

GUSTAVO COUTINHO ROSA

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA E ECONÔMICA DE UM
SISTEMA COMBINADO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA EM UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Gustavo Coutinho

Análise quali-quantitativa e econômica de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em uma residência unifamiliar / Gustavo Coutinho Rosa ; orientador, EneDir Ghisi, 2019.
159 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.


1. Engenharia Civil. 2. Uso racional de água. 3. Aproveitamento de água pluvial. 4. Reúso de água cinza. 5. Economia de água potável. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Gustavo Coutinho Rosa

**ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA E ECONÔMICA DE UM
SISTEMA COMBINADO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA EM UMA RESIDÊNCIA
UNIFAMILIAR**


Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de
"Mestre em Engenharia Civil" e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 27 de Fevereiro de 2019.

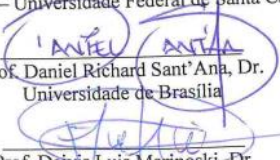


Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

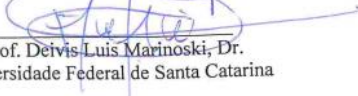
Banca Examinadora:




Prof. Enedir Ghisi, PhD
Orientador – Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Daniel Richard Sant'Ana, Dr.
Universidade de Brasília



Prof. Deivis Luis Marinowski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Lúcia Helena de Oliveira, Dr.
Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mário e Valéria, por toda a dedicação desde os meus primeiros anos, sempre ensinando os valores da vida, com muito caráter e honestidade. Muito obrigado por todo o auxílio na pesquisa, sem vocês nada seria possível.

À minha irmã Clarissa por toda parceria na vida e auxílio na pesquisa.

À minha namorada Angélica pela parceria e dedicação ao longo dos anos, incentivadora desta fase da minha vida, sempre me motivando a buscar algo mais.

Ao professor Eneir Ghisi pelas contribuições durante a orientação, sempre demonstrando zelo, paciência e seriedade. Fica minha gratidão por sua dedicação profissional. Obrigado pelos ensinamentos, que levarei para o resto da vida.

À professora Lúcia Helena de Oliveira e aos professores Daniel Richard Sant'Ana e Deivis Luís Marinoski por terem aceitado o convite para avaliar este trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) pela oportunidade oferecida.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar a instalação de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas e reúso de água cinza na descarga de vasos sanitários. Este foi realizado em uma edificação unifamiliar no município de Florianópolis, sul do Brasil, e é justificado pelo crescente declínio dos padrões quali-quantitativos dos corpos hídricos. Foi realizado o monitoramento dos usos finais de água potável nos aparelhos hidrossanitários. A redução do consumo de água potável foi determinada por meio da comparação entre as faturas mensais de água/esgoto fornecidas pela concessionária de abastecimento de água, anteriormente e posteriormente à instalação do sistema combinado. Visando à verificação da viabilidade econômica do sistema, calculou-se o tempo de recuperação econômica, o qual se baseia nos custos e nos benefícios financeiros. Verificou-se, também, a possibilidade de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza por meio da comparação com os limites de parâmetros relacionados à potabilidade e/ou reúso de água, estabelecidos pelas legislações pertinentes. Durante o período de monitoramento de usos finais, o consumo de água potável na máquina de lavar roupas foi equivalente a 44%. Para este valor percentual, o volume ideal do reservatório inferior de água pluvial foi equivalente a 4000 litros. Posteriormente à instalação do sistema combinado, houve redução média de sete metros cúbicos mensais no consumo de água potável na edificação, equivalente a 38%. A redução média do consumo per capita de água potável foi de, aproximadamente 57 litros diários por habitante. Visando à instalação do sistema combinado investiu-se R\$ 5.737,44, cujo tempo de recuperação econômica foi equivalente a onze anos e sete meses. A água pluvial proveniente da superfície de captação possui parâmetros com concentrações acima dos limites estabelecidos pela legislação pertinente. Portanto, anteriormente ao seu armazenamento, a água pluvial deve passar por dispositivo de descarte das precipitações iniciais e desinfecção. A água cinza possui parâmetros com concentrações acima dos limites estabelecidos pela norma de reúso de água, portanto, para ser utilizada deve passar por processo de tratamento. Os resultados indicam que a instalação possui viabilidade econômica e relevante redução no consumo de água potável, podendo auxiliar na preservação dos mananciais aquáticos.

Palavras-chave: Uso racional de água. Aproveitamento de água pluvial. Reúso de água cinza. Economia de água potável. Tempo de recuperação econômica.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the potential for potable water savings by installing a system that combines rainwater to wash clothes and reuses greywater to flush the toilets in a house located in Florianópolis. This study is justified by the decline in quantity and quality of water bodies. The potable water end-uses were measured. The reduction of potable water consumption was determined by comparing the monthly consumptions obtained from the water bill, before and after the installation of the combined system. Aiming to verify the financial viability of the system, the payback was calculated, which is based on costs and benefits. The possibility of rainwater use and greywater reuse was verified by means of the comparison with the limits of potability and water reuse, established by the pertinent legislation. During the monitoring period of the potable water end-uses, potable water consumption to wash clothes was found to be 44%. For this study, the ideal tank capacity equal to 4000 litres. After the installation of the combined system, the reduction of potable water consumption was estimated as eight cubic meters, i.e., equal to 38%. The reduction of daily potable water consumption was equal to 57.26 litres per capita. Aiming at the installation of the combined system, R\$ 5.737,44 was invested. The payback was estimated as eleven years and seven months. Rainwater from the catchment area has parameters with concentrations above the limits established by the pertinent legislation. Therefore, before storage, rainwater must pass through a device for discarding the initial precipitations and disinfection. Greywater has parameters with concentrations above the limits established by the water reuse standard. Therefore, the greywater must pass for treatment process. The results indicated that the system combining rainwater use and greywater reuse has economic viability and relevant reduction in potable water consumption, assisting in the preservation of aquatic sources.

Keywords: Rational use of water. Rainwater use. Greywater reuse. Potable water savings. Payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vazão total consumida por diferentes setores consumidores de água potável no Brasil.	28
Figura 2 – Programa Netuno.	66
Figura 3 - Vazão total consumida por diferentes setores consumidores de água potável no Brasil.	70
Figura 4 - Esquema vertical do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.	71
Figura 5 - Usos finais diários de água potável durante o período de medição (8 a 21 de julho de 2017).	97
Figura 6 - Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório.	102
Figura 7 – Consumos mensais e consumo per capita mensais de água potável.	103
Figura 8 - Turbidez da água pluvial proveniente da superfície de captação.	107
Figura 9 - Cor aparente da água pluvial proveniente da superfície de captação.	108
Figura 10 - pH da água pluvial proveniente da superfície de captação.	109
Figura 11 - Dureza da água pluvial proveniente da superfície de captação.	110
Figura 12 - Coliformes termotolerantes presentes na água pluvial proveniente da superfície de captação.	111
Figura 13 - Sólidos dissolvidos totais presentes na água pluvial proveniente da superfície de captação.	112
Figura 14 - Comparação entre as faturas de água/esgoto dos anos 2017 e 2018.	117
Figura 15 - Benefício monetário gerado com a redução do consumo de água potável.	123
Figura 16 - Dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas.	145
Figura 17 - Reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial.	146
Figura 18 - Motobomba de recalque da água pluvial.	147
Figura 19 - Reservatório superior de água pluvial (centro) e reservatórios de armazenamento de água cinza (à esquerda e à direita).	147
Figura 20 - Máquina de lavar roupas da edificação.	148
Figura 21 - Registros e tubulações de água pluvial e de água potável.	149

Figura 22 - Reservatório de armazenamento de água cinza.....	149
Figura 23 - Turbidez da água pluvial destinada à higienização de roupas.	154
Figura 24 - Cor aparente da água pluvial destinada à higienização de roupas.....	154
Figura 25 - Cloro residual livre presente na água pluvial destinada à higienização de roupas.....	155
Figura 26 - pH da água pluvial destinada à higienização de roupas.	155
Figura 27 - Dureza da água pluvial destinada à higienização de roupas.	156
Figura 28 - Sólidos dissolvidos totais presentes na água pluvial destinada à higienização de roupas.	156
Figura 29 - Turbidez da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.	157
Figura 30 - Cor aparente da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.	158
Figura 31 - pH da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.	158
Figura 32 - Cloro residual livre presente na água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.....	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo médio de água por estado e região do Brasil (2015).	30
Tabela 2 - Parâmetros para reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial de acordo com a Agência de Proteção Ambiental (Estados Unidos).	34
Tabela 3 - Parâmetros para reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial de acordo com a Agência de Meio Ambiente do Reino Unido.	35
Tabela 4 - Parâmetros para reúso de água e aproveitamento de água pluvial de acordo com o Departamento de Saúde de Nova Gales do Sul (Austrália).	35
Tabela 5 - Parâmetros para reúso de água e aproveitamento de água pluvial de acordo com o Ministério da Saúde do Canadá.	36
Tabela 6 - Parâmetros de qualidade para Classe 1.	37
Tabela 7 - Parâmetros para reúso de água e/ou aproveitamento de água pluvial para diferentes usos no Brasil.	38
Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis.	39
Tabela 9 - Característica de água cinza bruta em função da fonte proveniente.	46
Tabela 10 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando filtração seguida por desinfecção com hipoclorito de sódio.	48
Tabela 11 - Eficiência de tratamento para filtro de areia e filtro de resíduos de ardósia, e carvão ativado como pós-tratamento.	49
Tabela 12 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando ultrafiltração.	50
Tabela 13 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando processo anaeróbico e desinfecção com radiação ultravioleta.	51
Tabela 14 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando coagulação e troca iônica.	52
Tabela 15 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando wetlands construídos.	53
Tabela 16 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando sistema de reciclagem de água no telhado verde.	53
Tabela 17 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando reator de biofilme com leito móvel e tanque de decantação.	54
Tabela 18 - Potencial de economia de água potável em função do tipo de edificação.	57

Tabela 19 - Potencial de economia de água potável em residências localizadas em áreas de baixa renda.....	57
Tabela 20 - Potencial de economia de água potável em residências localizadas em áreas de baixa renda.....	59
Tabela 21 - Potencial de economia de água potável em edificação multifamiliar.	59
Tabela 22 - Tempos de recuperação econômica em edificações unifamiliares no município de Palhoça, sul do Brasil.	62
Tabela 23 - Tempos de recuperação econômica em edificações multifamiliares.	63
Tabela 24 - Consumo mensal e consumo per capita mensal de água potável no ano de 2017.	77
Tabela 25 - Valores numéricos referentes aos dados de entrada do programa Netuno.	79
Tabela 26 - Métodos de análise e limites de parâmetros para água pluvial.	83
Tabela 27 - Métodos de análise e limites de parâmetros para água cinza.	84
Tabela 28 - Preservação de amostras para análises físico-químicas.	85
Tabela 29 - Materiais de construção e especificações para execução de fundação e estrutura.	89
Tabela 30 - Materiais de construção e especificações para instalação de calhas.	90
Tabela 31 - Materiais de construção e especificações para instalações hidráulicas.	91
Tabela 32 - Materiais de construção e especificações para instalações elétricas.	91
Tabela 33 - Tarifas cobradas pela concessionária.	92
Tabela 34 - Dados de entrada referentes ao fluxo de caixa.	92
Tabela 35 - Custos iniciais para instalação do sistema combinado.....	93
Tabela 36 - Tarifa cobrada pela empresa concessionária de energia elétrica de Florianópolis.....	94
Tabela 37 - Informações da motobomba utilizadas para a análise econômica.	94
Tabela 38 - Custos operacionais e de manutenção do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.....	96
Tabela 39 - Consumo total e consumo médio diário por aparelho hidrossanitário.....	98
Tabela 40 - Comparação entre os volumes mensurados pela análise de usos finais e volume medido pelo hidrômetro instalado pela concessionária.	101

Tabela 41 - Datas de coleta, temperatura ambiente e condições climáticas.....	106
Tabela 42 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de fundação e estrutura.....	119
Tabela 43 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações das calhas.	120
Tabela 44 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações hidráulicas.	121
Tabela 45 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações elétricas	122
Tabela 46 - Custo com cada etapa de construção e custo total com aquisição de materiais de construção.	122
Tabela 47 - Síntese dos resultados obtidos por meio da análise econômica.	124
Tabela 48 - Análise de usos finais de água potável por aparelho hidrossanitário da edificação	151

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo Geral	24
1.1.2 Objetivos Específicos	24
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	27
2.2 USO RACIONAL E REÚSO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES	31
2.3 SISTEMAS COMBINADOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA	40
2.3.1 Sistemas de aproveitamento de água pluvial	41
2.3.2 Sistemas de reúso de água cinza	44
2.3.3 Potencial de economia de água potável	54
2.3.4 Resultados de análise econômica	61
2.4 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA ÁGUA PLUVIAL.....	65
2.5 SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA	67
3 MÉTODO	69
3.1 CONCEPÇÃO GERAL	70
3.2 USOS FINAIS	72
3.2.1 Chuveiro	72
3.2.2 Vasos sanitários	73
3.2.3 Lavatórios	73
3.2.4 Pia da cozinha	73
3.2.5 Máquina de lavar roupas	74
3.2.6 Usos gerais	74
3.2.7 Determinação dos usos finais	74
3.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO INFERIOR DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	76

3.4 ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL.....	79
3.5 ASPECTOS QUALITATIVOS.....	81
3.5.1 Aproveitamento de água pluvial.....	82
3.5.2 Reúso de água cinza.....	84
3.5.3 Coleta e armazenamento das amostras.....	85
3.6 ANÁLISE ECONÔMICA.....	86
3.6.1 Benefícios monetários gerados no ano de 2018.....	86
3.6.2 Investimento econômico inicial.....	88
3.6.3 Tempo de recuperação econômica.....	92
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	97
4.1 USOS FINAIS DE ÁGUA POTÁVEL.....	97
4.2 COMPARAÇÃO COM OS VOLUMES MEDIDOS PELA CONCESSIONÁRIA.....	100
4.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO INFERIOR DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL.....	101
4.4 ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL.....	103
4.5 ANÁLISES QUALITATIVAS.....	105
4.5.1 Água pluvial proveniente da cobertura.....	106
4.5.2 Aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas.....	113
4.5.3 Reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários.....	116
4.6 ANÁLISE ECONÔMICA.....	117
4.6.1 Benefícios monetários.....	117
4.6.2 Investimento inicial.....	118
4.6.3 Tempo de recuperação econômica.....	124
5 CONCLUSÕES.....	127
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	129
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	129
REFERÊNCIA.....	131
APÊNDICE A – FOTOS DO SISTEMA COMBINADO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA.....	145

APÊNDICE B – ANÁLISE DE USOS FINAIS DA EDIFICAÇÃO.....	151
APÊNDICE C – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA VISANDO AO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA HIGIENIZAÇÃO DE ROUPAS.....	153
APÊNDICE D – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA VISANDO AO REÚSO DE ÁGUA CINZA PARA DESCARGA DE VASOS SANITÁRIOS.....	157

1 INTRODUÇÃO

Observa-se, nas últimas décadas, ascendente crescimento populacional em áreas urbanas, em decorrência principalmente do êxodo da população rural e de formação de grandes núcleos urbanos. Segundo Lee et al. (2017), os países em desenvolvimento passam por rápido processo de industrialização e crescimento populacional, fatos que geram dificuldades aos sistemas tradicionais de abastecimento de água potável em suprir totalmente a demanda hídrica. O aumento populacional e as mudanças climáticas observadas no planeta Terra geram dificuldades ao abastecimento de água, pois reduzem a qualidade e a quantidade de recursos hídricos (HUSTON et al., 2012). O crescimento populacional, aliado à industrialização, gera poluição dos mananciais superficiais e subterrâneos (LEE et al., 2017). O declínio dos padrões quali-quantitativos dos corpos hídricos resulta em escassez de fontes hídricas potáveis (LEE et al., 2017). Para Yoshino et al. (2013), a escassez de água é intensificada pela crescente poluição dos recursos hídricos gerada por despejos de resíduos domésticos e industriais não tratados.

A escassez de mananciais saudáveis, segundo Tsutiya (2006), tem promovido ações diversas para preservação dos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos. Uma das ações é o uso racional de água em edificações, cujos objetivos, para Tsutiya (2006), são os seguintes:

- Disponibilidade de maior quantidade de água, atendendo maior número de usuários;
- Evita a necessidade de realização de captações em mananciais cada vez mais distantes do local de consumo, devido à redução da qualidade dos corpos hídricos;
- Redução de volumes de efluentes a serem tratados e coletados, com diminuição dos custos de implantação;
- Redução do consumo de energia elétrica;
- E maior garantia em suprir a demanda de água potável requerida.

Uma das formas de uso racional em edificações é o aproveitamento e reúso de água. Neste sentido, diversos estudos vêm sendo realizados acerca do aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e, mais recentemente, a utilização de sistemas combinados

nas residências. Estes são integrados por sistemas de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (LEONG et al., 2017). Para Loux, Winer-skonoovd e Gellerman (2012), tanto água pluvial quanto água cinza são fontes renováveis de água, as quais têm potencial de atender significativa parcela do consumo de água destinado a fins não potáveis, tais como descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins e higienização de automóveis.

Há, segundo Zhang et al. (2015), o entendimento de que os sistemas de aproveitamento de água pluvial podem, além de oferecer segurança ao abastecimento de água, contribuir para a redução do escoamento de água pluvial sobre a superfície durante as precipitações. Para Akter e Ahmed (2015), o aproveitamento de água pluvial gera, além de redução do consumo de água potável, decréscimo do valor monetário pago às concessionárias de saneamento e redução de cargas de água pluvial na rede de drenagem existente. Domènech e Saurí (2011) afirmam que a coleta de água pluvial pode transformar perigos, tais como inundações e poluição de corpos hídricos, em fontes de água para determinados usos. O aproveitamento de água pluvial apresenta-se em constante ascensão não somente em locais onde as fontes de água doce estão deterioradas em seus padrões quali-quantitativos, mas também em comunidades que desejam contribuir para o desenvolvimento sustentável do Planeta (MENDEZ et al., 2011). De acordo com Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015), o interesse em práticas que apoiem o uso racional de água apresenta-se em ascensão.

De acordo com Zipf, Pinheiro e Conegero (2016), uma das principais ações relacionadas ao uso racional de água em edificações é o reúso de água cinza. A água cinza é proveniente de chuveiros, banheiras, lavatórios e máquinas de lavar roupas (JOHNSON; LOUX, 2004). Tendo em vista que a água cinza possui menores concentrações de carga orgânica e patógenos do que a água negra, é considerada fonte de água ideal visando ao reúso (TSOUMACHIDOU et al., 2017).

Existem duas formas de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em uma edificação: sistemas combinados e sistemas híbridos. Nos sistemas combinados, a água pluvial e a água cinza são tratadas separadamente, ou seja, o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza são realizados de forma distinta e sem combinação de vazões, possuindo como objetivo comum a economia de água potável. Nos sistemas híbridos, de acordo com Leong et al. (2017), o armazenamento de água pluvial e de água cinza é realizado em um mesmo reservatório, anteriormente ao processo de tratamento. Há uma variação do sistema, onde a água pluvial e a água cinza são tratadas

separadamente antes da combinação de vazões. Ou seja, nos sistemas híbridos há mistura de água pluvial e de água cinza antes do reúso de água. Este estudo contempla os sistemas combinados, ou seja, apresentará um sistema de aproveitamento de água pluvial e um de aproveitamento de água cinza. Os sistemas são combinados visando à economia de água potável na edificação.

Os sistemas combinados de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza visam superar possíveis desvantagens observadas no aproveitamento isolado de água pluvial, tais como: baixos índices de precipitações pluviométricas, pequenas áreas de captação e pequenos reservatórios de armazenamento (LEONG et al., 2017). Além disso, há regiões com intermitência de precipitações ao longo do ano, e a utilização de um sistema combinado compensa tal intermitência, uma vez que a água cinza é gerada independentemente das condições climáticas (LOUX; WINER-SKONOVD; GELLERMAN, 2012).

Os sistemas combinados devem ser cada vez mais estudados em aspectos de qualidade e de quantidade, visando à preservação de corpos hídricos saudáveis. No que tange a aspectos de qualidade, deve-se estudar a possibilidade do aproveitamento de água pluvial e do reúso de água cinza em edificações, utilizando parâmetros de qualidade da água e limites definidos nas legislações pertinentes acerca do aproveitamento de água pluvial e do reúso de água cinza. Em aspectos de quantidade, estudos devem ser realizados visando reduzir o consumo de água potável em edificações. No entanto, sabe-se que a análise de custo-benefício e tempo de recuperação econômica são importantes na tomada de decisão por parte do proprietário da residência para a instalação do sistema (AKTER; AHMED, 2015). Portanto, além de estudos de aspectos quali-quantitativos, ressalta-se a relevância de estudos de análise econômica, buscando o tempo de recuperação econômica para sistemas combinados e averiguação de sua viabilidade.

Atualmente, o aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza destinam-se geralmente a fins não-potáveis, portanto faz-se necessário estudos acerca da utilização para fins potáveis após determinado tratamento. Na edificação deste estudo, são relevantes estudos de qualidade da água visando ao aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas, visto que há alto consumo de água potável para desempenho da função.

Pesquisas sobre o uso racional de água são cada vez mais relevantes na preservação dos mesmos. De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, a gestão dos mananciais deve contar também com a participação do Poder Público, dos usuários e das

comunidades. Portanto, os cidadãos devem cobrar políticas públicas visando à minimização dos impactos ambientais adversos (BRASIL, 1997).

Busca-se através de estudos relacionados ao uso racional de água, preservar os recursos hídricos, assegurando às gerações atual e futura a disponibilidade hídrica em padrões quali-quantitativos adequados (BRASIL, 1997).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar análise quali-quantitativa e análise econômica de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, em uma residência unifamiliar no município de Florianópolis-SC.

1.1.2 Objetivos Específicos

A realização deste estudo pretende alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Estimar os usos finais por aparelho hidrossanitário na edificação;
- Mensurar a economia de água potável, bem como a redução do consumo per capita residencial, originados pela instalação de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza;
- Verificar a possibilidade de aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas e reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários, em respeito aos limites de parâmetros de qualidade da água relacionados à potabilidade e/ou reúso de água, estabelecidos pelas legislações pertinentes;
- Realizar análise econômica, incluindo cálculo do tempo de recuperação econômica.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos principais. O primeiro capítulo introduz o assunto, citando a importância de políticas de uso racional de água, visando à preservação dos padrões de qualidade e de quantidade dos recursos hídricos. Define também os objetivos a serem alcançados ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura referente ao uso racional de água em edificações, dando ênfase aos sistemas combinados, os quais são compostos por aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Aborda também consumo de água potável, estudos acerca de potenciais de economia de água potável e análises econômicas relacionadas ao aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações residenciais. E por último aborda o dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água pluvial.

O terceiro capítulo descreve o método adotado neste estudo. Deste modo, descreve-se o método para avaliação da economia de água potável na edificação com a instalação do sistema combinado, bem como para o cálculo do consumo *per capita*. Definem-se também os parâmetros de qualidade da água relacionados à potabilidade e reúso de água, bem como seus métodos de análise, visando posterior comparação às legislações pertinentes. E, por último, o método utilizado para realizar a análise econômica é descrito visando mensurar o tempo de recuperação econômica.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados encontrados, bem como discussões sobre os mesmos, incluindo comparações com estudos semelhantes já realizados ou legislações pertinentes acerca do aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. E no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste estudo, bem como as limitações encontradas nesta pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

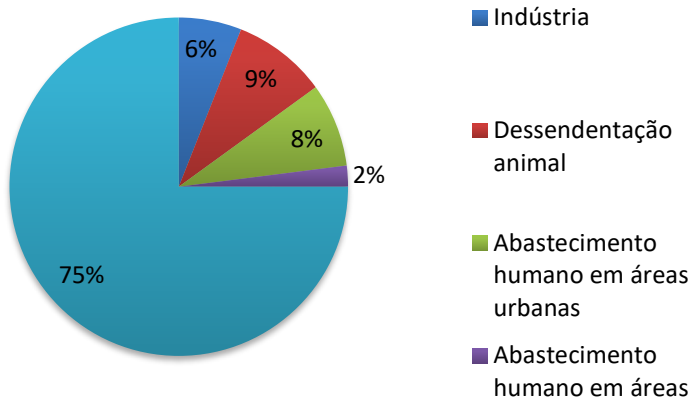
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura e de normas sobre o aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações, visando servir como fundamentação teórica para os demais capítulos deste estudo. Apresenta-se o consumo de água em edificações, incluindo estudos sobre o potencial de economia de água com a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e de reúso de água cinza. Apresentam-se trabalhos publicados, valorizando as práticas como uso racional de água, caracterizando água pluvial e água cinza, e indicando possíveis tratamentos visando ao reúso de água. Ao final da revisão, há trabalhos sobre análise econômica de sistemas combinados de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza instalados, buscando a verificação da viabilidade do sistema para edificações residenciais.

