.

Parâmetros	Valor
Investimento inicial	R\$ 46.336,74
Custo com mão de obra	R\$ 11.468,48
Despesa anual com manutenção	R\$ 3.847,68
Economia anual no consumo de água e geração de esgoto	R\$ 34.295,88
Taxa mínima de atratividade ao ano	4,61%
Payback	1,80 anos
VPL, para 20 anos	R\$ 380.195,34
TIR	49%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os valores apresentados nas três situações mostram que, pelo método do payback, todos são viáveis economicamente, porém, o reúso de águas cinzas se apresenta como o mais vantajoso financeiramente, pois possui menor período para recuperar o investimento inicial. A mesma situação ocorre no método da Taxa Interna de Retorno, que no projeto de reúso de águas cinzas é maior. Entretanto, ao fazer a análise do Valor Presente Líquido, a maior lucratividade é alcançada com a integração dos dois sistemas.

Desse modo, os três projetos apresentam-se vantajosos financeiramente. Entretanto, apesar do projeto de reúso de águas cinzas possuir vantagem em relação ao payback e o TIR, o projeto integrado é o mais recomendado, por possuir maior lucratividade pela aplicação do VPL. Isso deve-se ao fato do payback apresentar-se como um método mais básico, e possui a desvantagem de não considerar em seu cálculo o valor do recurso monetário no tempo. Enquanto o VPL se apresenta como uma análise mais segura em comparação ao TIR por apresentar valores absolutos da rentabilidade do investimento.

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho analisou a viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas voltadas para fins não potáveis em uma edificação, localizada, hipoteticamente, na cidade de Porto Alegre, em Rio Grande do Sul.

Em relação ao objetivo principal desta dissertação, os resultados demonstraram que a metodologia adotada se mostrou apropriada para avaliação do potencial de economia de água potável e para a viabilidade econômica ao longo do tempo.

Estabelecido os usos finais de água da chuva em atividades não potáveis, no caso, para irrigação de jardins, lavagem de carros e pisos, foi possível determinar a capacidade do reservatório de armazenamento. Ao fazer a análise da oferta e demanda de água, foi possível constatar o aproveitamento total de água da chuva para realizar as atividades anteriormente citadas, proporcionando uma redução no consumo de água potável de 5,1%.

Da mesma forma, o reúso de águas cinzas, para o abastecimento das bacias sanitárias, se apresentou como uma alternativa viável tecnicamente, visto que, há uma produção de águas cinzas de 9,07 m³/dia que consegue atender totalmente o consumo da atividade não potável sugerida, gerando uma economia de água potável de 22,5%.

Avaliando tecnicamente os dois sistemas integrados no edifício, a economia pode ser de até 27,6% de água potável, tornando essa alternativa a mais vantajosa no ponto de vista técnico e ambiental.

No ponto de vista econômico, o sistema de reúso de águas cinzas consiste em proposta mais vantajosa se comparada ao sistema de aproveitamento de águas pluviais. Portanto, a integração dos dois sistemas tornou-se uma alternativa viável, por apresentar vantagens econômicas e técnicas dos dois sistemas associados.

Apesar do alto investimento, de R\$ 61.654,90, o sistema gera uma economia de água potável, que seria paga à concessionária, extremamente alta. Ao aplicar o método do Valor Presente Líquido, o sistema acumula ao final dos 20 anos de vida útil, um valor de R\$ 380.195,34, que seria poupado de ser pago à companhia que faz a distribuição de água no edifício.

Em suma, a implementação do aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas, em atividades com fins não potáveis, se apresentam como uma alternativa

sustentável viável no ponto de vista técnico, por apresentar economia no consumo de água potável, econômico e ambiental.

Como sugestão para trabalhos futuros, o estudo referente a novas tecnologias aplicadas ao tratamento das águas, tanto pluviais quanto cinzas, visando um melhor resultado de viabilidade financeira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO e SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO. Conservação e Reuso de água em Edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos, Lei n° 9.433/97. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx>. Acesso em: 10 março 2021.

ANNECCHINI, Karla Ponze Vaccari. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). 2005. 150p. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais: procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BARRETOS, D. Perfil do Consumo Residencial e Usos Finais da Água. 2008. 18 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5358/3280. Acesso em 19/02/2021.

BELO, S.; NASCIMENTO, T., 2010, Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Condomínio Vista Santana. Projeto de Graduação, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Paulista.

BERTOLO, E. D. J. P. Aproveitamento da água da chuva em edificações. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 2006.

BEZERRA DA SILVA, Mozart. Planejamento Financeiro para o Setor da Construção Civil. Texto Técnico 11 (TT/PCC/11). São Paulo:EPUSP,1995.

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social. Taxa de Juros de Longo Prazo - TJLP. 2021. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Custos_Financeiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/index.html>. Acesso em: 13 abril de 2021.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Custos Composições Sintéticos: Porto Alegre. [Brasília], 2021. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx/asp/ent_hist.asp.

COBASI. Cloro Pace Tripla Ação HTH 200g. Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.cobasi.com.br/>. Acesso em abril de 2021.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Tabela de Tarifas: convencional. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.cee.com.br/a-eeee/tarifas-e-custos>.

CONTADOR, C. R. Projetos sociais: avaliação e prática. 4. ed. ampl. São Paulo: ed. Atlas, 2000. 375p.

CUNHA, A. H. N., Oliveira, T. H. O., Ferreira, R. B., Milharden, A. L. M., & Silva, S. D. C. (2011). O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. Enciclopédiabiosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia, 7.

Eisenhardt, K.M. (1989) Building theories form case study research. Academy of Management Review. New York, New York, v. 14 n. 4.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. Science Direct, 2006.

GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, R.F. (Org.). Uso Racional da Água em Edificações. Prosab-Finep Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, 2006, 332 p.

HIRSCHFELD, H. Engenharia Econômica e Análise de Custos. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2000.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL. Acesso em 01 mar. 2021.

JEPPESEN, B.. Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future. Desalination, Brisbane, v. 3, n. 106, p.311-315, jun. 1997.

KUCHINSKI, VINICIUS ; GASTALDINI, MARIA DO CARMO CAUDURO . Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento das águas de chuva e cinza para consumo não potável em edifício residencial de Santa Maria (RS). REVISTA DAE , v. 65, p. 5-19, 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia Científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p. 222. 2009.

PETERS, Madelon Rebelo. Potencialidade de uso de fontes alternativas e água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2006. xvi, 109f.

PHILIPPI JR, A. ROMÉRO, M. A., BRUNA, G. C. Curso de gestão ambiental. Baruiiri. São Paulo: Malone, 2004.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. Fórmula de cálculo da conta consumo. Porto Alegre, 1988. Disponível em:
https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=363.

SINDUSCON. Conservação e reúso de água em edificações. São Paulo. Prol Editora Gráfica, 2005.