2.1 CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

No que tange à demanda hídrica consuntiva, existem cinco setores consumidores de água potável: indústria, dessedentação animal, abastecimento humano em áreas urbanas, abastecimento humano em áreas rurais e irrigação. No Brasil, no ano de 2015, foi consumida vazão equivalente a 1.209,64 m³/s (ANA, 2017). O setor de irrigação é o responsável pelo maior consumo de água, representando 75% da vazão total consumida, conforme mostra a Figura 1. O uso racional de água na irrigação brasileira poderia gerar significativas economias no consumo de água potável, preservando os recursos hídricos do país.

Figura 1 - Vazão total consumida por diferentes setores consumidores de água potável no Brasil.



Neste estudo, aborda-se o consumo hídrico em edificações residenciais, portanto dá-se ênfase à vazão para abastecimento humano em áreas urbanas. De acordo com ANA (2017), em 2015, o setor consumiu 100,65 m³/s, representando 8% da vazão total consumida em território brasileiro.

A água consumida para utilização em edificações residenciais é utilizada para as seguintes finalidades: higiene pessoal, preparo de alimentos, higienização de roupas, higienização de utensílios domésticos e limpeza de modo geral (TSUTIYA, 2006). Para Rocha, Barreto e Ioshimoto (1998), o consumo hídrico está relacionado aos seguintes parâmetros: características meteorológicas, padrão econômico familiar, características culturais da população e valor econômico da água. Além destes, deve-se considerar os aspectos regionais. A Tabela 1 apresenta o consumo médio *per capita* de água por estado e região do Brasil. No país, o consumo médio *per capita* equivale a 154 litros por dia. Entre os estados, a região Sudeste apresenta destaque, com 176 litros diários por habitante, seguida, respectivamente, pelas regiões Norte, Centro-Oeste, Sul e Nordeste. O consumo de água do Rio de Janeiro, aproximadamente, 255 litros diários por habitante, destaca-se em relação aos demais estados. Os seguintes estados apresentam média de consumo *per capita* maior do que a média brasileira: Rondônia, Espírito Santo, Amazonas, Acre, Mato Grosso, Roraima, Amapá, Rio Grande do Sul, São Paulo e Mato Grosso do Sul. O estado de Santa Catarina, local da

edificação deste estudo, apresenta consumo médio *per capita* de aproximadamente 149 litros diários, ocupando o 14º lugar no *ranking* brasileiro do consumo de água *per capita*.

Tabela 1 - Consumo médio de água por estado e região do Brasil (2015).

Estado/Região	Consumo médio de água (L/hab/dia)
Acre	169,1
Amazonas	171,8
Amapá	163,0
Pará	141,6
Rondônia	179,1
Roraima	163,2
Tocantins	130,5
Norte	154,3
Alagoas	98,6
Bahia	117,0
Ceará	130,2
Maranhão	125,1
Paraíba	110,4
Pernambuco	100,7
Piauí	135,4
Rio Grande do Norte	116,3
Sergipe	118,8
Nordeste	116,1
Espírito Santo	178,6
Minas Gerais	148,8
Rio de Janeiro	254,6
São Paulo	159,2
Sudeste	176,0
Paraná	138,4
Rio Grande do Sul	159,6
Santa Catarina	148,8
Sul	148,7
Distrito Federal	153,7
Goiás	136,3
Mato Grosso do Sul	156,0
Mato Grosso	163,5
Centro-Oeste	148,8
Brasil	154,0

Fonte: SNIS (2015)

De acordo com a Tabela 1, observa-se que regiões industrializadas apresentam maior consumo de água *per capita*, podendo-se justificar o fato pelo consumo adicional de água na indústria. Vale ressaltar que, no Brasil, o setor industrial consumiu 8% da vazão de água tratada produzida. A região Sudeste, região mais industrializada do Brasil, apresentou, no ano de 2015, consumo médio *per capita* equivalente a 176 litros diários. Observa-se também que quanto maior a disponibilidade de água, caso da região Norte do Brasil, maior o consumo de água. A região Nordeste apresenta dificuldades relacionadas à disponibilidade hídrica, resultando no menor consumo médio *per capita* do país.

Alguns estudos realizados em municípios brasileiros demonstram que as médias municipais de consumo de água *per capita* encontram-se próximas às médias obtidas em território brasileiro. Feil e Haetinger (2014) analisaram o consumo médio *per capita* de água potável no município de Lajeado, sul do Brasil, entre os anos de 2000 e 2007. O consumo médio *per capita* calculado foi de, aproximadamente, 143 litros por dia. Para os autores, há intervenientes no processo, como umidade relativa e população total. Bressan e Martini (2005) obtiveram como consumo médio de água potável para o município de Santa Bárbara do Oeste, sudeste do Brasil, 158 litros diários por habitante. Souza e Kalbusch (2017) mensuraram o consumo de água potável em 30 edificações residenciais multifamiliares no município de Joinville, sul do Brasil. No estudo, edificações com sistemas de medição individualizada apresentaram consumo médio diário equivalente a 176 litros *per capita*. Quando utilizados sistemas de medição coletiva, o consumo médio diário *per capita* foi de 236 litros. Verifica-se que os sistemas de medição individualizados apresentam menores consumos médios *per capita* quando comparados a edificações que utilizam sistema de medição coletiva.

Medidas de uso racional de água são capazes de reduzir o consumo de água potável nas diferentes regiões brasileiras, podendo possuir papel relevante na preservação das características qualitativas dos corpos hídricos.

2.2 USO RACIONAL E REÚSO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES

O crescimento populacional e as mudanças climáticas ocorridas em todo o mundo estão pressionando cada vez mais os recursos hídricos (HUSTON et al., 2012). Isso gera degradação dos mananciais, comprometendo assim seus aspectos de qualidade e quantidade,

resultando em cenários de escassez de água a níveis local, regional e global. De acordo com Potseluev e Nazarov (2017), há a necessidade da busca por soluções técnicas, tecnológicas e organizacionais visando minimizar a escassez de água. Segundo Yoshino et al. (2013), a utilização de fontes alternativas de abastecimento é citada como uma das soluções técnicas para o problema da escassez de recursos hídricos. Nesta perspectiva, há o aumento no interesse em práticas ecológicas racionais no uso da água (FERNANDES; TERÊNCIO; PACHECO, 2015). Portanto, novas tecnologias e metodologias vêm sendo estudadas visando à conservação do recurso natural. Para Júnior et al. (2013), a principal forma de evitar a escassez de água é promover seu uso racional. Este visa à preservação de recursos hídricos, assegurando às gerações atual e futura a disponibilidade hídrica em padrões quali-quantitativos adequados aos respectivos usos. Em outras palavras, para Júnior et al. (2013), utilizar racionalmente a água é delimitar seus usos e aplicações, preservando o ciclo hidrológico e garantindo, assim, a oferta de água. O uso racional da água deve considerar os vários tipos de utilização da água e adotar programas de redução de perdas; recuperação e conservação de mananciais; redução do consumo de energia; coleta e tratamento de efluentes; reúso da água; e aproveitamento de água pluvial (TSUTYIA, 2006). Como forma de uso racional de água, podem-se incluir os aparelhos economizadores de água, as legislações pertinentes e o reúso de água cinza em edificações.

Estudos vêm sendo realizados em todo o mundo acerca do aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e sistemas combinados de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações. O sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza constitui alternativa para reduzir o consumo de água potável, além de reduzir o escoamento de água pluvial no meio urbano (OVIDO-OCAÑA et al., 2017). Além do aproveitamento de água pluvial, os sistemas combinados possuem reúso de água cinza. A presença do sistema de reúso de água cinza determina o aumento da eficiência de economia de água potável gerada pelo aproveitamento de água pluvial (CIPOLLA; ALTOBELLI; MAGLIONICO, 2018).

De acordo com Asano e Levine (1991), as tendências e fatores que motivam o reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial são:

- Redução da poluição dos cursos d'água;
- Disponibilidade de efluentes tratados com elevado grau de qualidade;

- Promover, em longo prazo, fonte confiável de abastecimento de água; e
- Gerenciamento da demanda de água, no planejamento dos recursos hídricos.

Normas internacionais acerca do reúso de água cinza e aproveitamento pluvial funcionam como ferramentas incentivadoras para instalação de sistemas geradores de economia no consumo de água potável. Este estudo apresenta normas internacionais relevantes de reúso de água cinza e de aproveitamento de água pluvial em edificações. As Tabelas 2 a 5 mostram, respectivamente, parâmetros para determinados tipos de uso de água nos Estados Unidos (Agência de Proteção de Meio Ambiente), no Reino Unido (Agência de Meio Ambiente), na Austrália (Departamento de Saúde de Nova Gales do Sul) e no Canadá (Ministério da Saúde). Observam-se as seguintes finalidades para o reúso de água e aproveitamento de água pluvial: descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, higienização de roupas e lavagem de automóveis. De acordo com a finalidade do reúso da água, as normas apresentam determinado nível de exigência. Observa-se também que alguns países apresentam limites mais exigentes de parâmetros de qualidade de água, visando ao aproveitamento de água pluvial e ao reúso de água cinza. Limites muito exigentes podem elevar o custo financeiro do processo de tratamento. No entanto, limites pouco exigentes podem não apresentar segurança à saúde dos usuários dos sistemas. São necessários estudos sobre os limites das legislações e normas pertinentes visando à elaboração de normas que assegurem adequado custo-benefício ao sistema.

Tabela 2 - Parâmetros para reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial de acordo com a Agência de Proteção Ambiental (Estados Unidos).

Usos	Coliformes fecais (NMP/100 ml)	Turbidez (NTU)	pH	SST (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
Reúso urbano: irrigação paisagística, descarga em vasos sanitários, proteção contra incêndios e ar-condicionado comercial	Ausência	< 2,00	6,00 a 9,00	-	≤ 10,00
Construção e compactação do solo, controle de poeira, lavagem de agregado e confecção de concreto	< 200	-	6,00 a 9,00	≤ 30,00	≤ 30,00
Reutilização agrícola e culturas alimentares não comercializadas – irrigação por superfície ou pulverização	Ausência	< 2,00	6,00 a 9,00	-	≤ 10,00

Adaptado de Couto et al. (2015).

Tabela 3 - Parâmetros para reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial de acordo com a Agência de Meio Ambiente do Reino Unido.

Usos	Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Turbidez (NTU)	pH	SST (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
Irrigação em áreas de acesso restrito, nas quais o acesso público é proibido	< 200,00	-	-	≤ 30,00	≤ 30,00
Aplicação de pulverização: lavagem a pressão, utilização de sprinklers no jardim e lavagem de automóveis	< 10,00	< 10,0	5,00 a 9,50	-	-
Descarga em vasos sanitários	< 1000,00	< 10	5,00 a 9,50	-	-
Irrigação de jardins	< 10,00	< 10	5,00 a 9,50	-	-
Utilização da máquina de lavar	< 1,00	-	-	≤ 20,00	-

Adaptado de Couto et al. (2015).

Tabela 4 - Parâmetros para reúso de água e aproveitamento de água pluvial de acordo com o Departamento de Saúde de Nova Gales do Sul (Austrália).

Usos	Coliformes fecais (NMP/100 ml)	SST (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
Descarga em vasos sanitários	< 1	≤ 20,00	< 20,00

Adaptado de Couto et al. (2015).

Tabela 5 - Parâmetros para reúso de água e aproveitamento de água pluvial de acordo com o Ministério da Saúde do Canadá.

Usos	Coliformes fecais (NMP/100 ml)	Turbidez (NTU)	SST (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)
Descarga em vasos sanitários	< 200	< 5,00 NTU	≤ 20,00	< 20,00

Adaptado de Couto et al. (2015).

As normas internacionais funcionam como incentivo para a adoção de sistemas de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, e demonstração da possibilidade de aplicação de políticas de uso racional de água. Busca-se com as normas internacionais expostas neste estudo, demonstrar que existem legislações sendo elaboradas no mundo acerca do reúso de água cinza e aproveitamento de água pluvial, visando preservar os aspectos de qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

No estado de São Paulo, a Agência Nacional de Águas - ANA, em conjunto com a Federação das Indústrias - FIESP e Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo – SINDUSCON, no ano de 2005, definiu quatro classes de água para o reúso de água cinza e/ou aproveitamento de água pluvial, respeitando padrões de qualidade para diferentes usos. A Classe 1 aborda o aproveitamento para vasos sanitários, lavagem de pisos, roupas e veículos, além de utilização para fins ornamentais. As Classes 2, 3 e 4 destinam-se, respectivamente, à construção civil, irrigação e torres de resfriamento de ar-condicionado. A Tabela 6 mostra os limites dos parâmetros de qualidade definidos pela legislação em questão para a Classe 1.

Tabela 6 - Parâmetros de qualidade para Classe 1.

Parâmetros	Limites
Coliformes fecais ¹	Não detectáveis
pH	Entre 6,00 a 9,0
Cor (μH)	$\leq 10,00$
Turbidez (μT)	$\leq 2,00$
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg.L^{-1})	$\leq 1,00$
DBO (mg.L^{-1}) ²	$\leq 10,00$
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato (mg.L^{-1}) ⁴	$\leq 10,00$
Nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1}) ⁴	$\leq 20,00$
Nitrito (mg.L^{-1}) ⁴	$\leq 1,00$
Fósforo total (mg.L^{-1}) ⁴	$\leq 0,10$
Sólidos suspensos totais (SST) (mg.L^{-1})	$\leq 5,00$
Sólidos dissolvidos totais (SDT) (mg.L^{-1}) ⁵	$\leq 500,00$

1. Parâmetro prioritário para os usos considerados.
2. O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e odor desagradável, em função do processo de decomposição.
3. O controle deste composto visa evitar odores desagradáveis, principalmente em aplicações externas em dias quentes.
4. O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques e etc.
5. Valor recomendado para lavagem de roupas e veículos.

Fonte: ANA, FIESP e SINDUSCON-SP (2005)

Também há normas a nível nacional que visam ao aproveitamento de água pluvial e/ou reúso de água cinza. A NBR 13.969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997) trata de padrões de reutilização na irrigação de pomares e jardins, descarga de vasos sanitários, e lavagem de automóveis e calçadas. A Tabela 7 apresenta os limites de determinados parâmetros para o reúso de água cinza e/ou aproveitamento de água pluvial em diferentes usos finais.

Tabela 7 - Parâmetros para reúso de água e/ou aproveitamento de água pluvial para diferentes usos no Brasil.

Usos	Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	Turbidez (NTU)	pH	SDT (mg.L ⁻¹)	OD (mg.L ⁻¹)
Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes	< 200	< 5,00	6,00 a 8,00	< 200,00	-
Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	< 500	-	-	-	-
Reúso nas descargas dos vasos sanitários	< 500	< 10,00	-	-	-
Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da coleta	< 5000	-	-	-	> 2,00

Adaptado de NBR 13969:1997.

Como mencionado, a Tabela 7 apresenta alguns parâmetros, conforme a finalidade do reúso do efluente. Porém, há casos de reúso menos exigentes. Por exemplo, para descarga dos vasos sanitários pode-se prever o uso de água proveniente do enxágue de máquinas de lavar roupas, apenas passando por etapa de desinfecção (ABNT, 1997). Na norma também se afirma que, geralmente, a água de enxágue da máquina de lavar roupas satisfaz o padrão da Classe 3, passando por processo de cloração.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas também traz, em sua norma 15527, de 24 de outubro de 2007, requisitos para o aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. A Tabela 8 mostra as frequências amostrais e os parâmetros de qualidade de água pluvial para usos restritivos não potáveis definidos pela NBR 15527. Esta norma aplica-se às seguintes formas de aproveitamento de água pluvial: descarga em vasos sanitários, irrigação de jardins e plantas ornamentais, lavagem de automóveis, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis.

Parâmetro	Análise	Limite
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,50 a 3,00 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,00 µT ^b , para usos menos restritivos < 5,00 µT
Cor aparente	Mensal	< 15,00 µH ^c

NOTA: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

^b µT é a unidade de turbidez.

^c µH é a unidade Hazen

Como forma de uso racional de água, também podem ser utilizadas políticas de incentivos ao uso racional da água. Os incentivos

podem ser subsídios ou normas que exijam a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações. Em determinadas regiões da Europa, dos Estados Unidos, do México e da Argentina há legislações que obrigam a adoção de sistemas de uso racional de água (TSUTYIA, 2006). Políticas de incentivos apresentam relevância para a adoção de práticas de uso racional e, conseqüentemente, preservação dos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos. Em pesquisa realizada com moradores de edificações na Polônia, Stec (2018) afirma que 80% dos entrevistados acreditam que subsídios incentivariam a utilização de sistema de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Além do aproveitamento de água pluvial e do reúso de água cinza, em programas de uso racional de água, a utilização de aparelhos economizadores de água auxilia na redução do consumo de água potável. Cita-se como exemplo: vasos sanitários com caixa acoplada, fechamento automático hidromecânico em torneiras de lavatórios, acionamento por sensor de presença e arejadores em lavatórios.

À medida que os recursos hídricos tornam-se mais escassos e o lançamento de despejos torna-se mais problemático, o conceito de uso racional ganha força (KIM et al., 2007). Embora o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza chame atenção, a falta de informações úteis acerca do sistema combinado dificulta sua ampla aplicação. (KIM et al., 2007). Portanto, devem ser realizados mais estudos acerca do aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza como forma de uso racional de água.

2.3 SISTEMAS COMBINADOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA

Como resultado do aumento dos períodos de estiagem, ocasionados pelas mudanças climáticas, pelo desmatamento e pelas mudanças nos padrões de consumo de água, tecnologias não convencionais para a conservação dos recursos hídricos vêm ganhando apoio (ZIPF; PINHEIRO; CONEGERO, 2016). Vários sistemas têm sido propostos, incluindo aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e, recentemente, os sistemas combinados de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Para melhor compreensão acerca do sistema e de seus componentes, no decorrer do texto a seguir serão abordados o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza em edificações.

2.3.1 Sistemas de aproveitamento de água pluvial

Para Akter e Ahmed (2015), o aproveitamento de água pluvial apresenta-se como a fonte alternativa de água mais comum, pois apresenta efetividade econômica e facilidade de manutenção.

De acordo com Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015), grande parte da água tratada utilizada nos edifícios pode ser substituída pela água pluvial captada. Geralmente, em uma edificação residencial, utiliza-se água pluvial para fins não potáveis. Além do aproveitamento de água pluvial em atividades de irrigação, lavagem de automóveis e descarga em vasos sanitários, estudos vêm sendo realizados sobre o aproveitamento de água pluvial na máquina de lavar roupas. Domènech e Saurí (2011) estudaram a utilização de água pluvial para higienização de roupas, afirmando que houve notável economia de água nas edificações multifamiliares.

Para elaboração de sistema de aproveitamento de água pluvial devem-se levar em consideração alguns fatores de relevante importância para o perfeito desempenho do mesmo. De acordo com Akter e Ahmed (2015), a efetividade do sistema de aproveitamento de água pluvial depende de alguns fatores, tais como índices de precipitação pluviométrica na região, consumo de água *per capita* na edificação, material de confecção da cobertura e área de captação.

De acordo com Mendez et al. (2011), o sistema de captação de água pluvial pode afetar a qualidade da água pluvial coletada. O material de confecção da área de captação deve ser analisado, pois pode apresentar contaminantes que deverão ser tratados posteriormente. A maioria dos estudos até o momento concentrou-se em examinar os materiais de telhados convencionais, tais como metal galvanizado, fibrocimento, e cerâmica. Podem-se observar também alguns estudos sobre telhado verde. No que tange à eliminação de microrganismos patogênicos, os estudos envolvendo as coberturas confeccionadas em metal apresentaram destaque, uma vez que a baixa emissividade do metal resultou em temperaturas superficiais mais elevadas, reduzindo, portanto, as concentrações de coliformes fecais na cobertura (MENDEZ et al., 2011). No entanto, devem ser realizados novos estudos acerca de telhados metálicos, pois os mesmos podem transferir metais pesados à água coletada. Leong et al. (2017) afirmam que os telhados de ferro galvanizado resultam em elevadas concentrações de zinco na água. Embora os telhados verdes não tenham sido estudados o suficiente acerca da coleta de água pluvial, encontraram-se altas concentrações de demanda química de oxigênio, indicando a presença de matéria orgânica

(MENDEZ et al., 2011). As coberturas tendem a apresentar microorganismos patogênicos provenientes de fezes de animais e detritos presentes na cobertura. De acordo com Lee et al. (2017), folhas e excrementos de animais são os principais motivos de contaminação microbiana nos sistemas de captação de água pluvial. Portanto, ressalta-se a importância da realização da desinfecção e constante manutenção com higienização das coberturas visando ao aproveitamento de água pluvial com segurança aos usuários.

Constata-se, através de pesquisas na literatura, que a utilização de sistema de tratamento composto por filtração seguida de desinfecção promove possibilidade de aproveitamento de água pluvial. A água pluvial deve passar por processo de desinfecção para eliminação de microorganismos patogênicos, tais como: coliformes fecais, bactérias e protozoários (MENDEZ et al., 2011). No Brasil, são utilizadas as seguintes formas de desinfecção: cloração, ozonização e radiação ultravioleta. Geralmente utiliza-se cloração devido ao seu baixo custo financeiro quando comparada às demais formas de desinfecção. Entretanto, deve-se dar atenção à desinfecção através da cloração em água com alta concentração de matéria orgânica, pois podem ocorrer reações que resultam em subprodutos perigosos à saúde humana, tais como a formação de trihalometanos, substância cancerígena. Lee et al. (2017) constataram coliformes em todas as amostras de água pluvial não tratadas, coletadas em duas instituições educacionais localizadas em Hanoi, Vietnã. Observou-se também contaminação por *Escherichia coli* em 50% das amostras. A maioria das bactérias coliformes não causa moléstias, embora possa indicar a presença de agentes patogênicos (LEE et al., 2017). De acordo com os autores, a elevada concentração de microorganismos pode estar associada a poeiras, folhas e excrementos de animais carregados pelas primeiras precipitações após períodos de estiagem provenientes de área de captação e calhas de água pluvial. Anteriormente ao processo de desinfecção, para o adequado aproveitamento de água pluvial, deve-se instalar sistema de filtração grosseira ou desvio do primeiro volume de precipitação pluviométrica, cujo objetivo é eliminar sólidos, poeiras e demais detritos. De acordo com Mendez et al. (2011), a instalação de dispositivo de descarte das primeiras precipitações pode resultar em melhoria da qualidade da água pluvial coletada, uma vez que reduz as concentrações da maioria dos parâmetros de qualidade da água. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007) recomenda que, na falta de dados, utilize-se volume equivalente a dois milímetros da precipitação pluviométrica inicial. O descarte das primeiras precipitações previne a acumulação de matéria

orgânica nos reservatórios, evita a corrosão nas tubulações e reduz a probabilidade de danos à motobomba (LEONG et al., 2017).

Os principais problemas relacionados ao aproveitamento de água pluvial, além de partículas sólidas e microorganismos patogênicos são o pH da água e a falta de manutenção do sistema de aproveitamento de água pluvial. Morillas et al. (2016) afirmam que a acidificação é o principal problema ambiental referente à composição da água pluvial. Os autores afirmam que a chuva ácida geralmente é formada devido à dissolução de aerossóis ácidos, com destaque a SO_x e NO_x, provenientes das seguintes fontes antropogênicas: industrialização, tráfego rodoviário intenso e queima de combustíveis fósseis. Além da chuva ácida, justifica-se o baixo pH na água pluvial pela produção de ácido na decomposição de folhas (LEE et al., 2017). O baixo pH pode gerar problemas aos sistema de aproveitamento de água pluvial, pois pode resultar em corrosão no reservatório de armazenamento e nas tubulações, além de conferir sabor e odor à água (LEE et al., 2017).

Domènech e Saurí (2011) estudaram o aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais unifamiliares e multi-familiares na região metropolitana de Barcelona, Espanha. Os autores observaram que os sistemas de captação de água pluvial não foram mantidos regularmente, ou seja, a maioria das áreas de captação, calhas e reservatórios não foram higienizadas frequentemente. Além de razões operacionais e de manutenção, um dos maiores obstáculos para o uso de técnicas de reutilização está relacionado à falta de gerenciamento hídrico eficiente (YOSHINO et al., 2013).

Caso instalado e operado de forma correta, o aproveitamento de água pluvial é uma das soluções mais simples para a preservação e uso sustentável dos recursos hídricos, garantindo assim a manutenção de seus padrões quali-quantitativos (YOSHINO et al., 2013).

De acordo com Huston et al. (2012), consumir água proveniente de reservatórios contendo água pluvial é de baixo risco à saúde humana caso coletada em coberturas em boas condições de conservação. A capacidade do reservatório de armazenamento deve ser determinada para cada localidade, pois está diretamente relacionada à demanda por água potável e à demanda de água pluvial (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007). No dimensionamento do volume ideal do reservatório deve-se levar em consideração a área de cobertura, consumo hídrico residencial, parâmetros climáticos e custos financeiros relacionados à instalação reservatório de armazenamento de água pluvial (PELAK; PORPORATO, 2016). É necessário escolher o volume ideal de armazenamento, visando evitar que capacidades excessivas prejudiquem

a viabilidade econômica do sistema (FERNANDES; TERÊNCIO; PACHECO, 2015). Segundo Akter e Ahmed (2015), a tomada de decisões acerca do volume de armazenamento é influenciada pela análise de custo-benefício e o tempo de recuperação econômica. Segundo Zhang et al. (2015), caso o projetista não tenha experiência prévia com sistemas de aproveitamento de água pluvial, é possível que haja superestimação do potencial de economia hídrica do reservatório.

O dimensionamento do volume de armazenamento de água pluvial é de extrema importância, optando-se por reservatórios que apresentem adequado custo-benefício. Ou seja, a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial deve apresentar viabilidade econômica. Para Pelak e Porporato (2016), a maioria dos proprietários interessados em instalar sistemas de aproveitamento de água pluvial está preocupada com o seu potencial de economia financeira. Legislações sobre o reúso de água e subsídios fornecidos à população incentivam a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em várias regiões do planeta. De acordo com Domènech e Saurí (2011), vários países estão aprovando regulamentos visando à economia de água potável, incluindo o aproveitamento de água pluvial. Na Espanha, vários municípios catalães estão exigindo, através de novos regulamentos, reserva de área para instalação de sistemas de captação de água pluvial (DOMÈNECH; SAURÍ, 2011). Zhang et al. (2015) afirmam que municípios estadunidenses vêm desenvolvendo normas para o aproveitamento de água pluvial. Os autores também afirmam que, na Austrália, há incentivos financeiros para favorecer a instalação de reservatórios de armazenamento de água pluvial. Visando ao aumento do aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais, os gestores governamentais podem utilizar determinadas informações para fornecer subsídios ou promover mudanças na estrutura tarifária das concessionárias de abastecimento de água (PELAK; PORPORATO, 2016).

2.3.2 Sistemas de reúso de água cinza

Os sistemas de reúso de água cinza apresentam vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, ressalta-se que o reúso de água cinza pode gerar economia no consumo de água potável em edificações residenciais, comerciais e industriais. Entretanto, o investimento econômico com infraestrutura e aceitação social podem ser fatores limitantes para a aceitação do uso da tecnologia (RAMPRASAD et al., 2017). Stec (2018) realizou pesquisa acerca da aceitação de sistemas de

aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações da Polônia. 79% dos entrevistados identificaram que teriam medo de reutilizar água cinza em sua edificação. No estudo, metade dos entrevistados possui receio de aproveitar a água pluvial ou reutilizar a água cinza para a lavagem de roupas. Há outros usos para a água que possuem maior aceitação por parte de indivíduos em suas edificações. Muthukumaran, Baskaran e Sexton (2011) afirmam, em seu estudo, que a aceitação por parte da comunidade em relação ao reúso de água cinza foi alta para usos como descarga de vaso sanitário e irrigação de jardins. Entretanto, os entrevistados informaram que gostariam de ouvir mais sobre as práticas de reutilização da água cinza em veículos de comunicação.

O reúso de água cinza possui outras desvantagens. Para Loux, Winer-skonovd e Gellerman (2012), a água cinza pode apresentar problemas de liberação de odores desagradáveis causados por condições anaeróbicas e crescimento bacteriano. De acordo com Teh et al. (2015), o reúso de água cinza quando comparado ao aproveitamento de água pluvial, necessita de maior grau de sofisticação dos processos de tratamento, elevando os investimentos financeiros para instalação do sistema. Deve-se ter coerência ao adotarem-se padrões de reúso da água, pois limites muito exigentes podem gerar necessidades tecnológicas muito sofisticadas, deixando o reúso inviável economicamente (COUTO et al., 2015). Os autores também afirmam que há poucas normas e regulamentos específicos no mundo acerca do reúso de água cinza. Wu, Guo e Brown (2000) afirmam que por suas características, a água cinza requer maior nível de filtração do que a água pluvial. Caso a água cinza seja utilizada para irrigação, os elevados níveis de sais presentes na mesma podem ser prejudiciais às plantas (WU; GUO; BROWN, 2000). Os autores afirmam também que a água cinza, quando aplicada diretamente na superfície do solo, não resultou em sintomas de estresse a muitas plantas sensíveis aos sais.

A nomenclatura provém de seu aspecto acinzentado, resultante da presença de sabão, *shampoo*, creme dental e produtos químicos (SAUMYA et al., 2015). De acordo com Zhang et al. (2015), a água cinza representa aproximadamente 75% do volume de efluentes produzidos em uma residência. Seus aspectos quali-quantitativos dependem, principalmente, do comportamento social e cultural, do estilo de vida dos habitantes e do consumo de água (TSOUMACHIDOU et al., 2017). Para Etchepare e Hoek (2015), a composição da água cinza depende das atividades domésticas, hábitos diários e uso de produtos químicos. De acordo com Zipf, Pinheiro e Conegero (2016), há variação

na qualidade da água cinza, embora sua origem possa ser a mesma. Chrispim e Nolasco (2017) realizaram estudo acerca do reúso de água cinza após tratamento com reator de biofilme com leito móvel e tanque de decantação. Para estimativa da eficiência de tratamento, alguns parâmetros de água cinza bruta foram quantificados de acordo com as seguintes fontes: chuveiros, lavatórios e máquina de lavar roupas. Os resultados são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Característica de água cinza bruta em função da fonte proveniente.

Parâmetros	Chuveiros	Lavatórios	Máquina de lavar roupas
Turbidez (NTU)	100,00	48,70	33,50
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	155,80	18,50	32,70
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	408,50	165,50	901,30
Demanda química de oxigênio (mg.L ⁻¹)	272,80	208,10	274,10
Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L ⁻¹)	123,10	101,00	77,00
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	5,30	3,30	2,30
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	50,30	5,10	4,30
Carbono orgânico total (mg.L ⁻¹)	95,20	79,40	91,60
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	10,90	12,30	111,50

De modo geral, os parâmetros apresentam valores elevados necessitando de tratamento anterior ao reúso.

Os padrões físico-químicos de água cinza, mesmo que provenientes da mesma origem, podem apresentar grande variabilidade. De acordo com Zipf, Pinheiro e Conegero (2016), a variação nos padrões físico-químicos é a maior dificuldade encontrada no tratamento de água cinza. Segundo Etchepare e Hoek (2015), estudos vêm sendo realizados acerca de parâmetros físicos, químicos e biológicos presentes na água cinza, os quais incluem temperatura, condutividade, cor, turbidez, sólidos em suspensão, pH, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, carbono orgânico total, metais pesados, bactérias, protozoários, vírus, e helmintos. Além destes, Noutsopoulos et al. (2017) incluem sólidos totais, sólidos voláteis, nitrogênio, fósforo, enxofre e surfactantes.

Devido a elevadas concentrações de demanda química de oxigênio e surfactantes é necessário tratamento da água cinza antes de qualquer forma de reúso (ZHANG et al., 2015). Para Bani-melhem et al. (2015) o principal risco à saúde humana são as bactérias patogênicas, caso a água cinza não seja submetida a tratamento anterior ao reúso. Couto et al. (2015) afirmam que é importante estabelecer limites para turbidez e sólidos em suspensão, devido a sua capacidade de obstrução de tubulações e interferência na desinfecção. Para a demanda bioquímica de oxigênio, o estabelecimento de concentrações máximas deve-se à necessidade de evitar o crescimento de microrganismos na água cinza tratada (COUTO et al., 2015). Visando reduzir a proliferação de organismos patogênicos, é importante a definição de concentração mínima de cloro residual. Existem parâmetros que podem estar associados à presença de produtos químicos. Por exemplo, a água proveniente de chuveiro e lavatório possui componentes químicos, os quais provêm de sabão, *shampoo*, pasta de dentes, produtos para barbear e vestígios de fezes e urina (TSOUMACHIDOU et al., 2017). Para os autores, a máquina de lavar roupas gera efluente com concentrações de sódio, fósforo, surfactantes e nitrogênio, os quais são provenientes de produtos químicos utilizados na higienização da roupa.

Leong et al. (2017) afirmam que para o tratamento de água cinza deve-se utilizar tratamentos físicos e químicos. Para Saumya et al. (2015) o uso de tecnologias biológicas de tratamento, além de remover eficientemente matéria orgânica, reduz o custo de instalação e o uso de produtos químicos. Assim sendo, podem ser aplicadas tecnologias físicas, químicas e biológicas no tratamento de água cinza, visando ao reúso (COUTO et al., 2015). Tratamentos físico-químicos ou biológicos apresentam vantagens e desvantagens. O tratamento biológico, embora apresente elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, possui dificuldades na remoção de parâmetros químicos. O tratamento físico-químico apresenta-se com maiores custos financeiros. A definição do tipo de tratamento deve ser realizada com o auxílio de estudos sobre os padrões físicos, químicos e biológicos, além da eficiência de tratamento desejada. No decorrer do texto a seguir são apresentados estudos realizados acerca dos diferentes tipos de tratamento físico-químicos e biológicos, visando ao reúso de água cinza.

O sistema de tratamento físico-químico mais simples visando ao reúso de água cinza é composto por filtração e desinfecção. De acordo com Noutsopoulos et al (2017) a aplicação de sistema de tratamento físico, constituído por coagulação, sedimentação, filtração em areia, filtração em carvão ativado e desinfecção pode proporcionar água cinza

com concentrações adequadas ao reúso. March, Gual e Orozco (2004) estudaram filtração através de tela de *nylon* seguida de desinfecção com hipoclorito de sódio como tratamento da água cinza. A Tabela 10 mostra os resultados obtidos no trabalho.

Tabela 10 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando filtração seguida por desinfecção com hipoclorito de sódio.

Parâmetros	Eficiência de remoção (%)
Demanda química de oxigênio	54,4
Turbidez	17,5
Sólidos em suspensão totais	57,7

Zipf, Pinheiro e Conegero (2016) estudaram a aplicação de filtros lentos de areia e ardósia no tratamento de água cinza para o reúso da mesma, sendo que foram utilizados filtros de carvão ativado como pós-tratamento. O filtro de areia, assim como o de resíduo de ardósia, apresentou remoção de turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes totais e coliformes termotolerantes. As eficiências de remoção são mostradas na Tabela 11. É importante ressaltar que eficiências de remoção significativas ocorreram com a adição do filtro de carvão ativado, fundamental na remoção de turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e surfactantes. Para a realização das análises foram utilizadas as seguintes taxas de filtração: 2,00 e 6,00 m³/m² dia. Entretanto, é importante ressaltar que não foram constatadas diferenças significativas entre as taxas na maioria dos resultados. Antes do tratamento, a água cinza foi submetida a tratamento preliminar visando à remoção de sólidos grosseiros. Utilizou-se, para o objetivo proposto, tela com aberturas de aproximadamente um milímetro.

Tabela 11 - Eficiência de tratamento para filtro de areia e filtro de resíduos de ardósia, e carvão ativado como pós-tratamento.

Parâmetros analisados	Eficiência de tratamento (%)	
	Filtro de areia com carvão ativado como pós-tratamento.	Filtro de resíduos de ardósia com carvão ativado como pós-tratamento.
Turbidez	61	66
Cor aparente	54	61
Demanda química de oxigênio	56	60
Demanda bioquímica de oxigênio	56	51
Coliformes fecais	61	67
Coliformes termotolerantes	90	80
Surfactantes	70	70

Leong et al. (2017) afirmam que biorreatores com membrana (microfiltração, ultrafiltração e osmose reversa) apresentam excelentes resultados para remoção de sólidos, turbidez e patógenos. Sostar-Turk, Petrinic e Simonic (2005) removeram aproximadamente 56% e 98% de matéria orgânica presente na água cinza utilizando, respectivamente, os seguintes tratamentos: ultrafiltração e osmose reversa. Os autores afirmaram, ao final do estudo, que o mais indicado é a filtração por osmose reversa. Para Bani-melhem et al. (2015), a tecnologia de biorreatores com membrana é atrativa a pesquisadores, pois apresenta remoção satisfatória de substâncias orgânicas, surfactantes e microrganismos, sem a necessidade de pós-filtração e etapa de desinfecção. Embora seja considerado promissor, o tratamento apresenta dificuldades operacionais, onde há fácil colmatação das membranas com materiais presentes no efluente filtrado. Para Leong et al. (2017), os sistemas de filtração por membrana apresentam maior pressão transmembrana e, conseqüentemente, maior frequência de incrustação. Bani-melhem et al. (2015) afirmam que a utilização de biorreatores com membranas devem ser associados a tecnologias de tratamento físico-químicos, visando reduzir as incrustações nas membranas, facilitando a operacionalização do tratamento. Pode-se realizar pré-tratamento do efluente com a utilização de sulfato de alumínio, carvão ativado em pó

ou zeólitos. Entretanto, tais medidas elevam o custo financeiro do processo.

Bani-melhem et al. (2015) realizaram estudo acerca do tratamento de água cinza utilizando ultrafiltração. Os autores afirmam que há elevada eficiência de remoção de cor e turbidez pela tecnologia de membranas. Os demais resultados obtidos no estudo são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando ultrafiltração.

Parâmetros	Eficiência de remoção (%)
Demanda química de oxigênio	88
Nitrogênio amoniacal	88
Fósforo total	56
Surfactantes	73
Sólidos em suspensão totais	100

Teh et al. (2015) analisaram a utilização de peróxido de hidrogênio como pós-tratamento à digestão aeróbica. Os autores chegaram a remoções de, respectivamente, 88% e 68% para sólidos em suspensão e demanda química de oxigênio. Para as análises utilizou-se tempo de detenção hidráulica igual a cinco horas e taxa de percolação equivalente a 2,16 g DQO/Ldia. A concentração de peróxido de hidrogênio utilizada foi de 1 mL/L. O sistema possui potencial para reúso em pequenas comunidades, pois remove eficientemente microrganismos e possui baixa necessidade de área para tratamento (TEH et al., 2015).

Processos oxidativos avançados também foram testados visando ao reúso de água cinza. Para Tsoumachidou et al. (2017), entre os processos oxidativos avançados, a oxidação fotocatalítica apresenta destaque, pois apresenta eficiência na remoção de compostos orgânicos e microrganismos patogênicos. Tsoumachidou et al. (2017) realizaram estudo de oxidação fotocatalítica utilizando TiO_2 , visando à mineralização da água cinza. Quando foi empregado H_2O_2 como agente oxidante, remoção de aproximadamente 65% foi observada para demanda química de oxigênio. No entanto, quando o processo foi associado ao fenton mostrou maior eficiência, obtendo 72% de remoção da carga orgânica.

O processo oxidativo avançado TiO_2/UV emprega radiação ultravioleta associada ao TiO_2 , que funciona como

fotocatalisador(GASSIE; ENGLEHARDT, 2017). Para a radiação ultravioleta pode-se utilizar comprimento de onda variando entre 320 e 380 nanômetros. Enquanto o oxigênio é reduzido, os materiais orgânicos são oxidados. Porém, o sistema de tratamento em questão apresenta desvantagens, tais como altas doses de TiO_2 , elevando o custo econômico de tratamento, e ausência de desinfecção residual, possuindo necessidade de pós-tratamento (GASSIE; ENGLEHARDT, 2017).

No processo UV/ H_2O_2 , o peróxido de hidrogênio é colocado na solução aquosa, onde sofre ação da radiação ultravioleta, sendo convertido em radical hidroxila, agente responsável pela mineralização dos compostos orgânicos (GASSIE; ENGLEHARDT, 2017). Entre as desvantagens do processo, pode-se citar o alto consumo de energia elétrica e a necessidade de controle das dosagens de peróxido de hidrogênio.

Processos anaeróbicos são eficientes na remoção de materiais biodegradáveis, porém as concentrações reduzidas de nutrientes podem limitar sua eficiência (COUTO et al., 2015). Os autores estudaram sistema de tratamento de água cinza constituído por filtro anaeróbico seguido de desinfecção com radiação ultravioleta. Avaliaram os seguintes parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, sólidos em suspensão, turbidez, óleos e graxas e nitrato. Os resultados da pesquisa são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando processo anaeróbico e desinfecção com radiação ultravioleta.

Parâmetros analisados	Eficiência de tratamento (%)
Demanda química de oxigênio	72
Demanda bioquímica de oxigênio	73
Sólidos totais	16
Sólidos em suspensão	77
Turbidez	88
Óleos e graxas	100
Nitrato	60

Estudos também são realizados acerca das seguintes formas de tratamento: coagulação, troca iônica, oxidação fotocatalítica e carvão ativado. Estes processos são eficientes na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e surfactantes (LI; WICHMANN; OTTERPOHL,

2009). Pidou et al. (2008) verificaram o potencial de coagulação e troca iônica no tratamento de água cinza. Os seguintes parâmetros foram analisados: demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e turbidez. A Tabela 14 mostra os resultados. Embora haja eficiências de remoção relevantes, há inconvenientes operacionais nos processos. No caso da coagulação é a produção de subprodutos, tais como o lodo primário e, para a troca iônica, a necessidade de regeneração das resinas.

Tabela 14 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando coagulação e troca iônica.

Parâmetros analisados	Eficiência de tratamento (%)
Demanda química de oxigênio	68,8
Demanda bioquímica de oxigênio	86,8
Turbidez	93,5

Estudos vêm sendo realizados sobre a aplicação de *wetlands* construídos no tratamento de água cinza, indicando o tratamento como forma sustentável e viável de remoção de contaminantes (RAMPRASAD et al., 2017). Ramprasad et al. (2017) também afirmam que a eficiência de remoção dos *wetlands* construídos depende das condições climáticas, da vegetação utilizada e das características da água cinza. Saumya et al. (2015) realizaram estudo de remoção de parâmetros de água cinza com a utilização de *wetland*. Neste caso, utilizou-se a espécie *Heliconiaangusta* como elemento filtrante. Os autores analisaram os seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cloro residual, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos totais e turbidez. Os resultados são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando *wetlands* construídos.

Parâmetros analisados	Eficiência de tratamento (%)
Demanda química de oxigênio	39,72
Demanda bioquímica de oxigênio	70,00
Cloro residual	25,00
Sólidos em suspensão	61,65
Sólidos dissolvidos	18,66
Sólidos totais	46,15
Turbidez	92,12

Ramprasad et al. (2017) realizaram pesquisa sobre o sistema de reciclagem de água no telhado verde, conhecido por *Grow*. Neste sistema, utiliza-se sequência de calhas para passagem da água residuária, onde a filtração ocorre com plantas. As eficiências de remoção são mostradas na Tabela 16.

Tabela 16 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando sistema de reciclagem de água no telhado verde.

Parâmetros analisados	Eficiência de tratamento (%)
Demanda química de oxigênio	92,5
Demanda bioquímica de oxigênio	90,8
Coliformes fecais	91,4
Sólidos suspensos totais	91,6
Nitrato	83,6
Nitrogênio total	91,7
Fosfato	87,9

Chrispim e Nolasco (2017) estudaram, em escala piloto, reator de biofilme com leito móvel e tanque de decantação visando mensurar a eficiência de remoção de contaminantes presentes na água cinza. A Tabela 17 mostra os resultados encontrados.

Tabela 17 - Eficiências de tratamento de água cinza utilizando reator de biofilme com leito móvel e tanque de decantação.

Parâmetros Analisados	Eficiência de remoção (%)
Turbidez	75
Demanda química de oxigênio	78
Carbono orgânico total	75
Coliformes totais	97

Esta seção mostra que foram realizados vários estudos acerca de tratamentos de água cinza visando ao reúso. Muitos tratamentos possuem relevantes eficiências de remoção de parâmetros de qualidade da água. Estes tratamentos possibilitam condições de reúso de água cinza para diferentes finalidades. Entretanto, para a escolha do tratamento adequado deve-se considerar o melhor custo-benefício. Ou seja, aquele tratamento que, além de possibilitar o reúso de água cinza em respeito às legislações pertinentes, possua custo econômico acessível.

2.3.3 Potencial de economia de água potável

Os sistemas combinados de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza podem apresentar significativos potenciais de economia de água potável em edificações residenciais, comerciais e industriais, reduzindo custos com faturas de água e promovendo a preservação dos recursos hídricos.

De acordo com Souza e Ghisi (2012), o maior potencial de economia de água ocorre em regiões com precipitações constantes, o que nem sempre significa elevada média pluviométrica. Para os autores, regiões que possuem períodos secos bem definidos requerem grande volume de armazenamento de água pluvial. O reservatório de armazenamento pode influenciar o potencial de economia de água potável em sistemas de aproveitamento de água pluvial (GHISI; MONTIBELLER; SCHIMIDT, 2006). Segundo Herrmann e Schimida (2000), as variações de economia de água potável estão associadas à demanda de água em cada equipamento hidrossanitário utilizado e da área de captação.

Estudos acerca do aproveitamento de água pluvial e do reúso de água cinza vêm sendo realizados em diversas regiões do planeta. A seguir apresentam-se resultados de pesquisas realizadas em algumas

regiões do planeta, incluindo o Brasil e, mais especificamente, o estado de Santa Catarina e o município de Florianópolis, localização da edificação deste estudo.

Muthukumaran, Baskaran e Sexton (2011) realizaram estudo sobre o potencial de economia de água potável gerado pelo aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em edificações residenciais na Austrália. Para os autores, a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, em conjunto com aparelhos hidrossanitários economizadores de água, pode gerar economia de até 77% da água potável consumida em uma edificação residencial na Austrália. No estudo, a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial gerou economia de 40% no consumo de água potável.

Em estudo realizado na Alemanha, Herrmann e Schimida (2000) afirmam que o potencial de economia de água potável pode variar de 30% a 60% com a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais. Entretanto, depende dos hábitos de consumo e das áreas de captação disponíveis.

Umaphathi, Chong e Sharma (2013) avaliaram a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial no sudeste de Queensland, Austrália. Para isto, monitoraram vinte residências durante doze meses. Para os autores, o aproveitamento de água pluvial pode gerar economia média de 31% no consumo de água potável em edificações residenciais australianas.

Em áreas urbanas do município de Chittagong, Bangladesh, Akter e Ahmed (2015) simularam o potencial de economia de água potável através do programa HEC-HMS. Para os autores, o sistema de aproveitamento de água pluvial consegue suprir diariamente vinte litros por habitante, podendo representar economia de 26% no consumo de água potável residencial.

Eroksuz e Rahman (2010) estudaram o aproveitamento de água pluvial em três municípios australianos, obtendo economias de água potável variando de 21% a 57%. Em estudo realizado em uma edificação residencial em Nottingham, Reino Unido, Fewkes (1999) observou potencial médio de economia de água potável gerado pela instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial de, aproximadamente, 57%. Coombes, Argue e Kuczera (2000) estudaram o aproveitamento de água pluvial em 27 edificações residenciais na Austrália e observaram potencial médio de economia de água potável de, aproximadamente, 60%.

Lima et al. (2011) avaliaram o potencial de economia de água potável em 40 cidades da região Amazônica, norte do Brasil, por meio do aproveitamento de água pluvial. Os autores encontraram potencial médio de 76%, porém os valores dependem da demanda de água potável.

Ghisi, Bressan e Martini (2007) estudaram o potencial de economia de água potável gerada pelo aproveitamento de água pluvial em 195 municípios da região sudeste do Brasil. Os resultados indicam potencial médio de economia de água potável equivalente a 41%, podendo variar de 12% a 79% de acordo com a demanda de água potável na residência e características de armazenamento.

Ghisi, Montibeller e Schimidt (2006) avaliaram o potencial de economia gerado pelo aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais de 62 municípios de Santa Catarina, sul do Brasil. Os autores encontraram economia média de 69%, com resultados variando de 34% a 92%.

Berwanger e Ghisi (2014) avaliaram a viabilidade de sistema de aproveitamento de água pluvial no município de Itapiranga, sul do Brasil. Com a utilização do programa Netuno, foram variados os seguintes parâmetros: área de captação, consumo diário de água potável, número de habitantes, porcentagem de utilização de água pluvial e demanda de água potável. Com o aproveitamento de água pluvial, o potencial de economia de água potável, em edificações residenciais, pode chegar a 59% (BERWANGER; GHISI, 2014).

Lopes, Rupp e Ghisi (2015) avaliaram o potencial de economia de água potável utilizando sistema de aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais em 60 municípios localizados no estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Utilizou-se o programa Netuno, variando-se os seguintes parâmetros: volume de armazenamento, área de captação, número de moradores, demanda de água potável, demanda de água pluvial e coeficiente de escoamento superficial. A economia no consumo de água potável pode, para os autores, variar de 75 a 461 litros diários por residência.

Antunes, Thives e Ghisi (2016) estudaram o potencial de economia de água potável gerada pelo aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais, públicas e comerciais no município de Florianópolis, no sul do Brasil. Para isto, realizaram simulações no programa Netuno com água pluvial coletada em pavimentos porosos. Os resultados são mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Potencial de economia de água potável em função do tipo de edificação.