SOBRINHO, Julia Fróes de. Utilização de água da chuva e reúso de águas cinzas para fins não potáveis, com aplicação em estudo de caso. Projeto de Conclusão de Curso I da Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2020.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

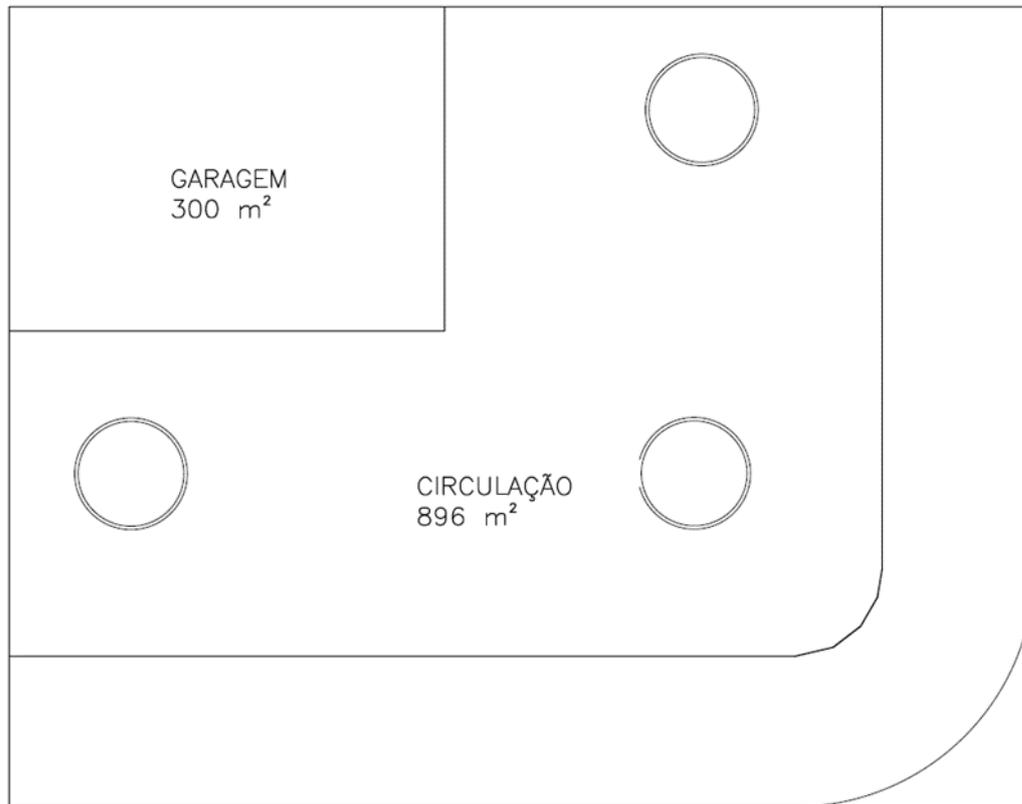
TOMAZ, P. A Economia de Água para Empresas e Residências – Um Estudo Atualizado sobre o Uso Racional da Água. Navegar Editora, São Paulo, 2001.

TOMAZ, P., 1999. Previsão de Consumo de Água: Interface nas Instalações Prediais de Água e Esgoto com os Serviços Públicos. Acesso em 10 mar. 2021.

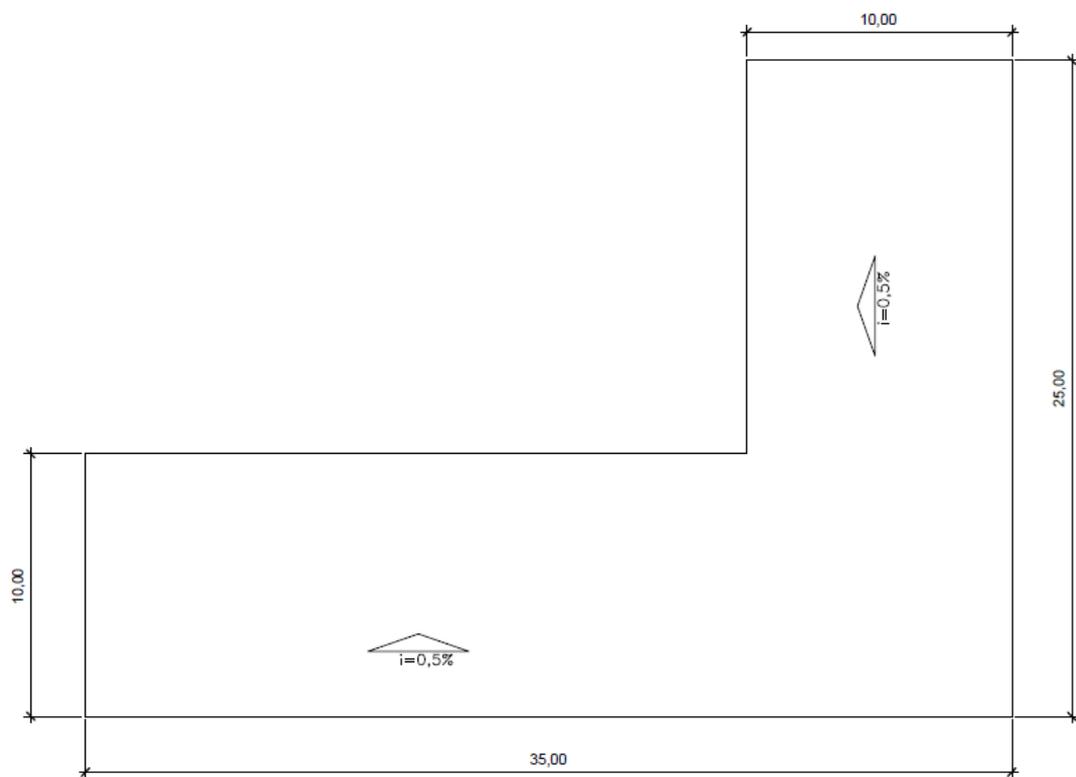
TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. D. M. C. Gestão da Água no Brasil. Brasília, p. 31-43. 2001.