Tipo de edificação	Potencial de economia de água potável (%)
Residencial	19,4
Público	75,7
Comercial	70,0

Ghisi e Oliveira (2007) estudaram o potencial de economia de água potável em duas residências no município de Palhoça gerado pelos seguintes sistemas: aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e sistema combinado, constituído por aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. O potencial de economia de água potável gerado pelo aproveitamento de água pluvial foi equivalente a 36,6% e 33,8%, respectivamente, nas residências A e B. Ressalta-se que, nas residências, o aproveitamento de água pluvial dá-se na máquina de lavar roupas e em descargas de vasos sanitários. Quando instalado sistema de reúso de água cinza, o potencial de economia de água potável obtido foi equivalente a 30,4% e 25,6%, nas residências A e B, respectivamente. Ressalta-se que o reúso de água cinza dá-se na descarga de vasos sanitários. Ghisi e Oliveira (2007) também avaliaram o potencial de economia de água potável gerado pela instalação de sistema combinado de aproveitamento pluvial e reúso de água cinza. Ressalta-se que a água pluvial é aproveitada para higienização de roupas e a água cinza para descarga de vasos sanitários. No estudo, com a instalação do sistema combinado, observou-se potencial de economia de água potável equivalente a, aproximadamente, 36,4% para a residência A e 33,8% para a residência B. A Tabela 19 mostra os resultados obtidos no estudo realizado por Ghisi e Oliveira (2007).

Tabela 19 - Potencial de economia de água potável em residências localizadas em áreas de baixa renda.

Sistema utilizado	Economia no consumo de água potável (%)	
	Residência A	Residência B
Aproveitamento de água pluvial	36,6	33,8
Reúso de água cinza	30,4	25,6
Sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza	36,4	33,8

Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) avaliaram os benefícios ambientais gerados pelo aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza, aparelhos hidrossanitários e suas combinações em residências localizadas em áreas de baixa renda da região metropolitana de Florianópolis, estado de Santa Catarina, Brasil. O potencial de economia de água potável, obtido com o auxílio do programa Netuno, foi equivalente a 30,7%, quando instalado sistema de aproveitamento de água pluvial. No estudo, constatou-se que o volume ideal do reservatório inferior para as edificações de estudo é equivalente a 3000 litros. Os autores constataram redução de 21% no consumo de água potável, quando instalado sistema de reúso de água cinza proveniente de lavatórios e chuveiros para descarga de vasos sanitários. Os autores afirmam também que foram adotados reservatórios inferior e superior com capacidades de armazenamento de 100 litros para suprir a demanda diária de água cinza. No estudo, também se analisou o potencial de economia de água potável resultante da substituição de aparelhos hidrossanitários convencionais por aparelhos economizadores de água potável. Foram instaladas torneiras com aeradores e vasos sanitários com descarga de duplo acionamento. No estudo, constatou-se que a substituição pode proporcionar economia no consumo de água potável equivalente a 29,8%. Os autores também realizaram estudo combinando sistemas de aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e instalação de aparelhos economizadores de água potável. O reúso de água cinza, aliado à instalação de aparelhos economizadores de água, pode resultar em economia de água potável equivalente a 36,8% em edificações localizadas em baixa renda. Quando o reúso de água cinza está associado ao aproveitamento de água pluvial, há economia no consumo de água potável de 32,5%. E quando os três sistemas foram utilizados em conjunto, obteve-se redução de 42,9% no consumo de água potável residencial. A Tabela 20 apresenta o potencial de economia de água potável em função dos diferentes sistemas utilizados.

Tabela 20 - Potencial de economia de água potável em residências localizadas em áreas de baixa renda.

Sistema utilizado	Economia de água potável (%)
Aproveitamento de água pluvial	30,7
Reúso de água cinza	21,0
Aparelhos hidrossanitários economizadores de água potável	28,9
Reúso de água cinza aliado ao aproveitamento de água pluvial	32,5
Reúso de água cinza aliado à utilização de aparelhos economizadores de água potável	36,8
Reúso de água cinza, aproveitamento de água pluvial e aparelhos economizadores	42,9

Ghisi e Ferreira (2007) estudaram o potencial de economia de água potável em um conjunto habitacional multifamiliar no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina. Os autores realizaram estudo acerca do aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza nas três edificações presentes no conjunto habitacional. Os resultados são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Potencial de economia de água potável em edificação multifamiliar.

Sistema utilizado	Potencial de economia (%)		
	Edificação A	Edificação B	Edificação C
Aproveitamento de água pluvial	14,7	15,6	17,7
Reúso de água cinza	28,7	29,7	34,8
Aproveitamento de água pluvial aliado a reúso de água cinza	36,7	37,9	42,0

Li, Boyle e Reynolds (2010) estudaram a instalação de sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em aplicações domésticas na Irlanda. Para os autores, espera-se que os sistemas resultem em economia de até 94% no consumo de água potável nas residências, uma vez que, para os mesmos, somente 6% da demanda

hídrica doméstica é destinado a fins potáveis. A melhor forma de reúso para a água cinza é a aplicação em descargas de vasos sanitários, podendo gerar economia de aproximadamente 27% na demanda de água potável (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010). Para os autores, caso a água cinza for utilizada para irrigação de jardins, poderá apresentar economia de aproximadamente 12% no consumo de água potável nas residências irlandesas.

Muthukumaran, Baskaran e Sexton (2011) realizaram estudo sobre o potencial de economia de água potável gerado pelo reúso de água cinza em edificações residenciais na Austrália. Os autores afirmam que o reúso de água cinza em descarga de vaso sanitário e irrigação de paisagem pode gerar redução de, pelo menos, 50% no consumo de água potável.

Além de edificações residenciais, estudos são feitos em edificações destinadas a diferentes finalidades. Esta seção é destinada a mostrar o panorama mundial da atualidade acerca de diferentes edificações. Proença e Ghisi (2012) avaliaram o potencial de economia de água potável em edifícios comerciais no município de Florianópolis, sul do Brasil. De acordo com os autores, o aproveitamento de água pluvial pode gerar economias de água potável variando de 6,1% a 21,2%. Vale ressaltar que a simulação considera o aproveitamento de água pluvial em descarga de vasos sanitários. Zaizen et al. (2000) estudaram a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial em um estádio de futebol localizado no Japão. Os autores afirmam que o sistema é capaz de gerar economia de 65% nos usos de água para fins não potáveis, tais como descarga em vasos sanitários e lavagem de pátio. Marinowski e Ghisi (2008) analisaram a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial em uma instituição educacional no município de Florianópolis, sul do Brasil. Os autores obtiveram economia de 45,8% do consumo de água potável.

Ghisi, Tavares e Rocha (2009) avaliaram o potencial de economia de água potável utilizando o aproveitamento de água pluvial para lavagem de automóveis em postos de combustíveis localizados em Brasília, Brasil. No programa Netuno, variaram-se os seguintes parâmetros: volume de armazenamento, área de captação, demanda de água potável e demanda de água pluvial. No estudo, encontrou-se potencial médio de economia de água potável equivalente a 32,7%, variando de 9,2% a 57,3%.

Proença e Ghisi (2012) avaliaram o reúso de água cinza em edificações comerciais. Os autores afirmam que a economia de água

potável variou de 6,8% a 38,4%, quando a água cinza proveniente dos lavatórios foi destinada à descarga de vasos sanitários.

De acordo com Ghisi e Oliveira (2007), o potencial de economia de água potável poderia apresentar valor mais elevado caso a água pluvial fosse utilizada em aparelhos hidrossanitários que utilizem água para fins potáveis, tais como chuveiros, lavatórios e pias de cozinhas. Políticas públicas de incentivo ao aproveitamento de água pluvial e ao reúso de água cinza poderiam resultar em elevada economia de água potável, tendo como consequência a preservação dos recursos hídricos (GHISI; MONTIBELLER; SCHIMIDT, 2006).

2.3.4 Resultados de análise econômica

Embora importante do ponto de vista ambiental, ressalta-se que grande parte dos indivíduos preocupa-se com a economia financeira gerada pelos sistemas de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza na edificação, interessando-se por sistemas com baixos tempos de recuperação econômica. Couto et al. (2015) realizaram análise econômica de um sistema de reúso de água cinza em um aeroporto nos Estados Unidos, utilizando o valor presente líquido (VPL) e o tempo de recuperação econômica (*payback*). O VPL pode ser calculado envolvendo todas as despesas, as receitas e o investimento inicial. Entre as receitas, cita-se o valor monetário economizado através da redução do consumo de água. E entre as despesas, pode-se citar elevação da fatura de energia elétrica, possíveis tratamentos para condições de reúso da água, mão de obra, operação e manutenção. Couto et al. (2015) afirmam que foi gasta quantia equivalente a 22.905,75 dólares para instalação do sistema, valor recuperado em aproximadamente cinco anos.

Marinoski e Ghisi (2008) analisaram a instalação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma instituição educacional localizada no município de Florianópolis, sul do Brasil, obtendo tempo de recuperação econômica de aproximadamente quatro anos e dez meses.

Ghisi e Oliveira (2007) avaliaram o tempo de recuperação econômica em duas residências localizadas no município de Palhoça, estado de Santa Catarina, sul do Brasil, utilizando três sistemas distintos: aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e sistema combinado de aproveitamento pluvial e reúso de água cinza. Os resultados de tempos de recuperação econômica encontrados pelos autores são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 - Tempos de recuperação econômica em edificações unifamiliares no município de Palhoça, sul do Brasil.

Sistema utilizado	Tempo de recuperação econômica (anos)	
	Edificação A	Edificação B
Aproveitamento de água pluvial	21,42	67,33
Reúso de água cinza	17,67	61,25
Aproveitamento de água pluvial aliado a reúso de água cinza	28,17	92,67

O sistema não é rentável em nenhuma das duas edificações. Segundo Ghisi e Schondermark (2013), o baixo número de moradores nas residências faz com que o sistema de aproveitamento de água pluvial torne-se inviável e não resultará em benefícios econômicos. Residências com menos de três moradores resultam em economias no consumo de água potável tendendo a zero, devido à fatura mínima aplicada pela concessionária de abastecimento de água do município, cujo consumo equivale a dez metros cúbicos (GHISI; SCHONDERMARK, 2013). Segundo Berwanger e Ghisi (2014), não há viabilidade econômica para residências cujos consumos de água potável sejam menores do que dez metros cúbicos.

Ghisi e Ferreira (2007) realizaram estudo em um conjunto habitacional multifamiliar, no município de Florianópolis, cujos consumos eram maiores do que dez metros cúbicos de água, avaliando a rentabilidade dos sistemas. Os autores realizaram análise econômica acerca do aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em duas das três edificações presentes no conjunto habitacional. Os tempos de recuperação econômica são mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Tempos de recuperação econômica em edificações multifamiliares.

Sistema utilizado	Tempo de recuperação econômica (anos)		
	Edificação A	Edificação B	Edificação C
Aproveitamento de água pluvial	2,42	5	Não haverá economia financeira.
Reúso de água cinza	2,17	5	Não haverá economia financeira.
Aproveitamento de água pluvial aliado a reúso de água cinza	3,42	8	Não haverá economia financeira.

De acordo com a Tabela 23, utilizando-se sistema de aproveitamento de água pluvial ou sistema de reúso de água cinza, poderiam ser encontrados tempos de recuperação econômica inferiores a cinco anos (GHISI; FERREIRA, 2007). Os autores também afirmam que a utilização de sistema combinado de aproveitamento pluvial e reúso de água cinza geraria maior tempo de recuperação econômica, porém seria rentável da mesma forma. A edificação C apresenta comportamento diferenciado, pois possui consumo de água potável igual ou inferior a dez metros cúbicos, valor equivalente à fatura mínima cobrada pela concessionária de abastecimento de água potável. Portanto, não apresenta economia financeira.

Com o auxílio do programa Netuno, Berwanger e Ghisi (2014) avaliaram a viabilidade de sistema de aproveitamento de água pluvial no município de Itapiranga, sul do Brasil. Entre as 144 simulações, 45 casos apresentaram-se viáveis economicamente, porém se ressalta que apresentavam alta demanda por água potável e grande área de captação.

Ghisi e Schondermark (2013) analisaram a viabilidade econômica de sistema de aproveitamento de água pluvial no setor residencial no estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Os autores utilizaram dados dos seguintes municípios do estado: Florianópolis, Joinville, Criciúma, Lages e Chapecó. Para análise de viabilidade econômica, foram utilizados os seguintes dados: volume precipitado de água pluvial, consumo médio de água, investimento financeiro para aquisição do reservatório de armazenamento de água pluvial, investimento financeiro para aquisição da motobomba, faturas de água, eletricidade e esgoto.

Variaram-se alguns parâmetros no programa Netuno tais como volume de armazenamento, área de captação, número de moradores, demanda de água potável, demanda de água pluvial e coeficiente de escoamento superficial. Para a maioria dos casos, nos cinco municípios, o tempo de recuperação econômica variou de 1,5 a dez anos, embora alguns casos variaram de dez a mais de 30 anos. A principal conclusão do trabalho é que o aproveitamento de água pluvial é economicamente viável para a maioria das residências e quanto maior a demanda de água pluvial menor o tempo de recuperação econômica e, conseqüentemente, maior a viabilidade econômica.

Matos et al. (2015) realizaram análise econômica em um sistema de aproveitamento de água pluvial instalado em uma edificação comercial de Braga, Portugal. Constatou-se que, para taxa de inflação equivalente a 10%, o tempo de recuperação econômica varia de dois a seis anos. Caso a taxa de inflação fosse reduzida para 5%, o *payback* poderia ser igual a um ano. Ressalta-se que, para os autores, os principais custos para instalação do sistema são o reservatório de armazenamento e seus acessórios, e a energia gasta pela motobomba.

Morales-Pinzón et al. (2015) avaliaram a viabilidade econômica e ambiental na construção de casas e apartamentos com o uso do programa Plugisost. Para os autores, a instalação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza é viável economicamente em uma casa se o preço do metro cúbico da água apresentar valor mínimo de quatro euros. Caso o projeto fosse instalado em um apartamento, o preço do metro cúbico deveria ser superior a 1,4 Euros. Quanto à viabilidade ambiental, o sistema seria viável se o reservatório apresentasse capacidade volumétrica máxima de cinco metros cúbicos em casas e 33 metros cúbicos em apartamentos.

Para Liang e Van Dijk (2011), o sistema de aproveitamento de água pluvial pode ser economicamente viável, porém depende do tamanho do sistema de captação e armazenamento de água pluvial. Os autores afirmam que para a utilização na agricultura, é mais viável a utilização de água subterrânea em comparação ao aproveitamento de água pluvial.

Observa-se que o período de recuperação econômica deve-se às características da residência, características pluviométricas e estrutura do sistema tarifário. Em regiões com alta demanda por água potável, a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial tende a apresentar maior viabilidade econômica, pois gera maior economia financeira na fatura de água (LOPES; RUPP; GHISI, 2015). Observa-se também que edificações que apresentam consumo de água potável

menor ou igual a dez metros cúbicos apresentam elevados tempos de recuperação econômica e, portanto, não apresentam viabilidade econômica. Edificações residenciais com significativas áreas de captação de água pluvial tendem a possuir menores tempos de recuperação econômica.

2.4 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA ÁGUA PLUVIAL

A ferramenta computacional utilizada para simulação do aproveitamento de água pluvial neste estudo é o programa computacional Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014), desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, localizado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. O programa em questão é utilizado para simulações de sistemas de captação de água pluvial e pode apresentar os seguintes resultados: potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, volume ideal do reservatório e volume extravasado de água pluvial. O programa também permite análises econômicas para a instalação de sistema de aproveitamento de água pluvial, podendo estimar os custos e as economias de consumo de água (GHISI; CORDOVA, 2014). Os dados de entrada são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Programa Netuno.

Netuno 4

Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Reservatório superior

Reservatório inferior

Simulação para reservatório com volume conhecido

Simulação para reservatórios com diversos volumes

Carregar dados de precipitação

Número de registros	Data inicial (dd/MM/yyyy)	Descarte escoamento inicial (mm)

Área de captação (m²)

Demanda total de água (litros per capita/dia)

Variável...

Número de moradores

Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial

Coeficiente de escoamento superficial

Observações

Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.

Carregam-se os dados de precipitação do município onde se localiza a edificação em estudo sobre o aproveitamento de água pluvial. A área de captação representa a soma das superfícies que interceptam as precipitações, no caso de uma edificação, os telhados ou terraços. Demanda total de água representa o consumo de água *per capita* na habitação, ou seja, quantos litros diários cada morador consome. O número de moradores representa quantos indivíduos habitam a edificação, havendo a opção de colocar número variável de pessoas, caso necessário. O percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial é a porcentagem de água potável da edificação que se deve substituir pelo aproveitamento de água pluvial. O coeficiente de escoamento superficial depende das características da cobertura, ou seja, depende do material com os quais as mesmas são constituídas.

O reservatório superior deve ser dimensionado de acordo com as características desejadas pelo projetista. Há três opções principais:

volume igual à demanda diária média de água pluvial, volume desejado ou não utilizar reservatório superior.

Há duas opções para o dimensionamento do reservatório inferior: simulação para reservatório com volume conhecido e simulação para reservatórios com diversos volumes. Nesta opção, escolhe-se o volume máximo de simulação e o intervalo entre volumes. Podendo, também, indicar o volume ideal para o reservatório inferior, ou seja, diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, em $\%/m^3$.

O programa apresenta, ao final da simulação, os seguintes gráficos sobre o aproveitamento de água pluvial para as características informadas: análise do consumo de água pluvial, atendimento de água pluvial e volume extravasado.

O programa gera o volume ideal de reservatório inferior de armazenamento de água pluvial. Muitas capacidades de reservatórios são elevadas para os padrões brasileiros, pois apresentam alto custo financeiro e há baixa disponibilidade de área nas regiões urbanas. Portanto, análise de custo-benefício deve ser utilizada para a escolha do volume de armazenamento a ser adotado na edificação

2.5 SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA

Embora a edificação deste estudo apresente-se de acordo com as médias de consumo *per capita* no estado de Santa Catarina e no Brasil, é possível obter relevante economia no consumo de água potável na edificação posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Entretanto, a economia depende de fatores tais como características pluviométricas, demanda de água potável, área de captação e dimensões do reservatório de armazenamento. Observa-se que a instalação de sistemas combinados tende a apresentar maiores potenciais de economia no consumo de água potável quando comparados a sistemas isolados, pois utilizam o aproveitamento de água pluvial junto ao reúso de água cinza. A instalação de sistemas combinados geralmente apresenta viabilidade econômica. No entanto, como na região metropolitana de Florianópolis é cobrada fatura mínima de consumo de água potável equivalente a dez metros cúbicos, edificações que possuam consumo abaixo deste valor não apresentam viabilidade econômica devido ao tempo demasiadamente longo de recuperação econômica. De acordo com as pesquisas mostradas neste capítulo, o tempo de recuperação econômica pode ser calculado envolvendo as despesas, as receitas e o investimento

inicial. Entre as receitas, cita-se o valor monetário economizado através da redução do consumo de água potável. E entre as despesas, pode-se citar elevação da fatura de energia elétrica e possíveis tratamentos para condições de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. O investimento inicial está relacionado aos custos financeiros referentes à aquisição de materiais de construção e à contratação de mão de obra.

É importante a caracterização da água pluvial e da água cinza para verificar a possibilidade de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Segundo a literatura, espera-se que alguns parâmetros de água pluvial estejam acima dos limites estipulados pelas normas pertinentes, devendo ser utilizado tratamento para possibilitar o aproveitamento da mesma. Visando à remoção de sólidos grosseiros e demais contaminantes presentes na água pluvial, a Associação Brasileira de Normas Técnicas em sua norma 15.527, de 24 de setembro de 2007, recomenda a utilização de dispositivo para descartar o volume inicial de precipitação pluviométrica.

Pelo exposto neste capítulo, observa-se que existem tratamentos eficientes na remoção de contaminantes presentes na água cinza tais como filtro de areia seguido por filtro de carvão ativado, filtro de resíduos de ardósia seguido por filtro de carvão ativado, biorreatores a membrana, processos oxidativos avançados, *wetlands* construídos, coagulação, troca iônica, oxidação fotocatalítica e digestão anaeróbica.

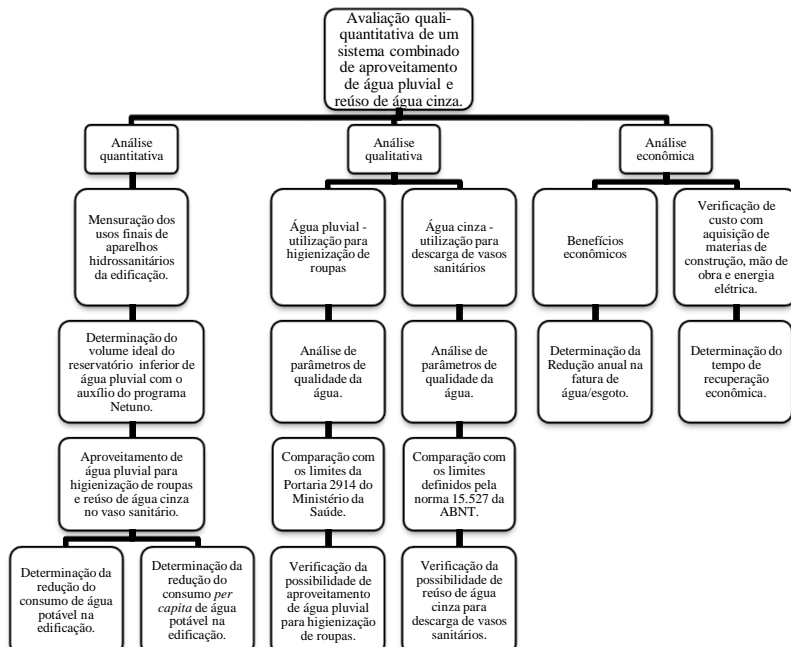
Observa-se que há diferentes finalidades para o aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, citando-se os seguintes exemplos: descargas de vasos sanitários, irrigação de jardins, higienização de roupas e lavagem de automóveis. As normas apresentam determinado nível de exigência de acordo com a finalidade do reúso de água. Observa-se também que alguns países são mais exigentes no que tange ao reúso de água, ou seja, para mesma finalidade apresentam diferentes limites para o mesmo parâmetro. Limites muito exigentes podem elevar o custo financeiro do processo de tratamento e limites pouco exigentes podem não apresentar segurança à saúde dos usuários dos sistemas.

3 MÉTODO

Neste capítulo, é descrito o método proposto para alcançar os objetivos da pesquisa. O estudo compreende a avaliação de aspectos quali-quantitativos de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, bem como estimativa do tempo de recuperação econômica. É importante ressaltar que o aproveitamento de água pluvial é realizado na higienização de roupas e o reúso de água cinza é realizado na descarga de vasos sanitários. O método consiste em cinco etapas principais.

Na primeira etapa, informa-se o local de estudo, bem como o esquema vertical de como funcionará o sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza na edificação. Na segunda etapa, define-se o método para mensuração dos usos finais de água potável na edificação. Na terceira etapa, aborda-se a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial, ou seja, informações serão fornecidas acerca da instalação física do sistema, envolvendo captação, desvio dos primeiros volumes de precipitação pluviométrica e volume de armazenamento de água pluvial. A quarta etapa, por sua vez, aborda o método definido para a avaliação quantitativa, envolvendo a economia mensal de água potável gerada pela instalação do sistema combinado e redução de consumo *per capita* mensal. A quinta etapa, a qual aborda aspectos qualitativos, visa fornecer informações sobre as caracterizações de água pluvial e de água cinza, destacando-se parâmetros de qualidade da água a serem analisados, bem como suas metodologias de análise e limites estabelecidos pelas legislações pertinentes. A sexta etapa consiste na análise econômica, na qual se descreve a metodologia para obtenção do tempo de recuperação econômica, informando os custos e benefícios financeiros gerados com a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. A Figura 3 mostra o fluxograma de trabalho desenvolvido neste estudo.

Figura 3 - Vazão total consumida por diferentes setores consumidores de água potável no Brasil.



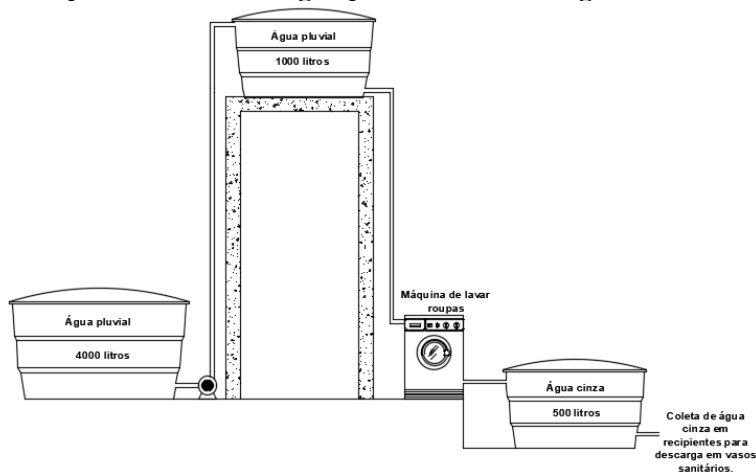
Espera-se, ao final deste estudo, que a redução do consumo de água potável na edificação possua relação diretamente proporcional ao tempo de recuperação econômica. Ou seja, quanto maior a redução do consumo de água potável, menor o tempo de recuperação econômica. Neste estudo, espera-se que haja relevante potencial de economia de água potável e viabilidade econômica. Entretanto, é importante ressaltar que a instalação de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza em uma residência somente deverá ser realizada caso os parâmetros de qualidade de água estejam de acordo com os limites definidos pelas legislações pertinentes.