YWASHIMA, L. A. Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

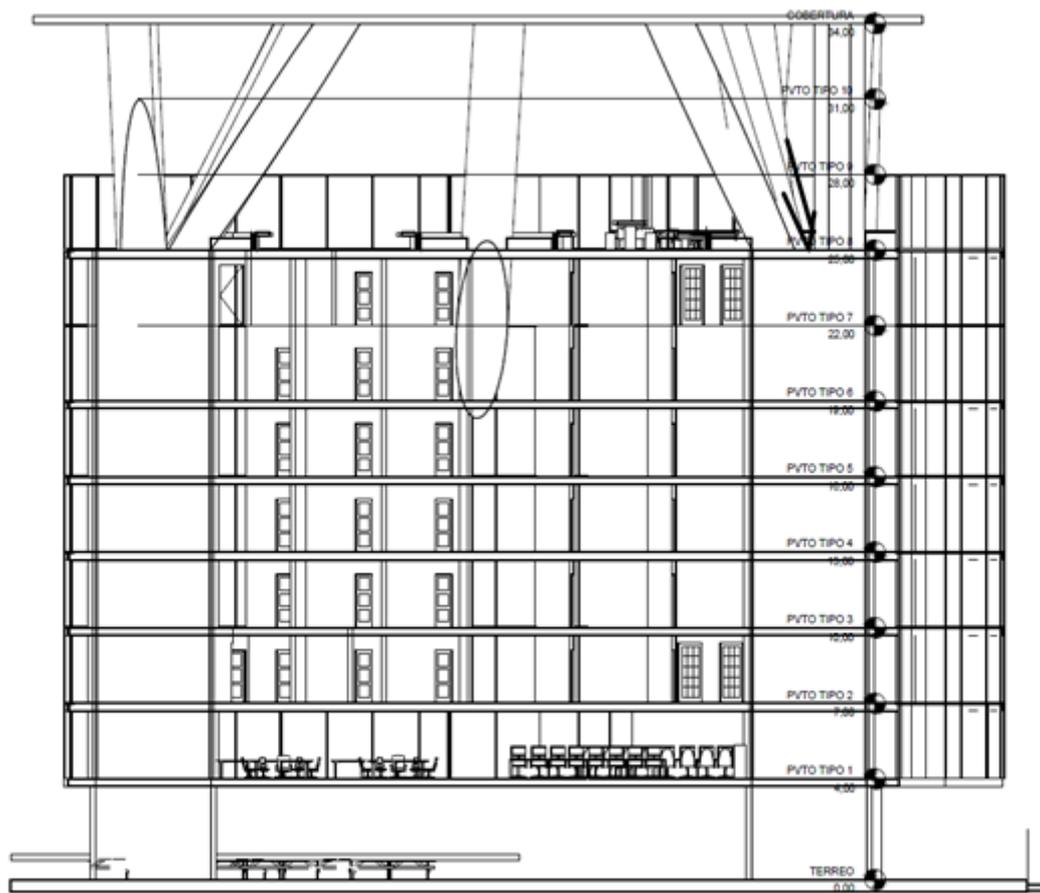
8 APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO DO EDIFÍCIO



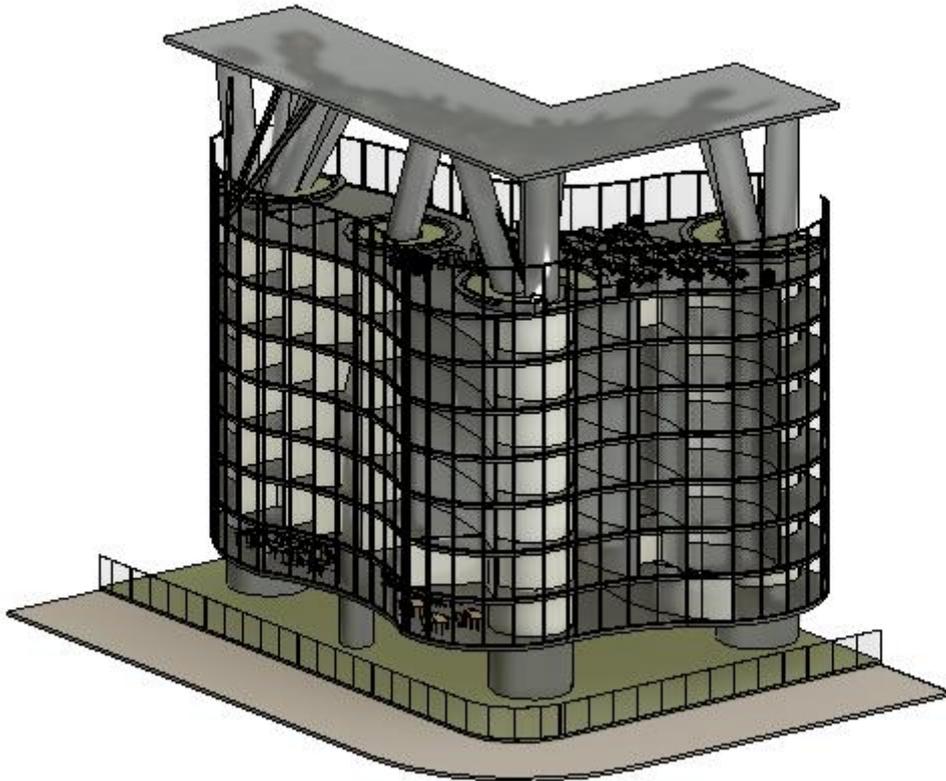
PLANTA BAIXA
TÉRREO



COBERTURA

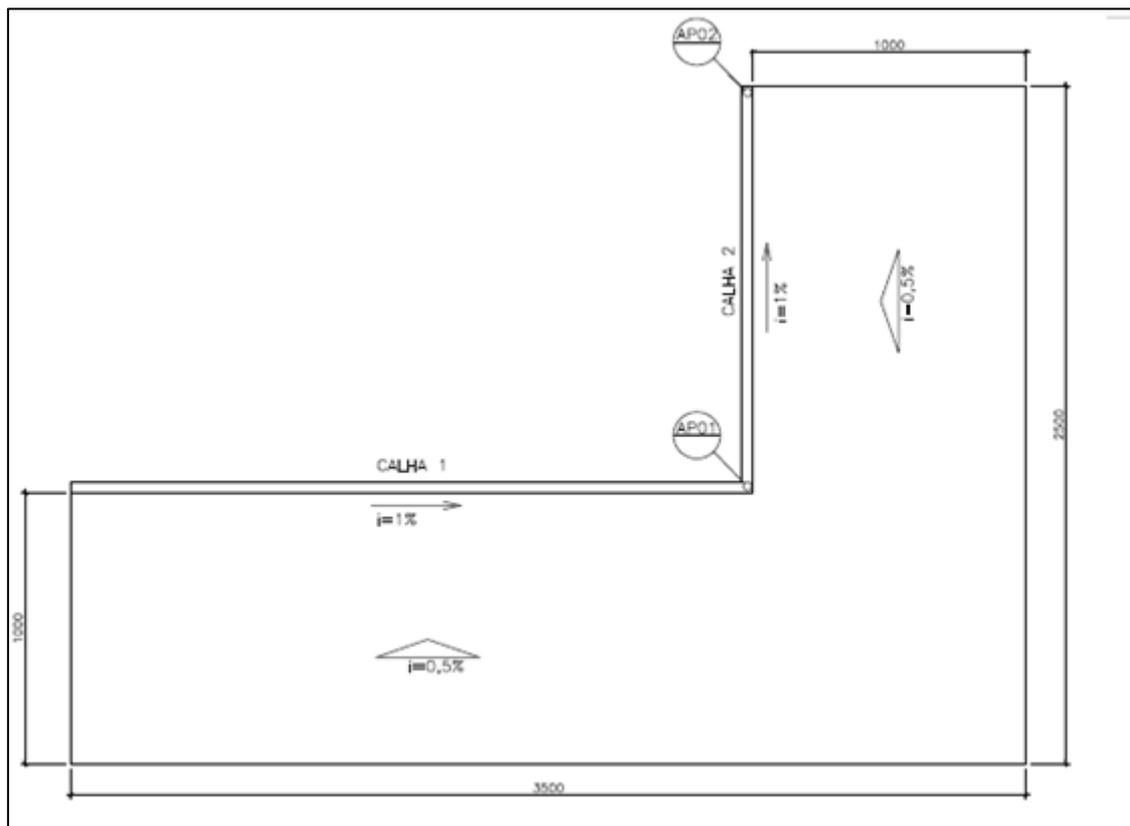


CORTE A-A

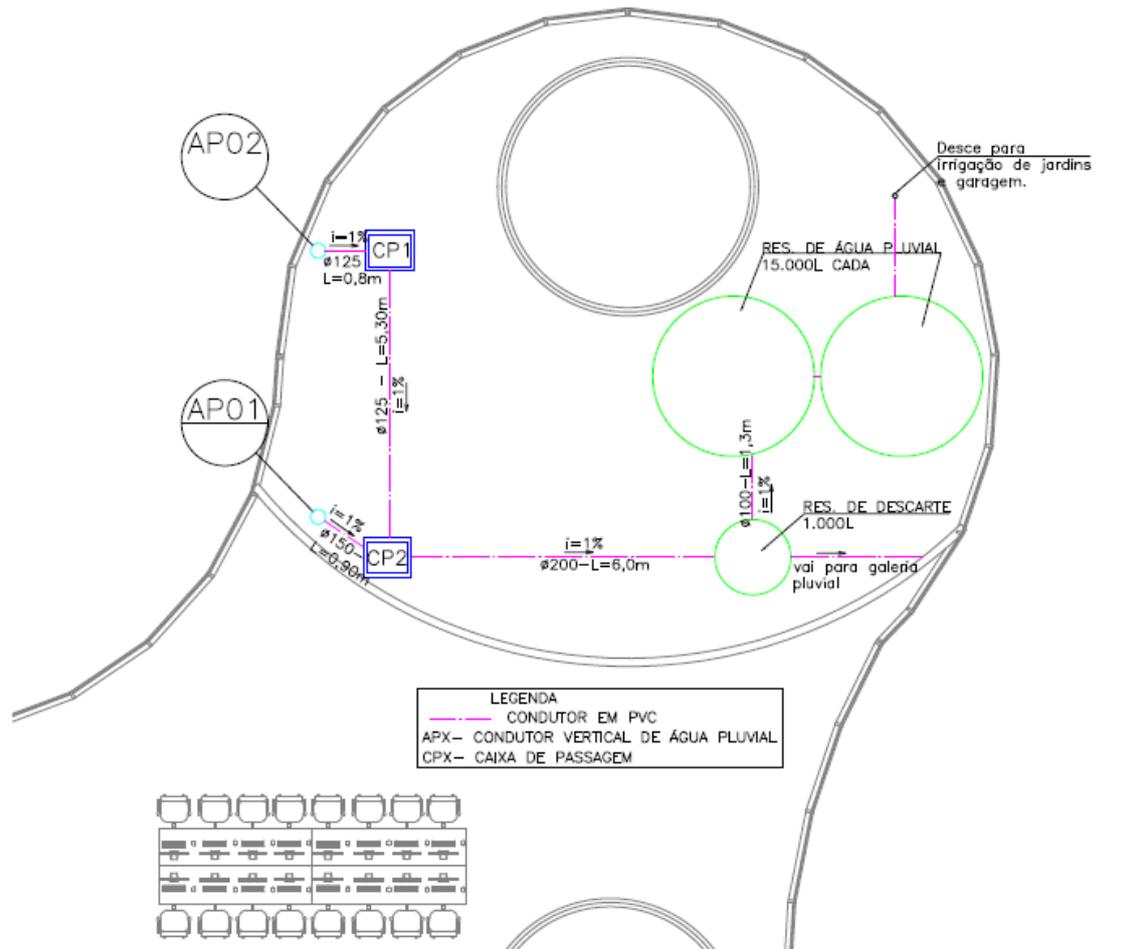


Fachada do edifício.

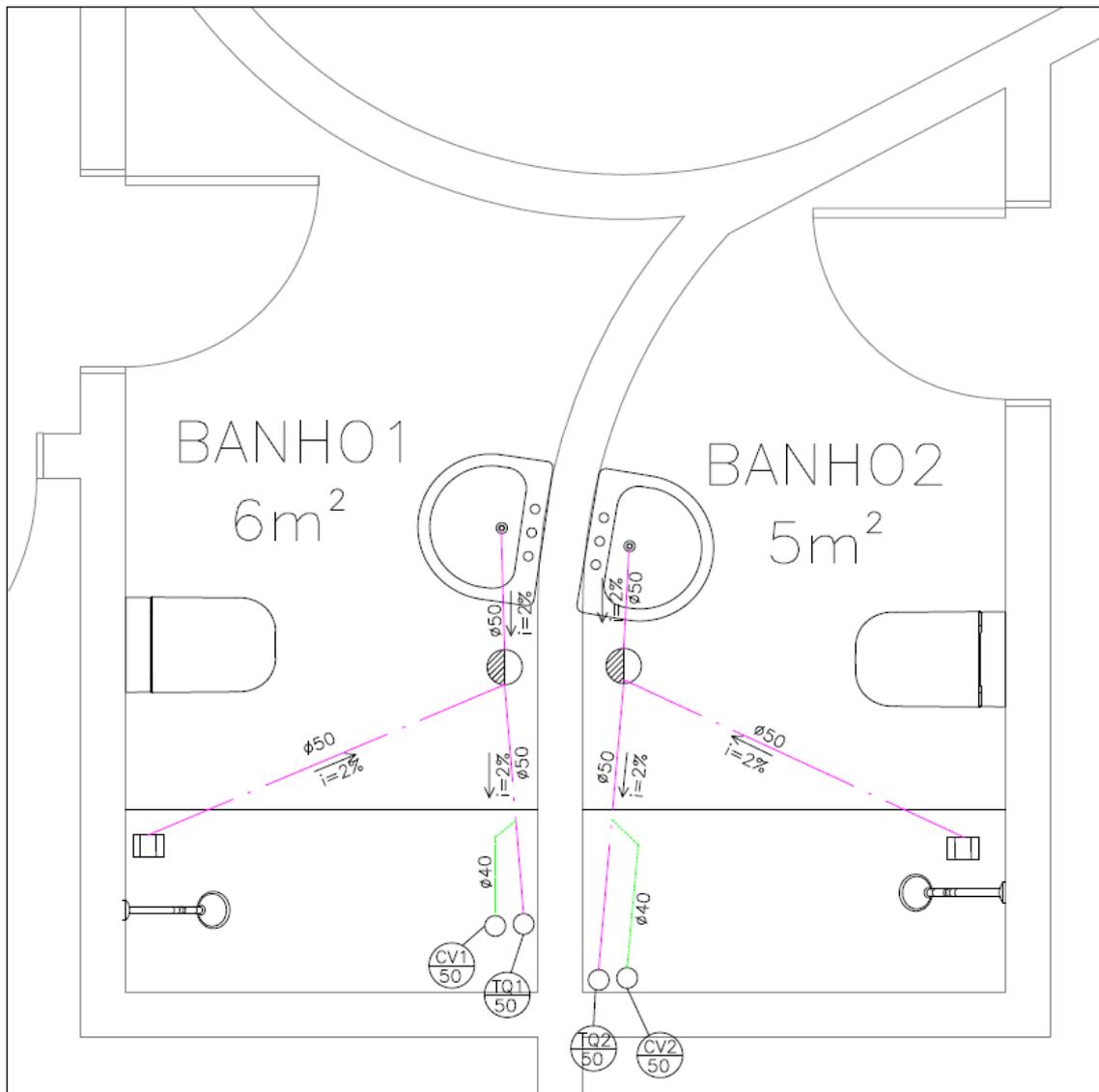
9 APÊNDICE B – PROJETO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS



Captação de água da chuva.