3.1 CONCEPÇÃO GERAL

O estudo foi realizado em uma edificação unifamiliar de médio porte no município de Florianópolis, Sul do Brasil. Com aproximadamente 110 m² de área de cobertura, a edificação possui dois pavimentos e é constituída por três quartos, uma cozinha, uma sala de

estar, dois banheiros, um lavabo e uma área de serviço na parte externa da edificação, onde se localiza a máquina de lavar roupas. A residência apresenta os seguintes aparelhos hidrossanitários: três vasos sanitários, três lavatórios, dois chuveiros, uma pia de cozinha, uma máquina de lavar roupas, um tanque de serviços e uma torneira externa. O sistema combinado, neste estudo, consiste no aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas e no posterior reúso da água cinza gerada na máquina de lavar roupas para a descarga nos vasos sanitários da edificação. A Figura 4 mostra o esquema vertical do sistema combinado.

Figura 4 - Esquema vertical do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.



Conforme mostra a Figura 4, a água pluvial, captada em cobertura constituída por telhas esmaltadas, é conduzida por calhas fabricadas em PVC ao reservatório inferior de armazenamento de água pluvial. Visando permitir o escoamento por gravidade à máquina de lavar roupas, a água pluvial armazenada é recalçada, por meio de motobomba de recalque, ao reservatório superior. A motobomba de recalque é controlada por duas boias de nível, as quais acionam a mesma quando o reservatório superior estiver com volume inferior a 10% de sua capacidade. É importante ressaltar que a motobomba não funciona quando não há volume de água suficiente no reservatório inferior, evitando entrada de ar na motobomba e na tubulação de recalque. O armazenamento de água cinza gerada durante o processo de higienização de roupas foi realizado em reservatório inferior, de onde é coletada por recipientes, visando à descarga dos vasos sanitários. Neste

estudo, não foi instalado reservatório superior de água cinza e motobomba de recalque para a função, pois a obra civil apresentaria difícil execução e elevaria os custos de instalação. As Figuras 16 a 22, no Apêndice A, mostram as fotos do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza instalado na edificação.

3.2 USOS FINAIS

Visando à mensuração do percentual consumido para a higienização de roupas, estimaram-se os usos finais de água potável para cada equipamento hidrossanitário presente na edificação. Os usos finais de água foram monitorados entre os dias 8 e 21 de julho de 2017, totalizando quatorze dias de medição, analisando-se os volumes consumidos nos seguintes aparelhos hidrossanitários: chuveiros, vasos sanitários, lavatórios, pia da cozinha, máquina de lavar roupas e demais usos.

3.2.1 Chuveiro

Para o chuveiro, mensuraram-se as vazões relacionadas à higienização de cada habitante, utilizando-se o seguinte procedimento: cada morador acionou o chuveiro da mesma forma em que se higieniza diariamente, deixando-o ligado por 30 segundos. A água foi armazenada em um recipiente visando à obtenção do volume de água durante o tempo estipulado. A vazão individual do aparelho hidrossanitário para cada morador foi estimada por meio da razão entre o volume coletado e o tempo de 30 segundos. Repetiu-se o procedimento cinco vezes por morador, obtendo-se a vazão média dos chuveiros para cada habitante da edificação. É importante ressaltar que os chuveiros da edificação possuem sistema de aquecimento de água por eletricidade, tensão nominal equivalente a 220 V e potência equivalente a 7700 W. As pressões mínima e máxima de funcionamento são, respectivamente, 10 kPa e 400 kPa. Os chuveiros apresentam sistema eletrônico de funcionamento, possibilitando o controle da temperatura. A altura da coluna d'água entre o reservatório superior de armazenamento de água potável e o chuveiro é de aproximadamente um metro, representando pressão equivalente a 10 kPa.

Durante quatorze dias, cada indivíduo utilizou cronômetro digital para estimar o tempo de sua higienização. O volume total de água consumida durante a higienização pessoal foi estimado por meio do

produto entre a vazão média de higienização do morador e o tempo cronometrado.

3.2.2 Vasos sanitários

Na residência existem dois vasos sanitários com válvula de descarga e um com caixa acoplada. Para obtenção da vazão de acionamento de descarga para o aparelho com caixa acoplada consultou-se o manual do fornecedor. Para os vasos sanitários com válvula de descarga, desconectou-se a tubulação de entrada de água potável e acionou-se a válvula de descarga pelo tempo de acionamento da mesma. É importante ressaltar que a água foi coletada em um recipiente visando à mensuração do volume consumido. Para cada aparelho sanitário, realizou-se o procedimento por cinco vezes, estimando-se o volume médio gasto por acionamento da válvula de descarga. Cada morador anotou quantas vezes ao dia acionou a descarga do vaso sanitário.

O vaso sanitário com sistema de descarga por válvula de descarga é tipo 6,00 lpf, ou seja, são utilizados 6 litros de água por descarga. Este volume de água é estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas visando proporcionar maior economia de água em relação a vasos sanitários mais antigos.

Os vasos sanitários com válvula de descarga possuem acionamento tipo *hydra*. Estes vasos sanitários funcionam em baixa e alta pressão. As pressões mínima e máxima de funcionamento são, respectivamente, 20 kPa e 400 kPa.

3.2.3 Lavatórios

A residência apresenta três lavatórios, utilizados para higienização bucal, de mãos e de rosto. Para cada aparelho hidrossanitário, retirou-se o sifão do lavatório, coletando-se o efluente em recipiente com volume conhecido. O volume de efluente corresponde ao volume de água consumida nos lavatórios.

3.2.4 Pia da cozinha

A residência apresenta uma cozinha, cuja pia é utilizada para preparo e higienização de alimentos, além de lavagem de louça. Utilizou-se recipiente com volume equivalente a seis litros para coletar todo o efluente gerado durante as atividades. O recipiente, posicionado embaixo da válvula de escoamento da cuba, coletou diariamente o

efluente da pia da cozinha, visando à mensuração do volume de água consumido no aparelho hidrossanitário.

3.2.5 Máquina de lavar roupas

Há na residência uma máquina de lavar roupas. O consumo hídrico no aparelho hidrossanitário, considerando lavagem e enxágue, foi medido para os níveis médio e alto, pois são os níveis utilizados para higienização de roupas na residência. Estes valores foram obtidos após coleta do efluente da máquina de lavar roupas em recipiente com volume conhecido. Realizou-se o procedimento por cinco vezes para cada nível, obtendo-se os valores médios de consumo de água potável para a higienização de roupas. Ressalta-se que cada processo de higienização apresenta, além da lavagem, um enxágue. Cada morador, além de anotar quantas vezes ao dia utilizou a máquina de lavar roupas, indicou qual nível de lavagem foi utilizado.

A máquina de lavar roupas, que possui capacidade equivalente a onze quilos de roupa seca, possui tensão equivalente a 220 volts, admitindo variação entre 198 e 242 volts. O consumo de energia, a frequência e a potência máxima são equivalentes a, respectivamente, 0,272 kWh, 60 hertz e 880 Watts. É importante ressaltar que durante a centrifugação ocorre rotação equivalente a 755 rpm. O consumo médio de água na máquina de lavar roupas equivale a 130 litros por lavagem.

3.2.6 Usos gerais

Os demais usos incluem água para limpeza da habitação, lavagem de automóveis e dessedentação de animais domésticos. O volume equivale ao produto entre vazão da torneira e tempo de utilização.

3.2.7 Determinação dos usos finais

O volume total de água potável consumido durante o período de medição foi determinado por meio da Equação 1, utilizando os dados acerca da mensuração do volume consumido em cada aparelho hidrossanitário.

$$Ct = C_c + C_{vs} + C_l + C_p + C_m + C_g \quad (1)$$

Onde:

C_t é o consumo total de água na residência ao longo do período de medição (litros);

C_c é o consumo de água nos chuveiros ao longo do período de medição (litros);

C_{vs} é o consumo de água nos vasos sanitários ao longo do período de medição (litros);

C_l é o consumo de água nos lavatórios ao longo do período de medição (litros);

C_p é o consumo de água na pia da cozinha ao longo do período de medição (litros);

C_m é o consumo de água na máquina de lavar roupas ao longo do período de medição (litros);

C_g é o consumo de água para usos gerais ao longo do período de medição (litros).

Os usos finais, em percentagem, em cada aparelho hidrossanitário foram calculados por meio da Equação 2, utilizando a comparação entre o consumo de água em cada aparelho hidrossanitário e o consumo total de água potável ao longo do período de monitoramento.

$$P = \frac{C_{hs}}{C_t} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

P é a participação percentual (uso final) de cada aparelho hidrossanitário no consumo total de água (%);

C_{hs} é o consumo de água em cada aparelho hidrossanitário (litros);

C_t é o consumo total de água na residência ao longo do período de medição (litros).

Ao final de cada dia de monitoramento, realizou-se a leitura do hidrômetro, visando à comparação entre o volume estimado e as medições realizadas no hidrômetro instalado pela concessionária de abastecimento de água do município de Florianópolis. O objetivo da comparação é a verificação do erro de medição, em percentagem, entre o volume mensurado de água potável durante a análise dos usos finais e o volume medido pelo hidrômetro. Com este procedimento, visa-se à detecção de possíveis incoerências durante os resultados do monitoramento dos usos finais.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO INFERIOR DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Visando à determinação do volume ideal do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, utilizou-se o programa computacional Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014). A ferramenta computacional em questão é utilizada para simulações de sistemas de captação de água pluvial, podendo apresentar os seguintes resultados: potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial, volume ideal do reservatório inferior e volume extravasado de água pluvial, permitindo também análises econômicas para a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, por meio da mensuração de custos e da economia de consumo de água (GHISI; CORDOVA, 2014). O Quadro 1 mostra os dados de entrada do programa.

Quadro 1 – Quadro de entrada do programa Netuno.

Dados de Entrada	Unidade
Descarte de escoamento inicial	Milímetros
Área de captação	Metros quadrados
Demanda total de água	<i>per capita</i> /dia
Número de moradores	-
Percentual da demanda total a ser substituída por água	%
Coefficiente de escoamento superficial	-

O primeiro volume de precipitação pluviométrica deve ser descartado, pois pode apresentar fezes de animais, poeiras, folhas e demais partículas sólidas após período de estiagem. De acordo com Mendez et al. (2011), a instalação de dispositivo de descarte das primeiras precipitações pode resultar em melhoria da qualidade da água pluvial coletada. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007) recomenda que, na falta de dados, utilize-se dispositivo de descarte com volume equivalente a dois milímetros da precipitação inicial. O valor foi adotado nesta pesquisa.

A área de contribuição é a área que intercepta a água pluvial. O cálculo da área de captação foi realizado conforme recomendação da norma NBR 15527, de outubro de 2007. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007), a área de captação é a área projetada na horizontal da superfície de cobertura onde a água é

coletada. A edificação em estudo apresenta área da captação de, aproximadamente, 110 m². Ressalta-se que a edificação possui quatro moradores.

A demanda total de água potável, expressa em litros *per capita* por dia, foi obtida com os dados mensais obtidos por meio da fatura de cobrança fornecida pela concessionária de abastecimento de água potável no ano 2017. A Tabela 24 mostra o consumo de água potável mensal e os consumos *per capita* diários em cada mês do ano de 2017. O consumo *per capita* médio foi utilizado como dado de entrada do programa Netuno. Os consumos mensais de água potável serão utilizados na análise econômica no decorrer deste estudo, visando à verificação do benefício monetário gerado pela redução do consumo de água potável na edificação.

Tabela 24 - Consumo mensal e consumo *per capita* mensal de água potável no ano de 2017.

Meses de 2017	Consumo de água potável (m ³)	Consumo <i>per capita</i> (litros/dia)
Janeiro	18	145
Fevereiro	20	179
Março	18	145
Abril	23	192
Maio	18	145
Junho	19	158
Julho	16	129
Agosto	17	137
Setembro	17	142
Outubro	16	129
Novembro	17	142
Dezembro	16	129
Média	18	148

A Tabela 24 mostra que o consumo *per capita* médio no ano de 2017 foi de, aproximadamente, 148. Portanto, este valor será utilizado, no programa Netuno, como demanda total de água potável.

O percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial é equivalente ao percentual da máquina de lavar roupas, onde se dará o aproveitamento de água pluvial, e foi estimado conforme método

apresentado na seção 3.2.5. Para minimização de possíveis erros na determinação do volume ideal do reservatório inferior, utilizou-se faixa de variação percentual, cujo objetivo é garantir a confiabilidade dos resultados. Adotou-se, para a máquina de lavar roupas, margem de erro equivalente a 5%.

O coeficiente de escoamento superficial é a razão entre o volume de escoamento superficial e o volume precipitado, variando conforme o material da superfície de captação. A residência possui telhas esmaltadas, portanto adotou-se coeficiente de escoamento superficial equivalente a 0,90 (TOMAZ, 2003).

Para o reservatório superior, adotou-se volume igual a 1000 litros, havendo recalque quando o volume do reservatório estiver abaixo de 90% da sua capacidade. O objetivo deste procedimento é aproveitar o volume do reservatório superior para realizar o armazenamento de água pluvial. Para determinação do volume ideal do reservatório inferior, adotou-se simulação para reservatórios com diversos volumes, com volume máximo de simulação e intervalo entre volumes iguais a, respectivamente, 50000 e 1000 litros. O volume ideal para o reservatório inferior foi indicado quando houve diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial equivalente a três por cento por metro cúbico.

Os dados de precipitação pluviométrica são referentes ao município de Florianópolis. A data inicial de simulação escolhida foi dia primeiro de janeiro de 2018. A Tabela 25 mostra os valores numéricos referentes aos dados de entrada do programa Netuno.

Tabela 25 - Valores numéricos referentes aos dados de entrada do programa Netuno.

Dado de entrada	Valor numérico
Descarte escoamento inicial (mm)	2
Área de captação (m ²)	110
Demanda total de água (litros <i>per capita</i> /dia)	148
Número de moradores	4
Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial (%)	A ser definido nos resultados expostos na seção 4.1.
Coefficiente de escoamento superficial	0,90
Volume do reservatório superior (litros)	1000
Percentual do volume do reservatório superior abaixo do qual há recalque (%)	90
Volume máximo de simulação (litros)	50000
Intervalo entre volumes (litros)	1000
Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m ³)	3

3.4 ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

Os objetivos desta seção são: determinação da economia mensal de água potável, determinação da redução percentual mensal do consumo de água potável, determinação da redução do consumo *per capita* mensal de água potável e redução percentual do consumo *per capita* mensal de água potável, geradas posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza na edificação. Ressalta-se que, na instalação do sistema combinado, utilizou-se volume de armazenamento definido conforme o método apresentado na seção 3.3.

O consumo residencial de água potável foi comparado anteriormente e posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. O consumo hídrico residencial foi monitorado por período de doze meses, cujos consumos mensais de água potável foram comparados aos dados do ano de 2017, baseando-se nos dados das faturas mensais de água/esgoto fornecidas pela concessionária de abastecimento de água e esgoto do município de Florianópolis. A economia de água potável mensal foi obtida por meio da Equação 3.

$$e = C_0 - C_i \quad (3)$$

Onde:

e é economia de água potável mensal do consumo de água potável gerada pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (m^3);

C_0 é o consumo mensal no ano de 2017, anteriormente à instalação do sistema combinado (m^3);

C_i é o consumo mensal no ano de 2018, posteriormente à instalação do sistema combinado (m^3).

A redução percentual mensal do consumo de água potável na edificação gerada pela instalação do sistema combinado foi calculada por meio da Equação 4.

$$r_p = \left(\frac{C_0 - C_i}{C_0} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

r_p é a redução percentual mensal do consumo de água potável gerada pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (%);

C_0 é o consumo mensal no ano de 2017, anteriormente à instalação do sistema combinado (m^3);

C_i é o consumo mensal no ano de 2018, posteriormente à instalação do sistema combinado (m^3).

A redução do consumo *per capita* mensal foi baseada na comparação entre os consumos mensais de água potável de 2017 e 2018, indicados nas faturas de água/esgoto fornecidas pela concessionária de abastecimento de água potável. O consumo médio *per capita* mensal de água potável na edificação foi calculado por meio da Equação 5.

$$C_p = \frac{C}{n.d} \quad (5)$$

Onde:

C_p é o consumo *per capita* mensal (L/dia.habitante);

C é o consumo de água potável mensal (L);

n é o número de moradores (habitantes);

d é o número de dias no mês (dias).

A redução do consumo *per capita* mensal de água potável foi calculada por meio da Equação 6.

$$r = Cp_0 - Cp_i \quad (6)$$

Onde:

r é a redução do consumo *per capita* mensal de água potável gerada pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (L/dia.habitante);

Cp_0 é o consumo *per capita* mensal de água potável no ano de 2017, anteriormente à instalação do sistema combinado (L/dia.habitante);

Cp_i é o consumo *per capita* mensal de água potável no ano de 2018, posteriormente à instalação do sistema combinado (L/dia.habitante).

A redução percentual mensal do consumo per capita de água potável na edificação gerada pela instalação do sistema combinado foi calculada por meio da Equação 7.

$$r_p = \left(\frac{Cp_0 - Cp_i}{Cp_0} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

r_p é a redução percentual mensal do consumo de água potável gerada pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (%);

Cp_0 é o consumo *per capita* mensal de água potável no ano de 2017, anteriormente à instalação do sistema combinado (L/dia.habitante);

Cp_i é o consumo *per capita* mensal de água potável no ano de 2018, posteriormente à instalação do sistema combinado (L/dia.habitante).

3.5 ASPECTOS QUALITATIVOS

O objetivo das análises qualitativas é verificar a possibilidade do aproveitamento de água pluvial na máquina de lavar roupas e do reúso de água cinza na descarga de vasos sanitários, em respeito às legislações

e normas pertinentes. Foram realizadas doze análises para cada um dos seguintes pontos de coleta: água pluvial proveniente da superfície de captação, água pluvial presente no reservatório de armazenamento e água cinza presente no respectivo reservatório de armazenamento. É importante ressaltar que as amostras foram coletadas após períodos de precipitações pluviométricas compreendidos entre abril de 2018 e janeiro de 2019. As amostras somente foram coletadas quando o volume foi considerado suficiente para caracterização dos parâmetros de qualidade da água. Foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. As análises qualitativas foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente – LIMA, localizado no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Nas subseções abaixo, apresenta-se a descrição do método utilizado para determinação dos parâmetros a ser analisados, forma correta de coleta de água e verificação do atendimento dos parâmetros de qualidade de água aos limites estabelecidos pelas normas pertinentes de aproveitamento e de reúso de água.

3.5.1 Aproveitamento de água pluvial

Neste estudo, a água pluvial foi utilizada para higienização de roupas. Ressalta-se que a água pluvial armazenada no reservatório inferior foi conduzida ao reservatório superior por meio de bombeamento com o auxílio de motobomba de recalque. A água pluvial armazenada no reservatório superior foi conduzida por gravidade até a máquina de lavar roupas. A água pluvial pode conter concentrações de alguns parâmetros onde não é recomendável o aproveitamento para higienização de roupas. Portanto, é necessária a avaliação da qualidade da água pluvial antes de seu aproveitamento.

Para análise de água pluvial, os seguintes pontos de coleta foram considerados: água pluvial proveniente da superfície de captação e água pluvial presente no reservatório de armazenamento. A água pluvial presente no reservatório de armazenamento passou por dispositivo de descarte das primeiras precipitações e desinfecção com cloração. O produto utilizado na cloração foi hipoclorito de sódio. Estes procedimentos são necessários para garantir que a água pluvial apresente-se em condições de aproveitamento para higienização de roupas, ou seja, visando à remoção de partículas sólidas e microorganismos patogênicos. Serão apresentadas discussões sobre a possibilidade do aproveitamento de água pluvial na edificação,

utilizando-se comparações entre os dois pontos de coleta com a legislação pertinente.

Para a água pluvial proveniente da superfície de captação, os seguintes parâmetros foram analisados: turbidez, cor aparente, pH, dureza, coliformes termotolerantes e sólidos dissolvidos totais.

Para a água pluvial presente no reservatório de armazenamento, neste estudo, os seguintes parâmetros foram analisados: turbidez, cor aparente, pH, coliformes termotolerantes, cloro residual livre, dureza e sólidos dissolvidos totais.

A higienização de roupas é considerada fim potável. Portanto, os resultados das análises dos parâmetros para o aproveitamento de água pluvial foram comparados aos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, em sua portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011. A portaria dispõe sobre o controle da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Tabela 26 mostra os limites estabelecidos para cada um dos parâmetros definidos para o aproveitamento de água pluvial, bem como os métodos de análise. Os parâmetros foram analisados seguindo recomendações do *StandartMethods for theWaterandWastewater*.

Tabela 26 - Métodos de análise e limites de parâmetros para água pluvial.

Parâmetro	Método	Limite portaria MS 2914	Unidade
Cloro residual livre	EPA 330.5, APHA 450 – C12 G	Entre 0,20 e 5,00 mg/L	mg Cl/L
Coliformes termotolerantes	9222 A, 9222 B e 9222	Ausência	UFC/100 ml
Cor aparente	2120 C	15,00	mgPt-Co/L
Turbidez	2130 B	5,00	NTU
Sólidos dissolvidos totais	2540 B	1000,00	mg/L
Dureza	2340 C	500,00	mg/L
pH	4500 H	6,00 a 9,50 pH a 25°C	-

3.5.2 Reúso de água cinza

Neste estudo, houve reúso de água cinza proveniente da máquina de lavar roupas para a descarga de vasos sanitários da residência. Ressalta-se que, para a água cinza, considera-se a mistura da água de lavagem e da água de enxágue, ou seja, não foi descartada nenhuma água.

Para caracterização da água cinza, proveniente da máquina de lavar roupas foram verificados os seguintes parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, pH, coliformes termotolerantes e cloro residual livre.

A descarga em vasos sanitários é considerada fim não potável. Portanto, os resultados das análises dos parâmetros para o aproveitamento de água pluvial foram comparados aos limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em sua norma 15527, de 24 de outubro de 2007. A norma dispõe sobre o reúso de água para os seguintes fins não potáveis: descargas em vasos sanitários, irrigação de jardins e plantas ornamentais, lavagem de automóveis, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. A Tabela 27 mostra os limites para cada um dos parâmetros definidos para reúso de água cinza, bem como os métodos de análise. Os parâmetros foram analisados seguindo recomendações do *StandartMethods for the WaterandWastewater*.

Tabela 27 - Métodos de análise e limites de parâmetros para água cinza.

Parâmetro	Método	Limite ABNT NBR 15527	Unidade
Cloro residual livre	EPA 330.5, APHA 450 – C12 G	0,50 a 3,00 mg/L	mg Cl/L
Coliformes termotolerantes	9222 A, 9222 B e 9222	Ausência	UFC/100 ml
Cor aparente	2120 C	< 15,00	mgPt-Co/L
Turbidez	2130 B	< 2,00 µT, para usos menos restritivos < 5,00 µT	NTU
pH	4500 H	Entre 6,00 e 8,00	-

3.5.3 Coleta e armazenamento das amostras

O texto a seguir aborda alguns procedimentos que foram realizados durante a coleta de amostras de água pluvial bruta, água pluvial tratada e água cinza. As amostras líquidas devem ser armazenadas em frascos resistentes, que podem ser confeccionados em vidro borossilicato ou plástico (ABNT, 1987). Em materiais plásticos, a tampa e o recipiente devem ser confeccionados em mesmo material. Para os ensaios dos parâmetros físico-químicos, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos com capacidade equivalente a 1500 ml. Para as análises microbiológicas foram utilizados frascos plásticos esterilizados. Os frascos devem ser esterilizados em temperatura equivalente a 121°C, por 30 minutos (ABNT, 1987). As amostras de água pluvial foram recolhidas após eventos chuvosos. Ressalta-se que não foram realizadas análises de água pluvial quando o volume precipitado não foi o suficiente para caracterização da água.

Quando as análises não puderem ser realizadas imediatamente após a coleta, as amostras deverão ser armazenadas conforme a NBR 9898, que dispõe sobre a preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. A Tabela 28 mostra os métodos para preservação de amostras visando à realização de análises físico-químicas, de acordo com os métodos definidos por ABNT (1987).

Tabela 28 - Preservação de amostras para análises físico-químicas.

Parâmetro	Preservação	Prazo para análise (horas)
pH	Refrigerar a 4°C	6
Cor	Refrigerar a 4°C	48
Turbidez	Refrigerar e manter ao abrigo de luz.	24
Dureza	Acidificar com HNO ₃ até pH = 2,00 e refrigerar a 4°C	4320 (180 dias)
Cloro residual	-	0,5 (30 minutos)
Sólidos dissolvidos totais	Refrigerar a 4°C	168 (7 dias)

Adaptado de ABNT (1987).

Não foi encontrada forma de preservação de amostras destinadas à análise de coliformes, portanto a análise deve ocorrer imediatamente após a coleta.

Para evitar a introdução de contaminantes, a coleta, o manuseio e a preservação de amostras devem ser feitos com cuidado. De acordo com ABNT (1987) os seguintes procedimentos devem ser adotados:

- Para evitar a contaminação de amostras, os recipientes para coleta de amostras devem permanecer abertos o menor tempo possível;
- Devem-se manter os recipientes de coleta ao abrigo do Sol;
- O coletor deve estar com as mãos limpas para manusear as amostras;
- A parte interna dos recipientes e das tampas não deve ser tocada com as mãos.

3.6 ANÁLISE ECONÔMICA

O principal objetivo da análise econômica, neste estudo, é avaliar o tempo de recuperação econômica, ou seja, o *payback*, para o aproveitamento de água pluvial na máquina de lavar roupas, com posterior reúso do efluente na descarga dos vasos sanitários. Será utilizado o método do valor presente líquido e a taxa mínima de atratividade.

O cálculo de tempo de recuperação econômica foi baseado nos benefícios monetários, no investimento para instalação do sistema e nos custos operacionais. O benefício monetário é a redução da fatura de água/esgoto, originada pela economia no consumo de água potável gerada pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza na edificação. Os investimentos financeiros são os custos referentes à aquisição de materiais de construção e contratação de mão de obra. E os custos operacionais são referentes aos custos adicionais com energia elétrica originados pela utilização da motobomba e os custos com manutenção e tratamento de água.

A análise econômica também inclui discussão acerca da redução monetária das faturas de água/esgoto anteriormente e posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.

3.6.1 Benefícios monetários gerados no ano de 2018

O sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, além de gerar economias significativas no consumo de

água potável, pode reduzir o valor monetário pago à concessionária de abastecimento de água (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010).

Para calcular o benefício monetário mensal do ano de 2018 gerado pela implantação do sistema combinado de aproveitamento pluvial e reúso de água cinza, é necessário calcular a diferença entre os custos mensais de água potável, anteriormente e posteriormente à implantação do sistema. Os benefícios monetários de 2018 foram calculados por meio da Equação 8.

$$B_m = c_{potável} - c_{combinado} \quad (8)$$

Onde:

B_m é o benefício monetário mensal gerado pela implantação do sistema de aproveitamento pluvial e reúso de água cinza (R\$);

$c_{potável}$ é o custo mensal de água potável nos meses do ano de 2017, sem o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza (R\$);

$c_{combinado}$ é o custo mensal de água potável nos meses do ano de 2018, posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (R\$).

É importante ressaltar que no ano de 2017 não havia sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza na edificação. O sistema combinado foi instalado na edificação em janeiro de 2018. Ressalta-se também que o valor monetário referente ao consumo hídrico mensal de água potável foi obtido por meio das faturas mensais de água/esgoto fornecidas pela concessionária de abastecimento de água potável.

A redução percentual da fatura mensal de água/esgoto fornecida pela concessionária de abastecimento de água após a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas e reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários foi calculada por meio da Equação 9.

$$r = \left(\frac{c_{potável} - c_{combinado}}{c_{potável}} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

r é a redução percentual da fatura de água/esgoto após a instalação do sistema combinado na edificação (%);

$C_{\text{potável}}$ é o custo mensal de água potável nos meses do ano de 2017, sem o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água cinza (R\$);

$C_{\text{combinado}}$ é a fatura mensal de água/esgoto nos meses do ano de 2018 (R\$).

3.6.2 Investimento econômico inicial

Para o cálculo do investimento econômico de instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza foram utilizados valores monetários referentes à aquisição de materiais de construção e contratação de mão de obra, obtidos através de pesquisa de mercado em três fornecedores diferentes de materiais de construção e três fornecedores de mão de obra. Os menores valores encontrados foram aplicados na instalação do sistema.

O investimento inicial de implantação do sistema foi calculado por meio da Equação 10.

$$I_0 = C_{\text{mat}} + C_{\text{mão de obra}} \quad (10)$$

Onde:

I_0 é o investimento econômico inicial para a implantação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza (R\$);

C_{mat} são os custos com materiais de construção para implantação do sistema (R\$);

$C_{\text{mão de obra}}$ são os custos com mão de obra para a implantação do sistema (R\$).

Para quantificação dos materiais de construção necessários à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, a obra foi dividida nas seguintes etapas: fundação e estrutura; instalação de calhas; instalações hidráulicas; e instalações elétricas. A fundação visa o suporte à estrutura onde foi instalado o reservatório superior. A elevação da estrutura visa garantir a pressão hidráulica necessária à utilização da máquina de lavar roupas, equipamento no qual será aproveitada a água pluvial.

O material escolhido para as calhas foi PVC, devido a seu baixo custo de instalação quando comparado às demais alternativas de projeto. A estrutura apresenta três bocais de descida em direção aos reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial. Utiliza-se em cada bocal

grelhas para separação de folhas de árvores e demais materiais grosseiros, visando preservar tubulações e demais estrutura.

O sistema possui dois reservatórios inferiores e um reservatório superior de água pluvial de armazenamento de água pluvial. O volume dos reservatórios inferiores foi mensurado com auxílio do programa Netuno, conforme método definido na seção 3.3. As instalações hidráulicas visam à condução da água pluvial para o reservatório superior e, posteriormente, à máquina de lavar roupas, bem como conduzir o efluente proveniente da máquina de lavar roupas ao reservatório de água cinza.

Foi instalada uma motobomba de recalque, visando à condução da água pluvial dos reservatórios inferiores ao reservatório superior. Para o controle de nível nos reservatórios ocorrer de maneira automática, foram instaladas duas boias de nível. Instalou-se um disjuntor, visando à interrupção do sistema em caso de necessidade de manutenção.

As Tabelas 29 a 32 mostram os materiais de construção e suas respectivas especificações necessárias à construção do sistema de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza para, respectivamente as etapas de fundação e estrutura, instalação das calhas, instalações hidráulicas e instalações elétricas.

Tabela 29 - Materiais de construção e especificações para execução de fundação e estrutura.

Fundação e estrutura	Especificação
Aço CA 50 5/16 (8 mm)	5 barras com 12,0 metros
Aço CA 60 (4,2 mm)	2 barras com 12,0 metros
Lixa para ferro número 100	2 unidades
Arame recozido fio 18	1 rolo com 1kg
Cimento	4 unidades com 50 kg cada
Tábua para caixaria 3,0 x 0,3 metros	6 unidades
Lixa para madeira número 220	1 unidade
Prego polido com cabeça 17 x 27	1 embalagem com 1,0 kg

Tabela 30 - Materiais de construção e especificações para instalação de calhas.

Instalação calhas	Especificação
Calha aquapluv - 3 metros cada	10 barras com 3,0 metros cada
Esquadro externo aquapluv	1 unidade
Transição para condutor 88 x 75mm	3 unidades
Bocal de descida aquapluv	3 unidades
Cabeceira esquerda aquapluv	3 unidades
Cabeceira direita aquapluv	3 unidades
Emenda aquapluv	7 unidades
Borracha de vedação aquapluv	7 unidades
Suporte aquapluv	23 unidades
Joelho esgoto 75 mm x 90°	5 unidades
Tê esgoto 75 mm	3 unidades
Tubo esgoto 75 mm	2 barras com 6,0 metros cada
Grelha para calha aquapluv	3 unidades

Tabela 31 - Materiais de construção e especificações para instalações hidráulicas.

Instalações hidráulicas	Especificação
Caixa d'água polietileno 2000 litros	2 unidades
Caixa d'água polietileno 1000 litros	1 unidade
Caixa d'água polietileno 500 litros	1 unidade
Adaptador com flange soldável 50 mm	2 unidades
Adaptador com flange soldável 40 mm	2 unidades
Adaptador com flange soldável 25 mm	2 unidades
Adaptador soldável curto 32 mm	2 unidades
Bucha de redução curta 32 x 25mm	2 unidades
Luva de redução soldável curta com rosca 25 mm x ¾	1 unidade
Tubo soldável PVC 25 mm	4 barras com 6,0 metros cada
Torneira ¾ 25 mm	2 unidades
Registro esfera compacto 25 mm	3 unidades
União soldável PVC 25 mm	1 unidade
União soldável PVC 32 mm	1 unidade
Joelho soldável 25 mm x 90°	8 unidades
Tubo esgoto 40 mm	1 barra com 6,0 metros
Joelho esgoto 40 mm x 90°	4 unidades
Fita veda rosca 18 mm	1 rolo com 50 metros
Adesivo PVC	1 frasco com 0,175 kg

Tabela 32 - Materiais de construção e especificações para instalações elétricas.

Instalações elétricas	Especificação
Cabo flexível 750 V 2,5 mm ² - cor preta	30 metros
Cabo flexível 750 V 2,5 mm ² - cor azul	30 metros
Fita isolante preta	1 unidade com 5,0 metros
Mangueira popular 1/2"	30 metros
Disjuntor 20ª	1 unidade
Chave boia 16 A	2 unidades
Motobomba periférica ½ HP	1 unidade

3.6.3 Tempo de recuperação econômica

O tempo de recuperação econômica foi obtido por meio do método do valor presente líquido e da taxa interna de retorno. A análise econômica foi realizada com o auxílio do programa computacional Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014). Para a realização da análise econômica são necessárias algumas informações. Caso o consumo mensal seja igual ou inferior a dez metros cúbicos, a fatura de água/esgoto cobrada pela concessionária é igual a R\$ 44,04. A Tabela 33 mostra as tarifas cobradas pela concessionária de abastecimento de água potável quando o consumo mensal for superior a dez metros cúbicos. Ressalta-se que a concessionária realiza cobrança percentual de 100% sobre o consumo de água potável para realização de coleta e tratamento dos efluentes domésticos gerados na edificação.

Tabela 33 - Tarifas cobradas pela concessionária.

Consumo mensal (m ³)	Tarifas cobradas pela concessionária (R\$/m ³)
Entre 10,00 e 25,00	8,0708
Entre 25,00 e 50,00	11,3232
Maior que 50,00	13,5688

Fonte: Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (2018)

Foi considerada inflação média de 0,24% ao mês, valor equivalente à inflação no ano de 2017 no Brasil. Considerou-se também reajuste anual das tarifas de água e energia elétrica a cada doze meses. Adotou-se, neste estudo, período de análise equivalente a vinte anos e taxa mínima de atratividade igual a 0,6% ao mês. A Tabela 34 mostra os dados de entrada referentes ao fluxo de caixa.

Tabela 34 - Dados de entrada referentes ao fluxo de caixa.

Variável	Valor
Inflação	0,24% ao mês
Reajuste das tarifas de água e energia elétrica	12 meses
Período de análise	20 anos
Taxa mínima de atratividade	0,6% ao mês
Mês de instalação do sistema	Janeiro

Os seguintes custos iniciais foram considerados para determinação do tempo de recuperação econômica: reservatório inferior, reservatório superior, mão de obra, tubulação e acessórios. Esses valores são mostrados na seção 4.7.2 por meio do método definido na seção 3.6.2. A Tabela 35 mostra os dados de entrada referentes aos custos iniciais.

Tabela 35 - Custos iniciais para instalação do sistema combinado.

Custos iniciais	Valor (R\$)
Reservatório inferior	1300,00
Reservatório superior	259,00
Mão de obra	1800,00
Tubulações	692,10
Acessórios	1686,34

São necessárias as seguintes informações acerca da motobomba utilizada: potência unitária, rendimento, vazão, tempo de partida, custo unitário da motobomba, tarifa de energia elétrica. De acordo com manual do fabricante da motobomba, o equipamento possui potência unitária e vazão equivalentes a, respectivamente, 0,50 CV e 2160 litros/hora. Considera-se, neste estudo, rendimento igual a 80%. O custo unitário da motobomba foi obtido de acordo com método definido na seção 3.6.2. Ressalta-se que o tempo de partida considerado, em segundos, foi o tempo de recalque da motobomba para condução do volume necessário para utilização diária de água pluvial na máquina de lavar roupas, calculado por meio da Equação 11.

$$t = \frac{V_{mtr}}{Q_{mb1}} \quad (11)$$

Onde:

t é o tempo de operação da motobomba para o recalque de água pluvial (segundos);

V_{mtr} é o volume médio diário consumido na máquina de lavar roupas durante o período de medições (litros);

Q_{mb1} é a vazão de recalque operacional da motobomba de ½ CV, disponível no manual do fabricante da motobomba (litros/segundos).

É importante ressaltar que, segundo o manual do fabricante, a motobomba possui vazão equivalente a 36 litros por minuto. Este valor

foi utilizado na Equação 11. O volume diário necessário para a máquina de lavar roupas foi determinado por meio do método exposto na seção 3.2.5.

A tarifa de energia elétrica considerada neste estudo é baseada na política tarifária da empresa concessionária de energia elétrica do município de Florianópolis, mostrada pela Tabela 36. Optou-se pela tarifa referente a consumo maior do que 150,00 kWh, pois a residência apresenta consumo maior do que o valor citado.

Tabela 36 - Tarifa cobrada pela empresa concessionária de energia elétrica de Florianópolis.

Consumo de energia elétrica (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)
Até 150,00	0,565733
Acima de 150,00	0,673639

Fonte: CELESC (2018)

A Tabela 37 mostra o resumo das informações acerca da motobomba, necessário ao cálculo do tempo de recuperação econômica para a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.

Tabela 37 - Informações da motobomba utilizadas para a análise econômica.

Potência unitária (CV)	0,50
Rendimento (%)	80
Vazão (litros/hora)	2160
Tempo de partida (segundos)	357,15
Custo unitário da motobomba (R\$)	155,00
Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)	0,673639

O programa Netuno também permite a definição de outros custos operacionais e dos custos de manutenção, os quais são importantes componentes para determinação do tempo de recuperação econômica. A Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua NBR 15527 (ABNT, 2007), indica manutenção dos seguintes componentes visando ao perfeito funcionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial: dispositivo de descarte de detritos; dispositivo de descarte do escoamento inicial; calhas, condutores verticais e horizontais;

dispositivos de desinfecção; bombas; e reservatório. O Quadro 2 mostra as respectivas frequências de manutenção para cada componente.

Quadro 2 - Custos de manutenção indicados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Na edificação do presente estudo, o dispositivo utilizado é de descarte do escoamento inicial, será utilizada a frequência de manutenção indicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Portanto, considerou-se limpeza mensal.

Neste estudo, os custos referentes à manutenção foram divididos nos seguintes grupos: limpeza geral do sistema, incluindo dispositivo de descarte, calhas, condutores e reservatórios; manutenção da motobomba; e desinfecção da água por meio de produto químico.

Os valores médios de mercado para limpeza de reservatórios com capacidades equivalentes a 500, 1000 e 2000 litros são, respectivamente, R\$100,00, R\$120,00 e R\$ 150,00. Incluindo os custos de limpeza de dispositivo, calhas e condutores, estima-se gasto anual de, aproximadamente, R\$ 540,00 para limpeza. A NBR 15527 indica frequência anual para limpeza de reservatórios. No período de estudo não houve gastos com manutenção da motobomba. Portanto, estimou-se o custo de manutenção por meio do tempo de vida útil da mesma. Considerou-se, neste estudo, tempo de vida útil equivalente a cinco anos, representando custo de manutenção equivalente a R\$ 30,00 por ano. Ou seja, foi considerada a substituição da motobomba a cada cinco anos. A desinfecção ocorreu por meio da utilização de hipoclorito de sódio. Na edificação, o custo médio mensal com aquisição do produto químico foi equivalente a R\$ 10,00. A Tabela 38 mostra os dados de entrada referentes a custos operacionais e de manutenção.

Tabela 38 - Custos operacionais e de manutenção do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.

Custo operacional	Periodicidade (meses)	Tipo de custo	Custo (R\$)
Limpeza do sistema	12	Fixo	540,00
Motobomba	12	Fixo	30,00
Cloro – desinfecção	1	Fixo	10,00

A análise econômica também deve basear-se nos benefícios financeiros, os quais são calculados por meio do programa Netuno. Neste estudo, os benefícios financeiros são baseados no valor monetário gerado pela redução do consumo de água potável, devido ao aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. O programa Netuno calcula as economias financeiras mensais para o período de análise do projeto, 20 anos. Para o cálculo, são utilizados os seguintes fatores: a estrutura tarifária da concessionária de água potável, mostrada na Tabela 33; e a taxa de inflação brasileira de 2017 para reajuste na estrutura tarifária a cada doze meses.

Com os dados de entrada, apresentados nesta seção, o programa Netuno apresentou os seguintes resultados: valor presente líquido, taxa interna de retorno e tempo de recuperação econômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 USOS FINAIS DE ÁGUA POTÁVEL

Os resultados acerca de usos finais de água potável são apresentados na Figura 5 e na Tabela 39. A Figura 5 mostra os usos finais diários, em porcentagem, em cada aparelho hidrossanitário durante o período de medição. Ressalta-se novamente que o monitoramento ocorreu entre os dias 8 e 21 de julho de 2017. A Tabela 39 mostra os resultados acerca dos usos finais de água potável por aparelho hidrossanitário da edificação durante o período de monitoramento. A Tabela 48, no Apêndice B, mostra detalhadamente os consumos de água potável em cada aparelho hidrossanitário da edificação durante todos os dias do período de monitoramento. Estes dados foram utilizados para análise percentual dos usos finais diários durante o período de medição, mostrada pela Figura 5.

Figura 5 - Usos finais diários de água potável durante o período de medição (8 a 21 de julho de 2017).

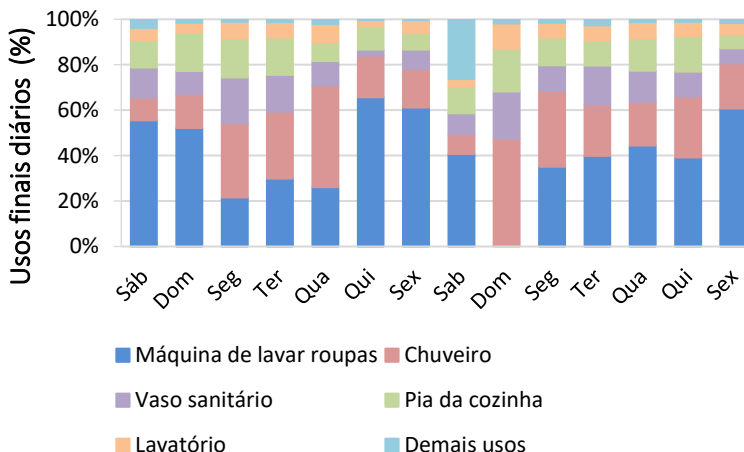


Tabela 39 - Consumo total e consumo médio diário por aparelho hidrossanitário.

Aparelho hidrossanitário	Consumo total de água durante 14 dias (litros)	Consumo médio diário (litros)	Porcentagem dos usos finais de água (%)	Consumo <i>per capita</i> (litros por dia)
Máquina de lavar roupas	3000	214	44	54
Chuveiros	1401	100	21	25
Pia da cozinha	849	61	13	15
Vasos sanitários	754	54	11	13
Lavatórios	369	26	5	7
Demais usos	377	27	6	7
Total	6750	482	100	121

Como mostra a Tabela 39, durante o período de medição, o maior consumo de água potável ocorreu na máquina de lavar roupas, com 44%, seguida por chuveiros (21%), pia da cozinha (13%), vasos sanitários (11%), limpeza para usos gerais (6%) e lavatórios (5%). Ao total, gastaram-se aproximadamente 6750 litros de água potável durante o período de medição. Em média, o consumo de água potável diário foi equivalente a 482 litros. Portanto, durante o período de monitoramento, o consumo *per capita* foi de aproximadamente 121 litros por habitante.

Ghisi e Oliveira (2007) realizaram estudo em duas residências localizadas no município de Palhoça, estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Para a primeira residência, os autores encontraram os seguintes valores nos aparelhos hidrossanitários e/ou atividades: chuveiro (32,8%), lavatórios (1,9%), vasos sanitários (30,4%), barbear-se (0,8%), máquina de lavar roupas (6,2%) e pia da cozinha (28,0%). Para a segunda edificação, Ghisi e Oliveira (2007) encontraram os seguintes valores: chuveiro (45,6%), lavatórios (2,6%), vasos sanitários (25,6%), barbear-se (4,4%), máquina de lavar roupas (8,2%) e pia da cozinha (13,5%). Os valores encontrados no estudo de Ghisi e Oliveira vão de encontro aos percentuais encontrados neste estudo. Entretanto, há de se ressaltar que os usos finais de água potável nos aparelhos hidrossanitários de uma edificação estão diretamente relacionados aos hábitos familiares, portanto deve haver variações entre aparelhos hidrossanitários estudados em diferentes edificações.

Os maiores consumos de água potável nos vasos sanitários e nos lavatórios ocorreram nos finais de semana, pois geralmente os moradores encontram-se na residência. Em dias úteis, três moradores trabalham fora da edificação, portanto o período noturno, quando todos os moradores encontram-se na residência, apresentou os maiores consumos de água potável nos aparelhos hidrossanitários. O consumo de água potável na edificação foi elevado nos chuveiros, pois há o hábito de higienizar-se duas vezes ao dia, ao amanhecer e ao entardecer, após o expediente ou atividade física. Na pia da cozinha, os maiores consumos de água potável ocorreram nos finais de semana, pois são dias em que os moradores possuem o hábito de cozinhar, o que gera maior consumo de água potável com higienização de louça. Em dias úteis, geralmente os moradores almoçam fora da residência. A máquina de lavar roupas apresentou grande consumo ao longo de todos os dias, com maiores consumos de água potável nos finais de semana, pois os moradores apresentam maior tempo para lavar as roupas, secá-las e dobrá-las. Realizou-se a higienização de roupas, em média, três vezes por dia nos finais de semana e duas vezes por dia em dias úteis, oscilando-se entre os níveis médio e alto de lavação. O volume de roupas justifica-se pelos seguintes hábitos familiares: exercícios físicos e utilização uma única vez de cada peça de roupa antes da higienização. O consumo de água potável para demais usos na edificação manteve-se praticamente constante ao longo de todo o período de medição, exceto no dia 15 de julho, pois ocorreu lavagem de automóveis. No restante dos dias, a água foi utilizada para higienização de pisos e calçadas, e dessedentação de animais domésticos.

Conforme mostrado pela Tabela 24, o consumo mensal médio de água potável no ano de 2017 foi de, aproximadamente, dezoito metros cúbicos na residência em estudo, representando média *per capita* de, aproximadamente, 148 litros/habitante.dia. A Tabela 39 mostra a análise de usos finais na residência, realizada entre os dias 8 e 21 de Julho de 2017. Durante o período de medição, o consumo estimado foi de 121 litros/habitante.dia, valor que representa redução de, aproximadamente, 19% no consumo *per capita* de água potável em relação ao ano de 2017. Esta redução percentual está relacionada ao fato do monitoramento ter sido realizado no inverno, mês de julho, período onde se apresentam menores consumos de água em comparação às outras estações do ano, pois apresenta temperaturas amenas. Percebe-se que o consumo *per capita*, no mês de julho de 2017, foi equivalente a 129 litros, valor próximo ao valor encontrado no levantamento de quinze dias.

Conforme mostra a Tabela 24, a partir de Julho de 2017, mês no qual foi realizada a análise de usos finais, houve redução nos volumes medidos pela concessionária de abastecimento de água em relação aos meses anteriores, o que pode estar relacionado a mudanças comportamentais no que tange ao consumo de água potável.

4.2 COMPARAÇÃO COM OS VOLUMES MEDIDOS PELA CONCESSIONÁRIA

Ao final de cada dia, foi realizada leitura do hidrômetro pelos moradores da edificação, visando à comparação entre os volumes medidos pela concessionária de abastecimento de água potável e os volumes estimados durante a análise de usos finais da edificação. A Tabela 40 mostra a somatória dos volumes de todos os aparelhos hidrossanitários da edificação, visando avaliar possíveis erros de mensuração dos volumes medidos na avaliação dos usos finais da residência quando comparados aos volumes reais medidos por meio do hidrômetro da edificação no período de monitoramento. Percebe-se que a diferença entre o volume estimado para os usos finais da residência e o volume real medido pelo hidrômetro instalado pela concessionária de abastecimento de água foi de aproximadamente dezenove litros ao longo dos quatorze dias de medição, o que equivale a 0,28%.

Tabela 40 - Comparação entre os volumes mensurados pela análise de usos finais e volume medido pelo hidrômetro instalado pela concessionária.