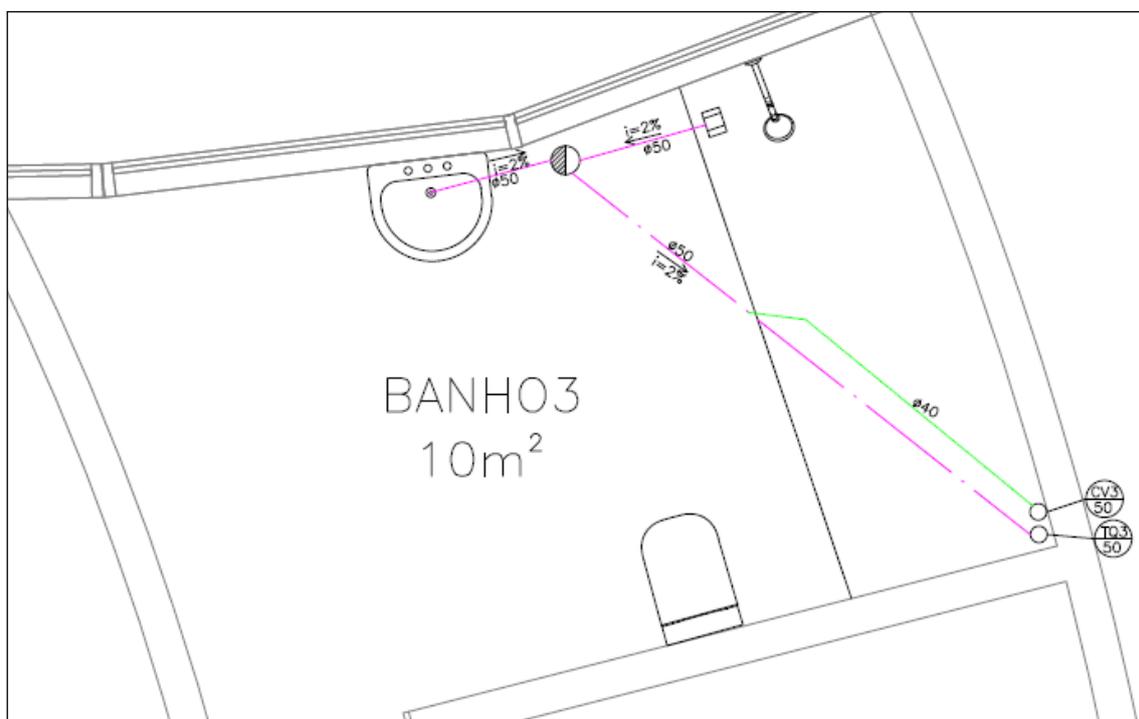


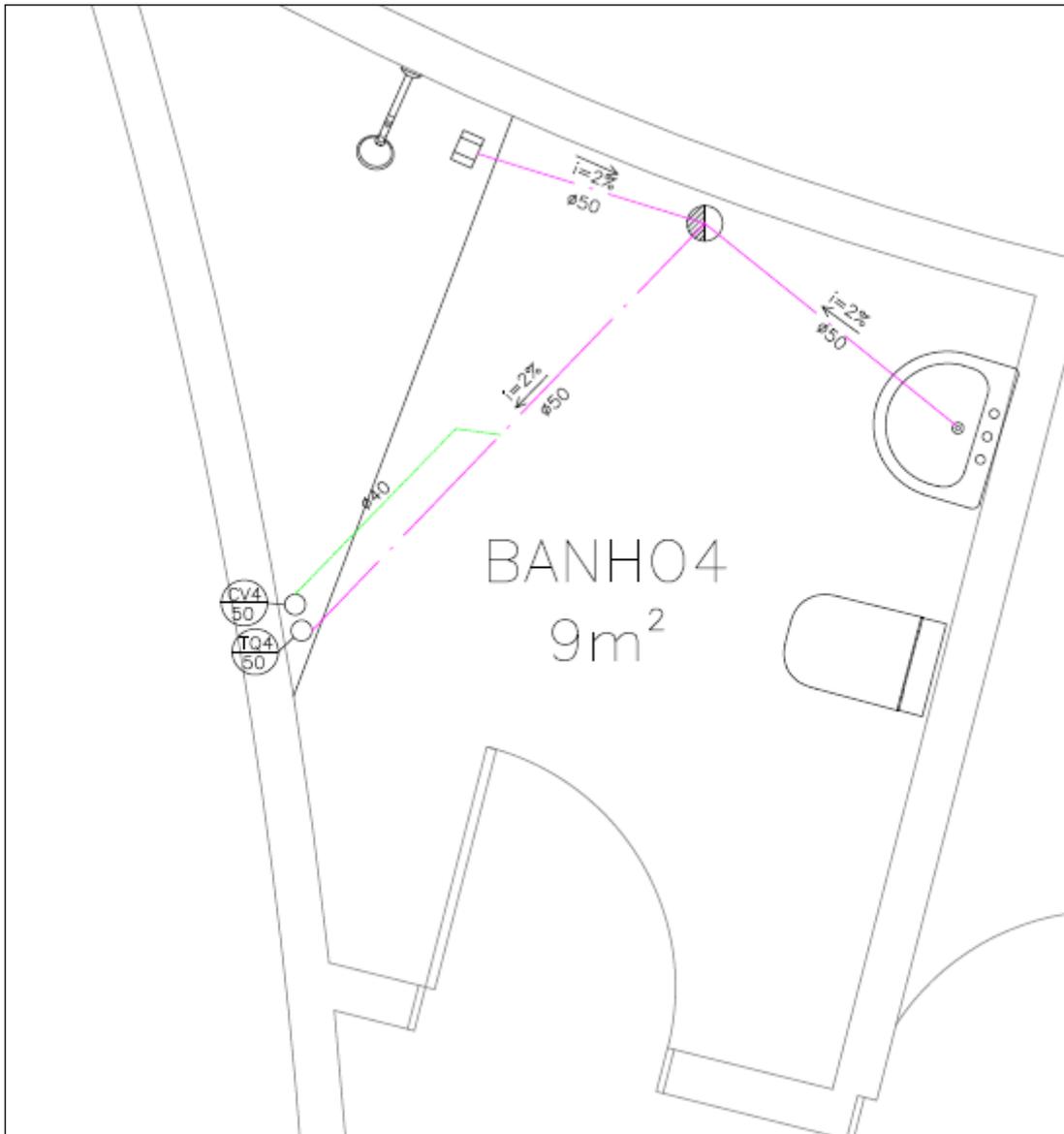
10 APÊNDICE C – PROJETO DO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS



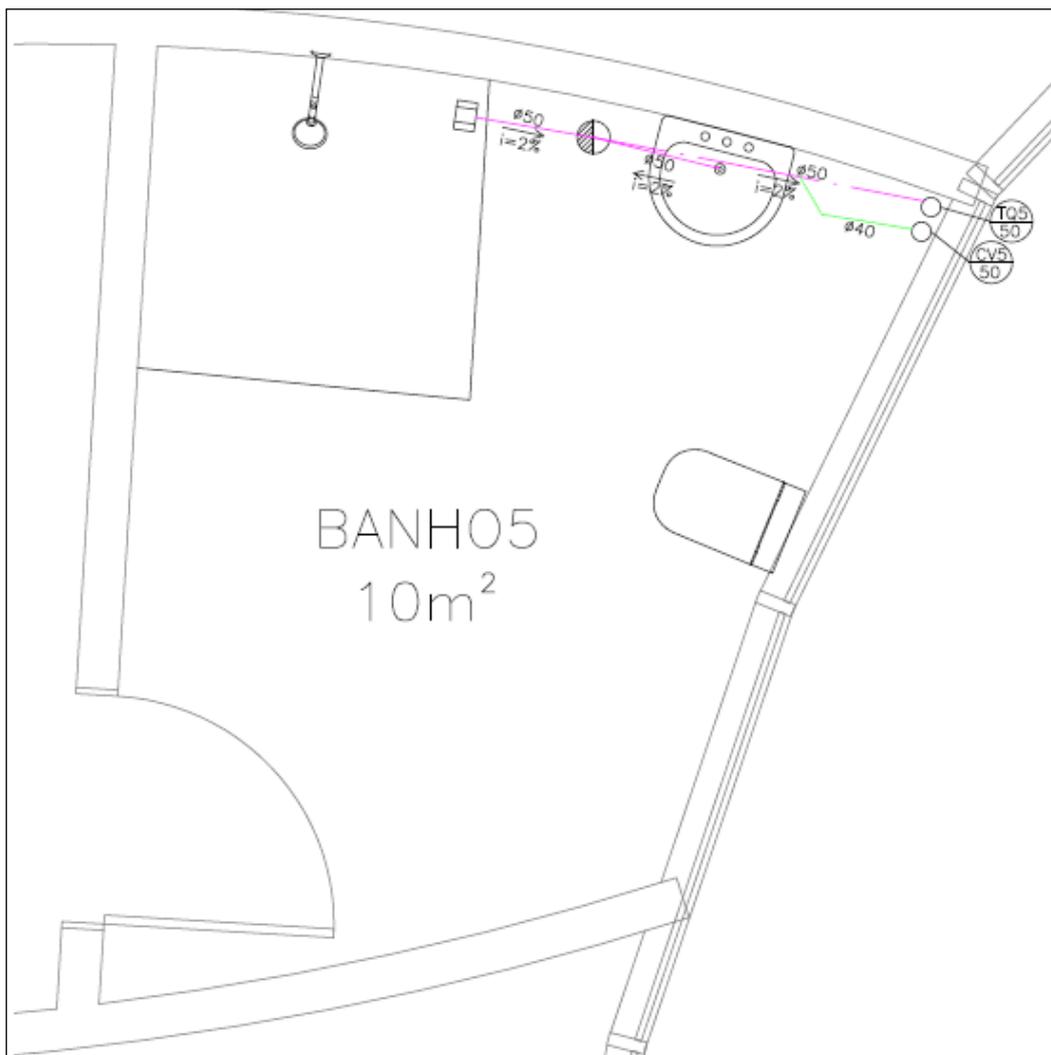
Coleta dos efluentes dos banheiros 1 e 2.

Coleta dos efluentes do banheiro 3.

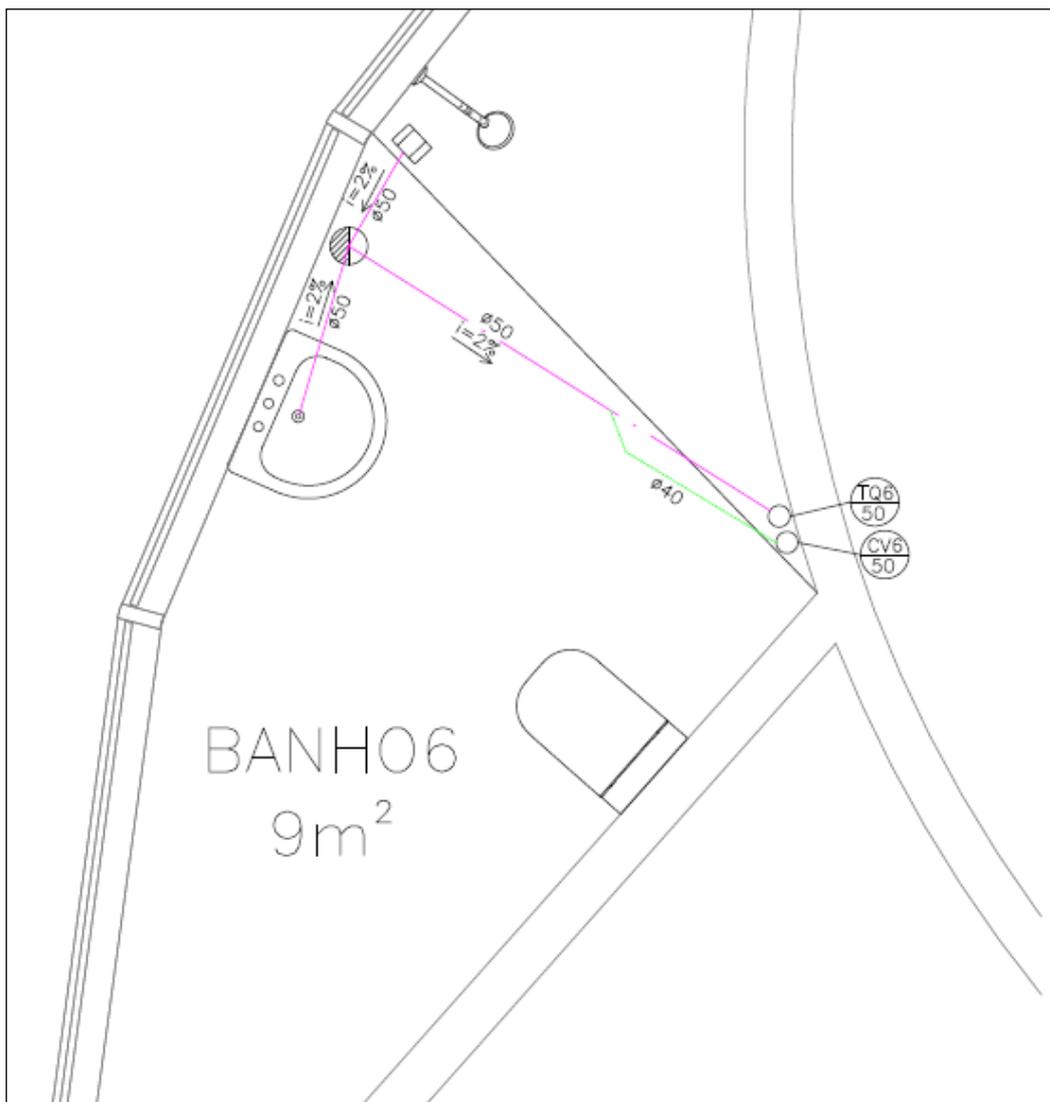




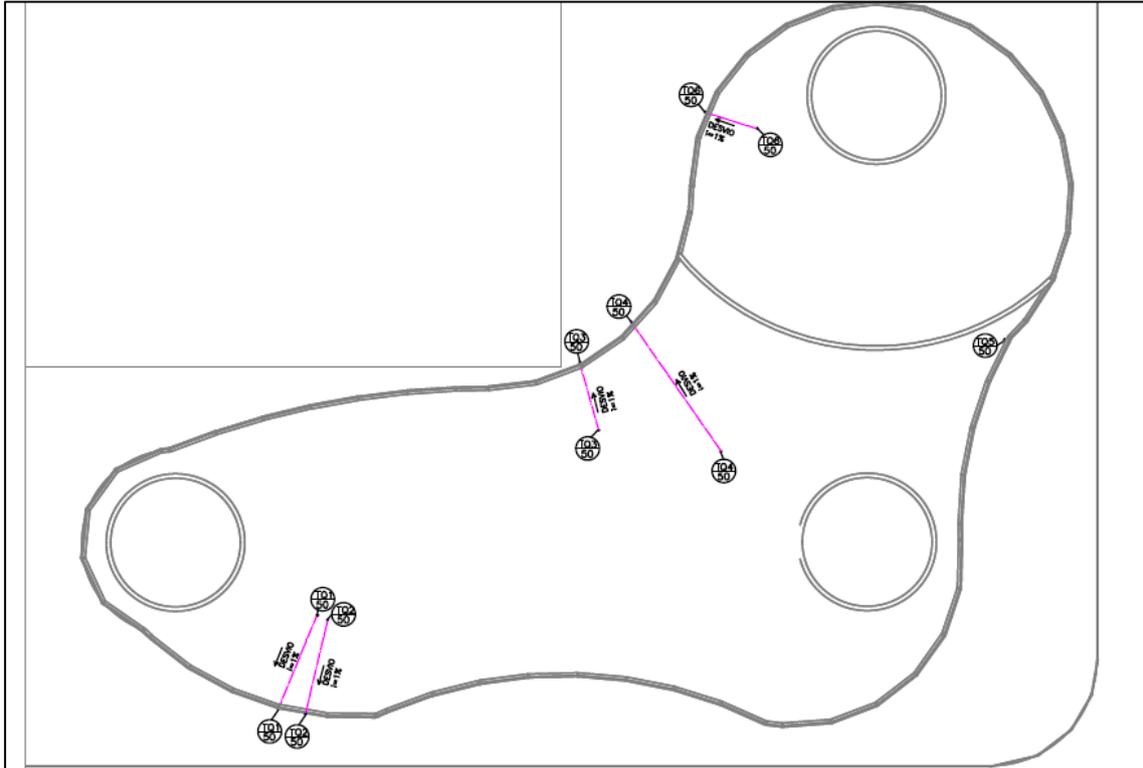
Coleta dos efluentes do banheiro 4.



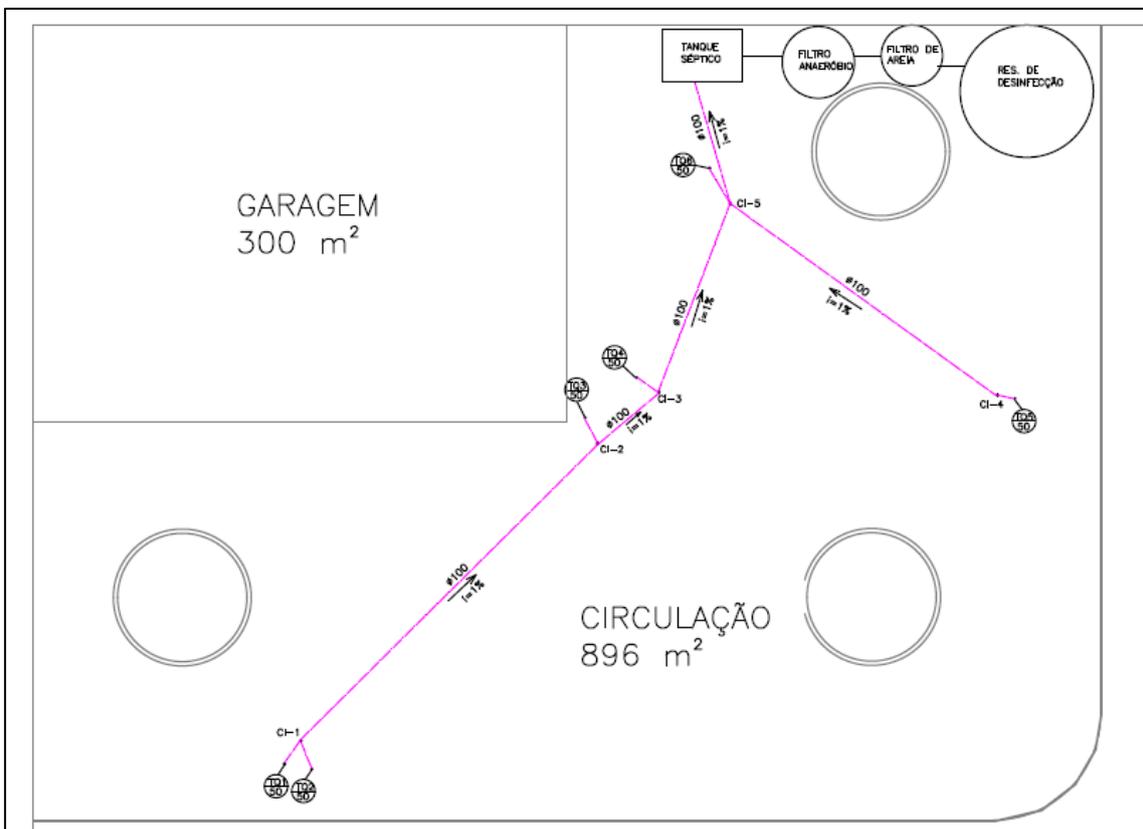
Coleta dos efluentes do banheiro 5.



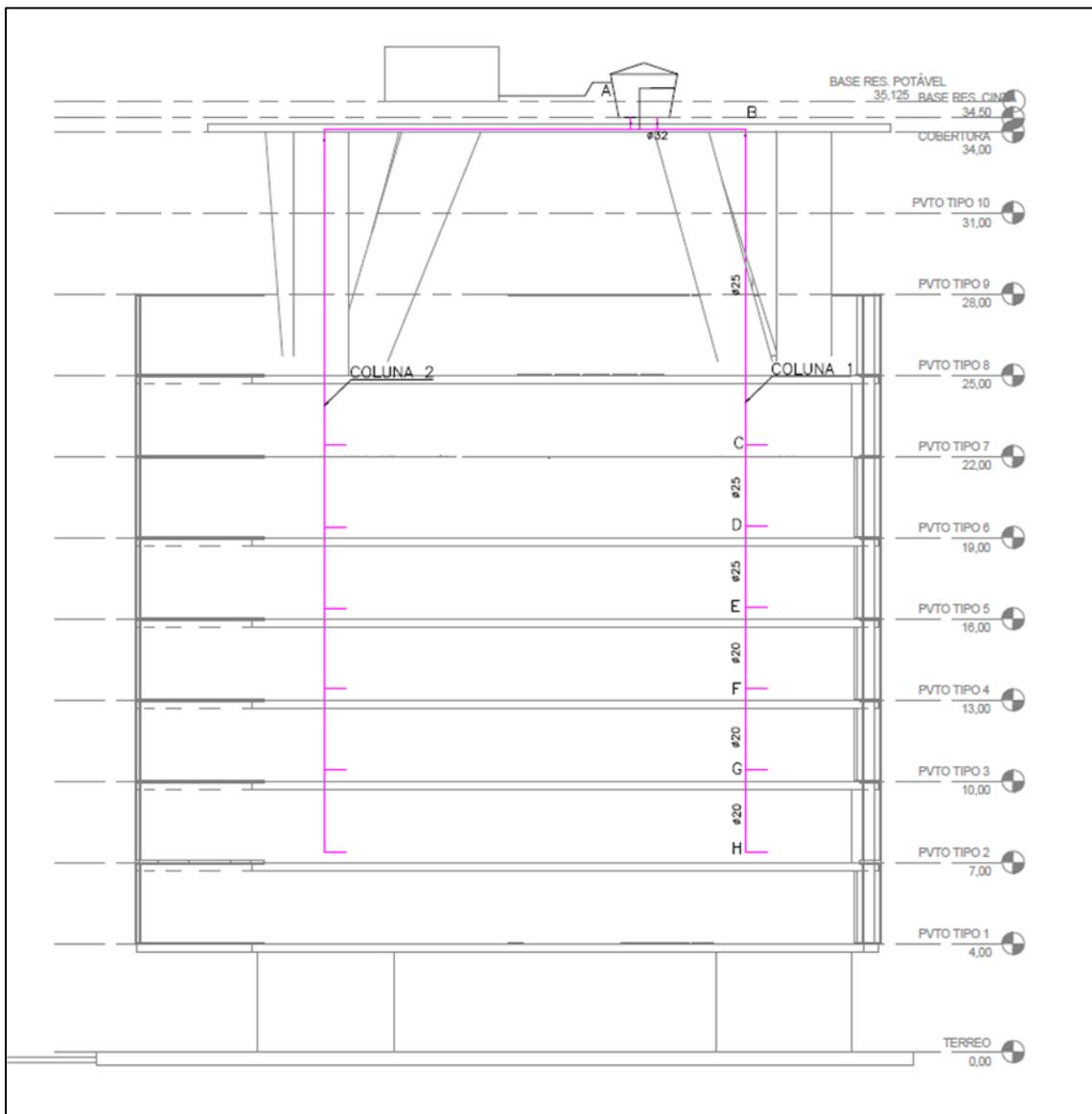
Coleta dos efluentes do banheiro 6.



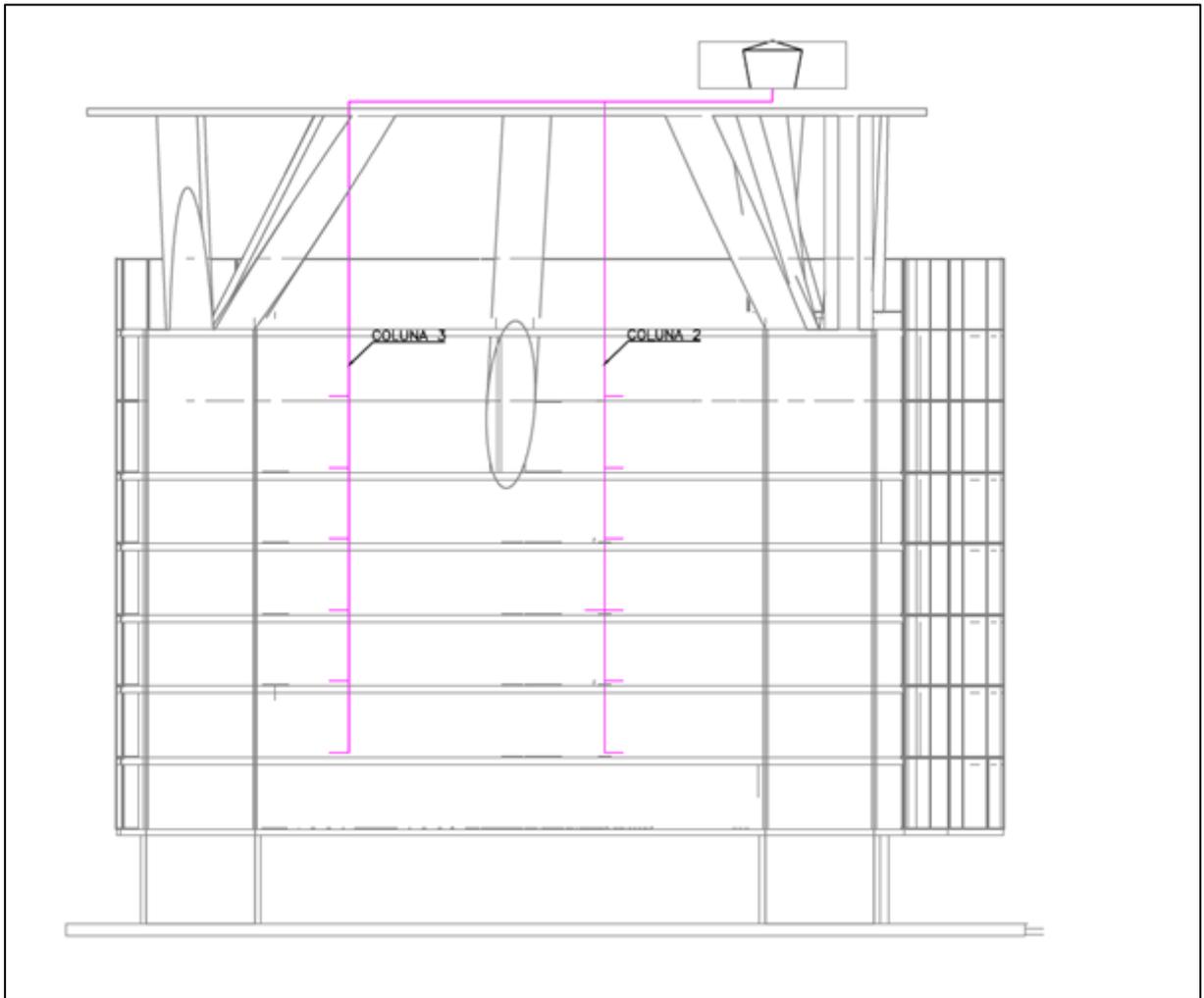
Desvios dos tubos de queda no teto do térreo.



Coletores dos efluentes e sistema de tratamento.



Distribuição das águas cinzas nos apartamentos.



Distribuição das águas cinzas nos apartamentos.