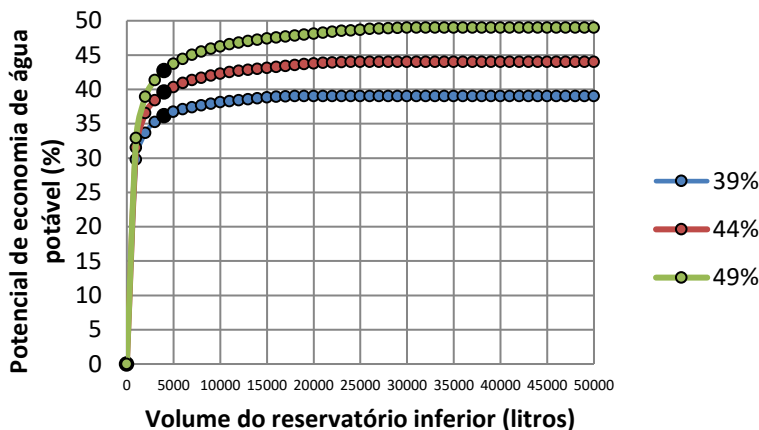
Dia de medição	Consumo estimado durante o período de medição (m³)	Consumo medido pela concessionária de abastecimento de água (m³)	Diferença percentual (%)
08 de Julho	593,53	595,00	- 0,25
09 de Julho	804,88	805,00	- 0,01
10 de Julho	278,71	280,00	- 0,46
11 de Julho	401,93	404,00	- 0,51
12 de Julho	287,69	288,00	- 0,11
13 de Julho	571,47	569,00	+ 0,43
14 de Julho	490,14	491,00	- 0,18
15 de Julho	1104,50	1106,00	- 0,14
16 de Julho	285,58	288,00	- 0,84
17 de Julho	341,19	344,00	- 0,82
18 de Julho	376,66	378,00	- 0,35
19 de Julho	337,93	340,00	- 0,61
20 de Julho	382,37	385,00	- 0,68
21 de Julho	493,56	496,00	- 0,49
Total	6750,14	6769,00	- 0,28

4.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO INFERIOR DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Conforme método apresentado na Seção 3.3, a Tabela 25 mostra os dados numéricos utilizados visando à determinação do volume ideal do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial. É importante ressaltar que, segundo a mensuração de usos finais de água potável na residência, calculada por meio de método estabelecido na Seção 3.2, a função de higienização de roupas representa 44% do consumo de água potável na edificação. Portanto, para esta pesquisa, o percentual adotado da demanda total a ser substituída por água pluvial é 44%. Conforme método descrito na seção 3.3, visando redução de erro de estimativas, utilizam-se os seguintes valores de demanda total a ser substituída pelo aproveitamento de água pluvial: 39%, 44% e 49%. A Figura 6, além de

mostrar as três curvas citadas, mostra o volume ideal do reservatório de armazenamento inferior.

Figura 6 - Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório.



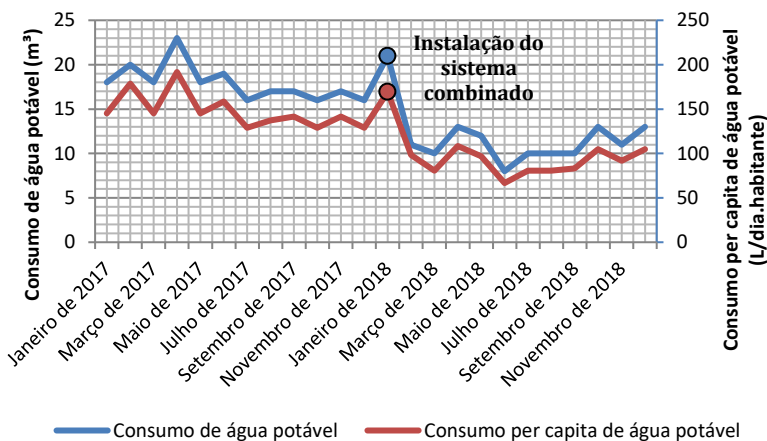
Adotou-se, neste estudo, volume de armazenamento de água pluvial equivalente a 4000 litros para o reservatório inferior, pois foi o volume indicado como ideal nas três simulações realizadas. Ressalta-se novamente que, além do volume para reservatório inferior, há reservatório superior com volume equivalente a 1000 litros, havendo recalque quando o reservatório estiver com 90% de sua capacidade. Portanto, na edificação, utiliza-se, aproximadamente, 5000 litros para o armazenamento de água pluvial. Na obra de instalação do sistema combinado foram instalados dois reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial, cada um com volume equivalente a 2000 litros. A Figura 17, no Apêndice A, mostra os reservatórios inferiores de água pluvial instalados neste estudo.

O programa Netuno indica que a instalação de reservatório inferior de água pluvial com capacidade de armazenamento equivalente a 4000 litros pode reduzir 39,07% da água potável consumida na edificação. Com este volume, a demanda de água pluvial seria completamente atendida em 87,62% dos dias do ano, seria parcialmente atendida em 2,16% e não seria atendida em 10,21% dos dias do ano. Ressalta-se novamente que, neste estudo, o aproveitamento de água pluvial é realizado visando apenas à higienização de roupas.

4.4 ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL

A Figura 7 mostra os consumos mensais de água potável e os consumos *per capita* de água potável na edificação anteriormente e posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.

Figura 7 – Consumos mensais e consumo *per capita* mensais de água potável.



Percebe-se que a partir do início do ano de 2018, período no qual foi instalado o sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, há relevante redução na curva do consumo de água potável, mostrada na Figura 7. No primeiro mês após a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza percebe-se que houve imediata redução de 31% no consumo de água potável em relação ao último mês sem a instalação do sistema combinado. Em janeiro de 2018, primeiro mês de medição, percebe-se que houve aumento no consumo de água potável na residência em relação ao mesmo mês do ano anterior. Isto ocorre pois, em janeiro de 2018, foram realizados testes após a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial. Foram realizados sucessivos enchimentos dos reservatórios inferior e superior, visando ao correto funcionamento da motobomba e das boias de nível.

Durante o período de monitoramento, o consumo mensal de água potável variou entre oito e treze metros cúbicos. Os maiores consumos

ocorreram nos meses de abril, outubro e dezembro de 2018, períodos nos quais ocorreram raras precipitações pluviométricas, fazendo com que os moradores da edificação utilizassem maior volume de água fornecida pela concessionária de abastecimento de água potável. O mês de junho apresentou consumo de água potável equivalente a oito metros cúbicos, menor valor encontrado nesta pesquisa. Este fato justifica-se pelo grande volume de precipitação pluviométrica no mês. Os consumos dos meses março, julho, agosto e setembro foram equivalentes a dez metros cúbicos, valor relacionado à fatura mínima de água cobrada pela concessionária de abastecimento de água potável. Nestes meses, não se pode mais evoluir do ponto de vista financeiro. Porém, pode-se reduzir ainda mais o consumo de água potável, visando à preservação do meio ambiente. O consumo médio de água potável no ano de 2018 foi de aproximadamente onze metros cúbicos na residência. Este valor representa redução média de aproximadamente sete metros cúbicos posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Convém ressaltar que as reduções mensais no consumo de água variaram entre três e onze metros cúbicos. Neste estudo, a menor redução do consumo de água potável ocorreu no mês de abril, período em que as precipitações foram escassas. Conforme mencionado, o sistema de aproveitamento de água pluvial depende de fatores climáticos, portanto em períodos secos, há menor aproveitamento de água pluvial e, conseqüentemente, menor redução do consumo de água potável.

A redução percentual mensal do consumo de água potável variou entre, aproximadamente, 19% e 58% após a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Neste estudo, a redução percentual mensal média foi de aproximadamente 38%. O valor encontrado vai de encontro aos resultados apresentados em estudo de Li, Boyle e Reynolds (2010), realizado na Irlanda. Os autores afirmam que o sistema combinado poderia suprir demanda de água potável equivalente a 94%, valor muito acima dos resultados apresentados neste estudo. Porém, há pesquisas que vão ao encontro dos resultados obtidos neste estudo. Muthukumar, Baskaran e Sexton (2011) obtiveram potencial de economia de água potável equivalente a 40% em estudo realizado acerca da instalação de sistema combinado em edificações residenciais australianas. Ressalta-se que o sistema combinado era constituído pelo aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza. Ghisi e Oliveira (2007) observaram potencial de economia de água potável de 36,4% e 33,8% para duas edificações residenciais localizadas no município de

Palhoça, Sul do Brasil. Marinovski, Rupp e Ghisi (2018) realizaram estudo sobre a instalação do sistema combinado em edificações localizadas em áreas de baixa renda. O estudo, localizado em edificações do município de Florianópolis, Sul do Brasil, apresentou potencial de economia de água potável equivalente a 32,5%. Este valor representa redução de aproximadamente 3700 litros mensais no consumo de água potável. Ghisi e Ferreira (2007) estudaram o potencial de economia de água potável em três edificações de um conjunto habitacional multifamiliar no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, observando potenciais de economia de água potável de 36,7%, 37,9% e 42,0% em cada uma das edificações do conjunto habitacional. Oviedo-Ocaña et al. (2017) realizaram estudo acerca da instalação de sistema combinado em um complexo residencial colombiano. Os autores encontraram economia de água potável equivalente a 44%.

É importante ressaltar que, embora haja resultados semelhantes a este estudo, existe grande faixa de variação, pois os potenciais de economia de água pluvial dependem dos seguintes fatores: características pluviométricas, demanda de água potável na edificação, área de captação de água pluvial e volume de armazenamento.

De acordo com a Figura 7, posteriormente à instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, o consumo *per capita* mensal de água potável variou de, aproximadamente, 67 e 108 litros por/dia, representando consumo médio *per capita* mensal de, aproximadamente, 91 litros/dia. Este valor representa redução mensal média de aproximadamente 57 litros, variando entre 24 e 92 litros diários por habitante em cada mês deste estudo. A redução percentual mensal do consumo de água potável variou de 19% a 58% após a instalação do sistema combinado. A redução percentual mensal média foi de aproximadamente 38%. De acordo com a Tabela 1, os consumos *per capita* médios no Brasil e em Santa Catarina são, respectivamente, equivalentes a 154 litros e 149 litros. Neste estudo, após a instalação do sistema combinado o consumo *per capita* diário é de aproximadamente 91 litros por habitante. Ou seja, valor muito inferior à média brasileira e do estado de Santa Catarina.

4.5 ANÁLISES QUALITATIVAS

Conforme definido na seção 3.5, foram realizadas análises de qualidade de água nas seguintes amostras: água pluvial proveniente da superfície de captação, água pluvial do reservatório de armazenamento e

água cinza proveniente da máquina de lavar roupas. Esta seção aborda a discussão dos parâmetros com as legislações pertinentes, visando verificar a possibilidade de aproveitamento de água pluvial para a higienização de roupas e reúso de água cinza nos vasos sanitários.

A Tabela 41 mostra as seguintes informações das amostras coletadas: data de coleta, temperatura ambiente e condições climáticas. É importante ressaltar que para cada data informada foram coletadas amostras nos três pontos de coleta informados no parágrafo anterior. Ressalta-se também que as amostras só foram coletadas após períodos chuvosos, nos quais houve precipitação pluviométrica suficiente para caracterizar a amostra.

Tabela 41 - Datas de coleta, temperatura ambiente e condições climáticas.

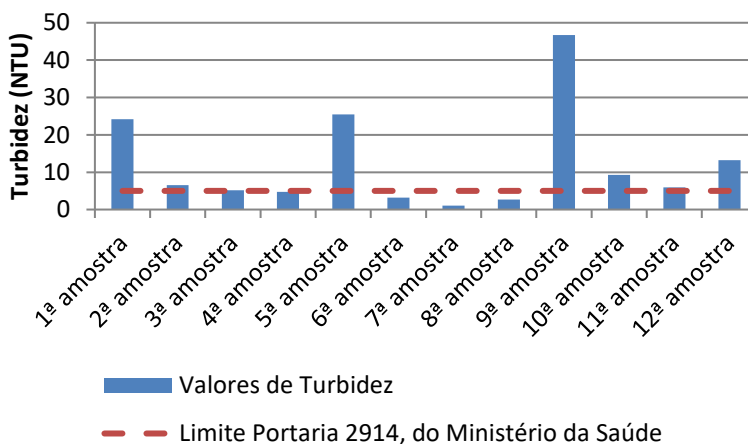
Número da amostra	Data de coleta	Temperatura ambiente (°C)	Condições climáticas
1	19/04/2018	21,0	Nublado
2	29/05/2018	19,5	Nublado
3	21/06/2018	18,9	Ensolarado
4	11/07/2019	18,5	Nublado
5	30/08/2018	17,6	Nublado
6	03/09/2018	17,9	Chuvoso
7	18/09/2018	22,4	Ensolarado
8	26/10/2018	22,0	Ensolarado
9	30/10/2018	22,4	Ensolarado
10	29/11/2018	23,2	Nublado
11	12/12/2018	23,5	Nublado
12	09/01/2019	33,5	Ensolarado

4.5.1 Água pluvial proveniente da cobertura

De acordo com o método definido na seção 3.5.1, para a higienização de roupas, utilizou-se a portaria 2914 do Ministério da Saúde, de 12 de dezembro de 2011, a qual aborda padrões de potabilidade para o consumo humano.

A água pluvial proveniente da cobertura foi coletada e analisada para verificação de seus parâmetros qualitativos. A Figura 8 mostra os resultados de turbidez para as doze amostras coletadas. As amostras foram coletadas em dias diferentes, sempre após períodos chuvosos. É importante ressaltar novamente que quando o volume de precipitação pluviométrica não foi suficiente para caracterização qualitativa da água, não houve coleta.

Figura 8 - Turbidez da água pluvial proveniente da superfície de captação.

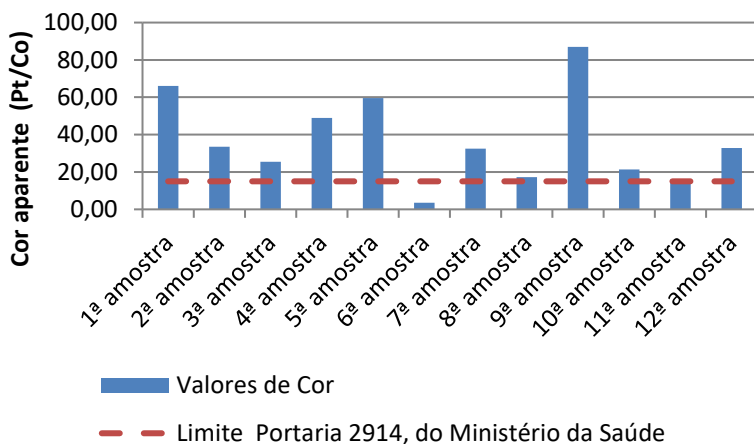


A Figura 8 mostra que algumas amostras estão acima do limite estabelecido pela portaria 2914 do Ministério da Saúde, de 12 de Dezembro de 2011. Vale ressaltar que o limite estabelecido pela legislação indicada é 5,00 NTU. Altos valores de turbidez estão associados aos materiais sólidos presentes nas superfícies de captação e de condução de água pluvial. As baixas concentrações de turbidez foram encontradas em amostras cuja coleta foi realizada após períodos chuvosos. Quando a coleta foi realizada após períodos de estiagem, a amostra apresentou altas concentrações de turbidez, pois havia maior deposição de partículas sólidas na superfície de captação. Por partículas sólidas, entendem-se folhas, poeira, fezes de animais e demais detritos sólidos. Segundo Von Sperling (2014), a turbidez, na forma de sólidos em suspensão, pode servir de abrigo para microorganismos patogênicos, diminuindo a eficiência da desinfecção. Portanto, anteriormente ao seu

aproveitamento a água pluvial deve passar por processo que elimine sólidos em suspensão.

Os sólidos em suspensão também interferem no parâmetro cor aparente. Portanto, é importante ressaltar que a cor aparente está diretamente ligada à turbidez. A Figura 9 mostra os resultados encontrados para cor aparente nas doze amostras realizadas.

Figura 9 - Cor aparente da água pluvial proveniente da superfície de captação.

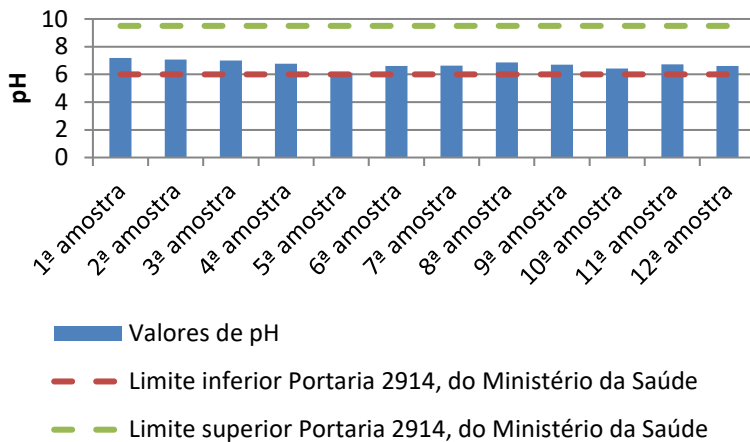


O Ministério da Saúde, em sua portaria 2914, define que a cor aparente deve ser inferior a 15,00 Pt/Co para atender aos limites de potabilidade para consumo humano. A Figura 9 mostra que, nesta pesquisa, a maior parte das amostras apresentaram valores superiores ao limite definido pela legislação. Os altos valores de cor aparente estão relacionados, assim como na turbidez, aos sólidos em suspensão presentes na água. A presença de cor aparente na água pode gerar inconvenientes estéticos ou à saúde dos consumidores. A desinfecção por meio de cloração em água contendo cor proveniente de matéria orgânica dissolvida pode gerar subprodutos perigosos, como os trihalometanos (VON SPERLING, 2014). Para o autor, coloração acima de 15,00 μC pode ser detectada visualmente pelos consumidores, os quais podem questionar sua confiabilidade.

O pH também é parâmetro para verificação da potabilidade da água, pois pode conferir características ácidas ou básicas à água e/ou gerar corrosão em tubulações e demais partes constituintes do sistema.

A Figura 10 mostra os valores encontrados para o parâmetro pH nas doze amostras coletadas de água pluvial proveniente da superfície de captação.

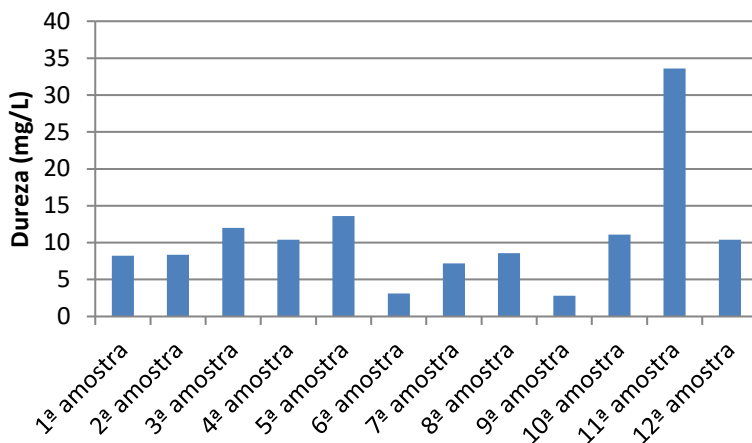
Figura 10 - pH da água pluvial proveniente da superfície de captação.



A portaria 2914, do Ministério da Saúde, define que o pH das amostras, a 25°C, deve estar compreendido entre 6,00 e 9,50 para atender aos limites de potabilidade. De acordo com a Figura 10, todas as amostras estão compreendidas na faixa indicada para o parâmetro pH, atendendo aos padrões de potabilidade para consumo humano. Os resultados indicam que para este parâmetro, a água pode ser utilizada para a higienização de roupas.

O parâmetro dureza também apresenta grande relevância à utilização para fins potáveis, pois está relacionado diretamente com dissolução do sabão em pó na água. Segundo Von Sperling (2014), quanto maior a dureza, maior o consumo de sabão, pois o parâmetro reduz a formação de espuma na água. Portanto, quanto maior a concentração do parâmetro dureza, maior é a dificuldade para a higienização de roupas. A Figura 11 mostra os resultados encontrados nas análises para o parâmetro dureza.

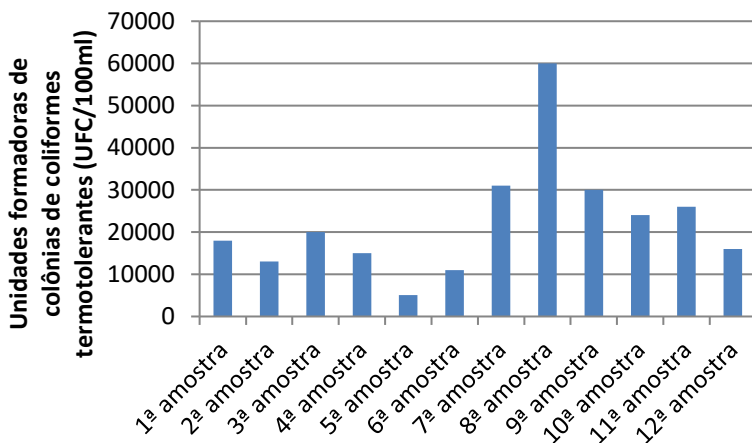
Figura 11 - Dureza da água pluvial proveniente da superfície de captação.



O Ministério da Saúde, em sua portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011, define que a concentração do parâmetro dureza deve ser inferior a 500,00 mg/L para atender aos limites de potabilidade. A Figura 11 mostra que, neste estudo, todas as amostras apresentaram valores inferiores ao limite estabelecido pela legislação. Os valores encontrados para o parâmetro dureza indicam que a água pluvial pode ser aproveitada para a higienização de roupas.

A contagem de coliformes termotolerantes é de fundamental importância para verificação dos padrões de potabilidade. Entende-se por coliformes termotolerantes a presença de coliformes fecais na água em análise. A Figura 12 mostra a contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) de coliformes termotolerantes.

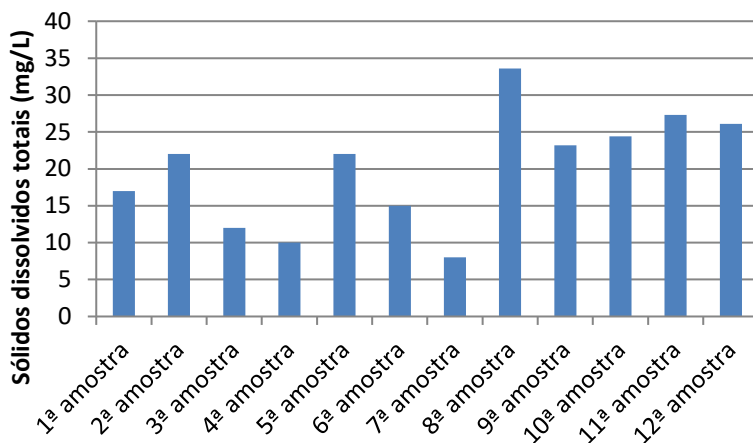
Figura 12 - Coliformes termotolerantes presentes na água pluvial proveniente da superfície de captação.



Como mostra a Figura 12, todas as amostras não estão de acordo com o estabelecido pela portaria 2914 do Ministério da Saúde, pois há unidades formadoras de colônias decoliformes termotolerantes. A portaria indica que não deve haver presença de coliformes termotolerantes na água. Portanto, a água pluvial, coletada na superfície de cobertura e conduzida pelas calhas aos reservatórios inferiores, não deve ser utilizada visando à higienização de roupas.

Visando à comparação com a legislação utilizada nesta seção, a Figura 13 mostra a concentração de sólidos dissolvidos totais determinadas nas doze amostras coletadas.

Figura 13 - Sólidos dissolvidos totais presentes na água pluvial proveniente da superfície de captação.



O Ministério da Saúde, em sua portaria 2914 define que o parâmetro sólidos dissolvidos totais não deve ser superior a 1000,00 mg/L. Portanto, todas as amostras estão de acordo com o limite estabelecido pela legislação, podendo a água pluvial ser aproveitada para a higienização de roupas. É importante ressaltar que as concentrações de sólidos dissolvidos totais estão bem abaixo do limite definido pela portaria.

Nesta seção, percebe-se que os parâmetros turbidez, cor aparente e coliformes termotolerantes excedem aos limites definidos pela portaria 2914, do Ministério da Saúde. Como mencionado neste estudo, o parâmetro turbidez está relacionado à acumulação de poeira, folhas, fezes de animais e demais sólidos grosseiros na superfície da cobertura. Deve-se ressaltar que a cor aparente está diretamente relacionada à concentração de turbidez na água. Portanto, turbidez e cor aparente estão ligadas à presença de detritos e demais sólidos em suspensão presentes na superfície de coleta. Para resolução do problema, visando à potabilidade da água pluvial, utilizou-se dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas. A utilização desta peça visa à retenção de sólidos em suspensão presentes nas primeiras precipitações que escoam pela superfície de captação, proporcionando redução das concentrações de turbidez e cor aparente. O volume do dispositivo foi calculado para volume equivalente a 2,0 milímetros de precipitação

pluviométrica. Após o enchimento completo do dispositivo, a água enche os reservatórios inferiores.

O dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas é mostrado na Figura 16, no Apêndice A. Para Leong et al. (2017), o dispositivo previne a acumulação de matéria orgânica nos reservatórios, evita a corrosão nas tubulações e reduz a probabilidade de danos à motobomba. Como mencionado no método definido na seção 3.3, visando ao aproveitamento de água pluvial, foi utilizado dispositivo para o descarte de volume equivalente a 2,0 milímetros da precipitação inicial, respeitando o recomendado pela norma NBR 15.527, de 24 de setembro de 2007.

Conforme descrito, o parâmetro coliformes termotolerantes também está acima dos limites estabelecidos pela portaria 2914 do Ministério da Saúde. Lee et al. (2017) afirmam, em seu estudo, que folhas e excrementos de animais são os principais fatores ligados à contaminação microbiana nos sistemas de captação de água pluvial. Devido à alta concentração de coliformes termotolerantes, faz-se necessária a utilização de processo de desinfecção visando ao aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas, garantindo segurança aos usuários. Mendez et al. (2011) afirmam que a água pluvial deve passar por processo de desinfecção para eliminação de coliformes fecais, bactérias, protozoários e demais microorganismos patogênicos. Neste estudo, a desinfecção foi realizada por meio da cloração, utilizando-se hipoclorito de sódio.

A água pluvial foi armazenada nos reservatórios inferiores posteriormente à utilização de dispositivo de descarte das primeiras precipitações e cloração por meio de hipoclorito de sódio. Na seção 4.6.2 serão abordados os parâmetros de potabilidade após o tratamento, visando à verificação da possibilidade do aproveitamento de água pluvial para a higienização de roupas.

4.5.2 Aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas

As figuras com os resultados encontrados para o aproveitamento de água pluvial visando à higienização de roupas estão expostas no Apêndice C, o qual mostra os resultados dos seguintes parâmetros de qualidade de água: turbidez, cor aparente, coliformes termotolerantes, cloro residual livre, pH, sólidos dissolvidos totais e dureza. Ressalta-se novamente que os parâmetros foram analisados após passagem da água pluvial por dispositivo de descarte dos primeiros volumes de precipitação pluviométrica e realização de desinfecção da água pluvial.

Os resultados encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela portaria 2914 do Ministério da Saúde, a qual aborda padrões de potabilidade visando ao consumo humano.

Na seção 4.6.1, verificou-se que os parâmetros turbidez e cor aparente apresentaram-se acima dos limites definidos pela legislação pertinente. Posteriormente à passagem por dispositivo de descarte do primeiro volume de precipitação pluviométrica houve redução das concentrações de turbidez e cor aparente. Todas as amostras de turbidez apresentaram concentrações abaixo do limite definido pela portaria 2914 do Ministério da Saúde. A maior parte das amostras apresentou concentrações de cor aparente abaixo do limite definido pela portaria. Apenas a 6ª amostra, apresentou-se acima do limite. Ressalta-se que os limites para turbidez e cor aparente são, respectivamente, 5,00 NTU e 15,00 Pt/Co. As reduções estão diretamente relacionadas à retenção de sólidos em suspensão pelo dispositivo de descarte. Portanto, também houve redução de sólidos em suspensão. Esta afirmação vai ao encontro do estudo realizado por Mendez et al. (2011). Os autores afirmam que a instalação de dispositivo de descarte das primeiras precipitações eleva a qualidade da água, pois reduz a concentração da maioria dos parâmetros de qualidade da água.

Não foram encontradas unidades formadoras de colônias de coliformes termotolerantes posteriormente ao processo de desinfecção por meio de cloração. Portanto, após a desinfecção, a água pluvial pode ser utilizada para a higienização de roupas, pois a ausência de unidades formadoras de colônias de coliformes termotolerantes possibilita o aproveitamento de água pluvial com segurança aos usuários. Embora não haja indicação da presença de coliformes termotolerantes, a concentração de cloro residual livre na água deve ser monitorada. O Ministério da Saúde, em sua portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011, estabelece que a concentração de cloro residual livre deve estar entre 0,20 e 5,00 mg/L. As primeiras amostras apresentaram concentração de cloro residual livre abaixo do limite inferior, indicando dosagem insuficiente de hipoclorito de sódio. Visando à correção do problema ocorrido, buscou-se a adequação da dosagem do produto químico, possibilitando o enquadramento das amostras subsequentes à legislação vigente.

O parâmetro pH também foi monitorado posteriormente à desinfecção, pois houve utilização de produto químico. Os valores de pH mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, em sua portaria 2914. Somente a 6ª amostra apresentou-se levemente abaixo do limite inferior. Ressalta-se novamente que os

limites inferior e superior definidos pela referida portaria são, respectivamente, 6,00 e 9,50. Os valores encontrados de pH indicam que não há influência negativa na higienização de roupas, ou seja, a água não apresenta características ácidas ou básicas. Visando adequada higienização de roupas, espera-se que o pH apresente-se em faixa neutra. Neste estudo, o parâmetro pH apresentou-se dentro dos parâmetros de potabilidade.

A dureza também deve ser estudada para utilização de roupas, visto que pode influenciar a qualidade de higienização. É importante ressaltar novamente que água com elevada dureza apresenta dificuldades em dissolver sabão. As concentrações de dureza estão de acordo com o limite definido pela portaria 2914 do Ministério da Saúde. Segundo a legislação, a concentração de dureza não deve exceder a 500,00 mg/L para atender aos limites de potabilidade. As concentrações encontradas para o parâmetro dureza indicam que pode haver o aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas, sem dificultar o processo de dissolução do sabão em pó. Houve redução das concentrações de dureza quando estas são comparadas às concentrações de dureza encontradas na água pluvial sem tratamento.

O Ministério da Saúde, em sua portaria 2914 define que o parâmetro sólidos dissolvidos totais não deve ser superior a 1000,00 mg/L. Visando ao aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas, todas as amostras estão de acordo com o limite estabelecido pela legislação, podendo a água pluvial ser aproveitada para a higienização de roupas. Porém, é importante ressaltar que a partir da oitava amostra houve relevante crescimento na concentração dos sólidos dissolvidos totais. Portanto, é necessário proceder na limpeza dos reservatórios. Conforme recomendação da concessionária de abastecimento de água, os reservatórios de água devem ser higienizados a cada seis meses.

Constatou-se que os parâmetros estudados nesta pesquisa estão de acordo com a portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, posteriormente à passagem por dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas e processo de desinfecção. Portanto, pode-se afirmar que a água pluvial pode ser utilizada para a higienização de roupas. É importante utilizar a dosagem adequada do produto químico na etapa de cloração, pois a mesma garante a ausência de coliformes termotolerantes e mantém o cloro residual livre dentro dos limites estabelecidos pela legislação pertinente.

4.5.3 Reúso de água cinza para descarga de vasos sanitários

As figuras com os resultados encontrados para o reúso de água cinza visando à descarga de vasos sanitários estão expostas no Apêndice D, o qual mostra os resultados dos seguintes parâmetros de qualidade de água: turbidez, cor aparente, pH, coliformes termotolerantes e cloro residual livre. A água cinza utilizada é proveniente das etapas de lavagem e enxague da máquina de lavar roupas, e foi armazenada em reservatório inferior com volume equivalente a 500 litros. Os resultados encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma 15527, de 24 de outubro de 2007.

A norma brasileira 15527 estabelece que a turbidez não deve exceder 5,00 NTU para usos menos restritivos. Todas as amostras apresentaram turbidez acima do limite estabelecido. Os altos valores estão associados aos sólidos em suspensão presentes na água cinza. Estes sólidos estão ligados à utilização de sabão em pó, amaciante e demais produtos químicos utilizados. Ressalta-se que a turbidez é diretamente relacionada à cor aparente. O limite estabelecido pela Norma 15527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas para cor aparente é 15,00 μH . Neste estudo, o parâmetro cor aparente, em todas as amostras, excedeu ao limite estabelecido. Esperava-se este cenário, pois os valores encontrados para o parâmetro turbidez também se apresentaram elevados. Vale ressaltar que os dois parâmetros estão relacionados à presença de sólidos em suspensão na água.

Os produtos químicos também podem influenciar o pH. A NBR 15527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece que o pH deve estar compreendido entre 6,00 e 8,00. Embora a maioria das amostras tenha se apresentado dentro dos limites definidos pela norma, algumas amostras mostraram-se acima do limite superior. Este fato deve-se às características básicas conferidas à água pelos produtos químicos utilizados na higienização de roupas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas também estabelece que a água não deve apresentar presença de coliformes termotolerantes. Não foi constatada a presença de unidades formadoras de colônias de coliformes termotolerantes, pois realizou-se a desinfecção com hipoclorito de sódio. Embora não foi constatada a presença de coliformes termotolerantes na água cinza, faz-se necessário o monitoramento da concentração do cloro residual livre presente na água. De acordo com a NBR 15527, as concentrações de cloro residual livre devem estar entre 0,50 e 3,00 mg/L.

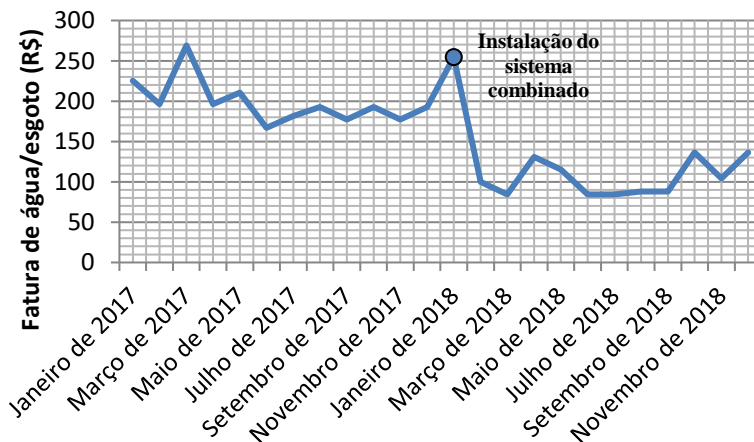
Nesta seção, pode-se observar que alguns parâmetros possuem relevante variação de concentrações. Este fato pode ser justificado pela utilização de diferentes tipos de dosagens de produtos químicos na higienização de roupas, tais como: sabão em pó e amaciante. Visando ao reúso de água cinza em vasos sanitários deve-se utilizar filtração para redução da concentração de sólidos em suspensão, cor aparente e turbidez presentes na água. Para a eliminação de coliformes termotolerantes, deve haver desinfecção.

4.6 ANÁLISE ECONÔMICA

4.6.1 Benefícios monetários

Por meio da Equação 8, definida na seção 3.6.1, calculou-se os benefícios monetários dos meses de 2018 gerados pela instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, demonstrados pela redução das faturas de água/esgoto cobradas pela concessionária de abastecimento de água quando comparados os meses de 2018 aos meses de 2017. A Figura 14 mostra as faturas de água/esgoto cobradas pela concessionária de abastecimento de água ao longo dos anos 2017 e 2018.

Figura 14 - Comparação entre as faturas de água/esgoto dos anos 2017 e 2018.



Como mostra a Figura 14, a fatura de água/esgoto de janeiro de 2018 apresentou elevação em relação às faturas antecedentes, pois foi o mês de instalação do sistema combinado. O pico representa os testes realizados a fim de instalar a motobomba de recalque e as boias de nível. A partir de fevereiro de 2018, os meses apresentaram faturas menores do que as faturas do ano de 2017, pois o sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza foi instalado em janeiro de 2018.

A fatura de água/esgoto cobrada pela concessionária de abastecimento de água variou entre R\$ 84,38 e R\$ 136,50 no ano de 2018, possuindo média mensal equivalente a R\$ 104,76. A redução monetária média, quando se compara os meses dos anos 2017 e 2018, foi de R\$ 90,95 reais por mês. Convém ressaltar que os valores de redução monetária variaram entre R\$ 56,12 e R\$ 184,66. Posteriormente à instalação do sistema combinado, economizou-se R\$ 1000,42 ao longo de 12 meses em relação ao valor pago à concessionária de abastecimento de água anteriormente à instalação do sistema. Este valor representa redução econômica média de 45,76%. As reduções percentuais mensais variaram de 29,14% a 68,64%. A redução percentual seria maior caso a política tarifária fosse mantida estável ao longo do tempo. Os meses de abril, outubro e dezembro de 2018 apresentaram as maiores faturas de água/esgoto após a instalação do sistema. Embora o mês de junho apresentou consumo de oito metros cúbicos, pagou-se a fatura mínima cobrada pela concessionária de abastecimento de água potável, a qual é equivalente a dez metros cúbicos.

4.6.2 Investimento inicial

Conforme definido na seção 3.6.2, a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza foi dividida nas seguintes etapas: fundação e estrutura, instalações hidráulicas, instalação de calhas e instalações elétricas.

A Tabela 42 apresenta a especificação, custo unitário e custo total referente à aquisição de cada material de construção na etapa de fundação e estrutura.

Tabela 42 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de fundação e estrutura.

Fundação e estrutura	Especificação	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Aço CA 50 5/16 (8mm)	5 barras com 12,0 metros	21,00	105,00
Aço CA 60 4,2	2 barras com 12,0 metros	5,60	11,20
Lixa para ferro número 100	2 unidades	2,60	5,20
Arame recozido fio 18	1 rolo com 1kg	9,40	9,40
Cimento	4 unidades com 50 kg cada	21,50	86,00
Tábua para caixaria 3,0 x 0,3 metros	6 unidades	12,91	77,46
Lixa para madeira número 220	1 unidade	0,80	1,60
Prego polido com cabeça 17 x 27	1 embalagem com 1,0 kg	6,70	6,70
Custo total para fundação e estrutura (R\$)			302,56

A instalação das calhas foi realizada posteriormente à etapa de fundação e elevação da estrutura. A Tabela 43 apresenta a especificação, custo unitário e custo total referente à aquisição de cada material de construção na etapa de instalação das calhas.

Tabela 43 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações das calhas.

Instalação calhas	Especificação	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Calha aquapluv - 3 metros cada	10 barras com 3,0 metros cada	55,90	559,00
Esquadro externo aquapluv	1 unidade	32,00	23,88
Transição para condutor 88 x 75mm	3 unidades	7,50	22,50
Bocal de descida aquapluv	3 unidades	35,00	105,00
Cabeceira esquerda aquapluv	3 unidades	10,00	30,00
Cabeceira direita aquapluv	3 unidades	10,00	30,00
Emenda aquapluv	7 unidades	21,00	147,00
Borracha de vedação aquapluv	7 unidades	0,90	6,30
Suporte aquapluv	23 unidades	6,55	150,65
Joelho esgoto 75 mm x 90°	5 unidades	4,20	21,00
Tê esgoto 75 mm	3 unidades	8,90	26,70
Tubo esgoto 75 mm	2 barras com 6,0 metros cada	39,00	78,00
Grelha para calha aquapluv	3 unidades	12,00	36,00
Custo total para instalação das calhas			1236,03

As instalações hidráulicas foram realizadas posteriormente à instalação das calhas. A Tabela 44 mostra a especificação, custo unitário e custo total referente à aquisição de cada material de construção na etapa de instalação hidráulicas.

Tabela 44 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações hidráulicas.

Instalações hidráulicas	Especificação	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Caixa d'água polietileno 2000 litros	2 unidades	650,00	1300,00
Caixa d'água polietileno 1000 litros	1 unidade	259,00	259,00
Caixa d'água polietileno 500 litros	1 unidade	135,00	135,00
Caixa d'água polietileno 250 litros	1 unidade	136,00	136,00
Adaptador com flange soldável 50 mm	2 unidades	18,20	36,40
Adaptador com flange soldável 40 mm	2 unidades	15,80	31,60
Adaptador com flange soldável 25 mm	2 unidades	7,80	15,60
Adaptador soldável curto 32 mm	2 unidades	1,20	2,40
Bucha de redução curta 32 x 25mm	2 unidades	0,65	1,30
Luva de redução soldável curta com rosca 25 mm x ¾	1 unidade	4,20	4,20
Tubo soldável PVC 25 mm	4 barras com 6,0 metros cada	10,20	40,80
Torneira ¾ 25 mm	2 unidades	1,85	5,55
Registro esfera compacto 25 mm	3 unidades	9,00	27,00
União soldável PVC 25 mm	1 unidade	9,00	9,00
União soldável PVC 32 mm	1 unidade	7,50	7,50
Joelho soldável 25 mm x 90°	8 unidades	0,45	3,60
Tubo esgoto 40 mm	1 barra com 6,0 metros	14,30	14,30
Joelho esgoto 40 mm x 90°	4 unidades	1,00	4,00
Fita veda rosca 18 mm	1 rolo com 50 metros	7,00	7,00
Adesivo PVC	1 frasco com 0,175 kg	11,96	11,96
Custo total com instalações hidráulicas			2052,21

A Tabela 45 apresenta a especificação, custo unitário e custo total referente à aquisição de cada material de construção na etapa de instalações elétricas.

Tabela 45 - Custo total para a aquisição de materiais de construção para a etapa de instalações elétricas

Instalações elétricas	Especificação	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Cabo flexível 750 V 2,5 mm ² - cor preta	30 metros	1,10	33,00
Cabo flexível 750 V 2,5 mm ² - cor azul	30 metros	1,10	33,00
Fita isolante preta	1 unidade com 5,0 metros	2,60	2,60
Mangueira popular 1/2"	30 metros	0,81	24,30
Disjuntor 20 ^a	1 unidade	9,90	9,90
Chave boia 16 A	2 unidades	44,16	88,32
Motobomba periférica ½ HP	1 unidade	155,52	155,52
Custo total com instalações elétricas			346,64

A Tabela 46 mostra o custo com cada etapa de construção e o custo total com a aquisição de materiais de construção para a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza.

Tabela 46 - Custo com cada etapa de construção e custo total com aquisição de materiais de construção.

Etapa	Custo (R\$)	Porcentagem financeira (%)
Fundação e estrutura	302,56	7,68
Instalação das calhas	1236,03	31,39
Instalações hidráulicas	2052,21	52,12
Instalações elétricas	346,64	8,81
Custo total com aquisição de material de construção	3937,44	100,00

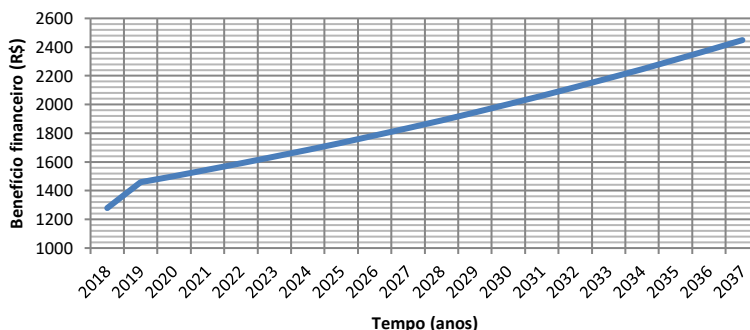
Para a instalação do sistema combinado na edificação, o custo total com aquisição de materiais de construção foi de R\$ 3937,44. O maior custo foi verificado na etapa para instalações hidráulicas, representando 52,12% do custo total com a aquisição de materiais de construção. A instalação de calhas representou 31,39%, seguida pelas instalações elétricas e, fundação e estrutura com, respectivamente, 8,81% e 7,68%. Ressalta-se que o alto custo referente à aquisição de materiais de construção destinados às instalações hidráulicas deve-se, em grande parte, à aquisição de reservatórios para armazenamento da água pluvial e armazenamento de água cinza.

Entre os três orçamentos de mão de obra para instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, o menor orçamento, R\$1800,00, foi o escolhido.

Considerando-se o gasto com a aquisição de materiais de construção e contratação de mão de obra de, respectivamente, R\$3937,44 e R\$1800,00, o investimento econômico inicial para a execução da obra foi de R\$ 5737,44. Este valor foi calculado por meio da Equação 10, definida na seção 3.6.2.

Considerando-se a estrutura tarifária da concessionária de água potável, mostrada na Tabela 33, e a taxa de inflação brasileira de 2017, considerando-se reajuste na estrutura tarifária a cada doze meses, o programa Netuno calculou os benefícios monetários para o período de análise de projeto (vinte anos). A Figura 15 mostra os benefícios financeiros anuais gerados com a redução do consumo de água potável para vinte anos de análise de projeto.

Figura 15 - Benefício monetário gerado com a redução do consumo de água potável.



Observa-se, com o auxílio da Figura 15, tendência de crescimento do benefício financeiro. Este fato deve-se à seguinte consideração que foi feita no projeto: reajuste anual das tarifas de água potável com base nos dados da inflação brasileira para o ano de 2017.

4.6.3 Tempo de recuperação econômica

O valor presente líquido encontrado nesta pesquisa equivale a R\$ 2749,85 para taxa interna de retorno igual a 1,02% ao mês. Para a instalação do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza o tempo de recuperação econômica é de onze anos e sete meses. A Tabela 47 mostra a síntese dos resultados obtidos por meio da análise econômica.

Tabela 47 - Síntese dos resultados obtidos por meio da análise econômica.

Cenários	Investimento financeiro ¹ (R\$)	Benefício monetário 2018 ² (R\$)	Redução mensal média na fatura de água (R\$)	Redução média na fatura de esgoto ³ (R\$)	Tempo para recuperação financeira (anos)
Sistema combinado ⁴	5.737,44	1000,42	45,48	45,48	11,58

1. Investimento financeiro referente a aquisição de materiais de construção e contratação de mão de obra.

2. Valor economizado no ano de 2018 quando é comparado ao valor pago à concessionária de abastecimento de água no ano de 2017.

3. A concessionária de abastecimento de água cobra valor duplicado devido à coleta e tratamento de efluentes.

4. Sistema combinado de aproveitamento de água pluvial para higienização de roupas, com posterior reúso na descarga de vasos sanitários.

Os resultados deste estudo vão ao encontro dos resultados apresentados por Ghisi e Ferreira (2007) em estudo realizado em um conjunto habitacional multifamiliar, no município de Florianópolis. Os autores encontraram resultados de 3,40 e 8,00 anos para duas edificações. É importante ressaltar que quanto maior foi a economia de água potável, menor foi o tempo de recuperação econômica. Os resultados encontrados também são similares aos apresentados em estudo de Ghisi e Schondermark (2013) acerca da viabilidade econômica de sistema combinado em cinco municípios de Santa Catarina, Sul do Brasil. Embora alguns casos variaram de dez a mais de 30,00 anos, os autores observaram que, para a maioria dos casos, nos

cinco municípios, o tempo de recuperação econômica variou de 1,50 a dez anos. No entanto, os resultados vão de encontro aos resultados obtidos por Ghisi e Oliveira (2007) em estudo realizado em duas residências localizadas no município de Palhoça, estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Os autores encontraram tempo de recuperação econômica de 28,17 e 92,67 anos para a instalação do sistema nas residências. Entretanto, é importante ressaltar que isto ocorre porque as residências apresentam consumo de água potável igual ou inferior a dez metros cúbicos mensais, valor equivalente à fatura mínima cobrada pela concessionária de abastecimento de água no município, não apresentando economia financeira.

O tempo de recuperação econômica encontrado neste estudo também vai de encontro ao estudo realizado por Oviedo-Ocaña et al. (2017) em um complexo residencial localizado na Colômbia. Para o sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, os autores encontraram tempo de recuperação econômica de 23,00 anos. Embora o tempo seja considerado alto para a instalação do sistema combinado, há de se considerar que o investimento é para um complexo residencial com 35 residências.

Os valores de tempo de recuperação econômica encontrados em diferentes estudos podem variar, pois a economia no consumo de água potável está relacionada principalmente às características pluviométricas da região, área de captação de água pluvial e volume do reservatório de armazenamento. Edificações residenciais com significativas áreas de captação de água pluvial e localizadas em regiões com altos níveis pluviométricos tendem a possuir sistemas combinados com menores tempos de recuperação econômica.

5 CONCLUSÕES

O consumo de água potável visando à higienização de roupas, 44%, foi considerado significativo. Porém, é importante ressaltar que os usos finais nos aparelhos hidrossanitários estão relacionados aos hábitos familiares, portanto cada residência pode apresentar as suas particularidades. O programa computacional Netuno indicou reservatório de armazenamento com volume ideal de 4000 litros, pois a redução de água potável gerada por reservatórios com volumes superiores não compensam o investimento financeiro para aquisição dos mesmos.

A instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza gerou redução média equivalente a 38% no consumo de água potável da edificação. O consumo médio mensal de água potável foi de aproximadamente onze metros cúbicos representando redução média de sete metros cúbicos. O consumo médio *per capita* de água potável, posteriormente à instalação do sistema combinado, foi de aproximadamente 91 litros diários por habitante, para redução média de, aproximadamente, 57 litros diários por habitante. Os valores de economia de água potável encontrados neste trabalho foram considerados relevantes. Entretanto, é importante ressaltar que os valores de redução no consumo de água potável dependem do nível de precipitação. Os meses com menores níveis de precipitação pluviométrica possuíram menores reduções no consumo de água potável.

Embora a redução no consumo de água potável seja relevante, a água pluvial proveniente da superfície de captação não deve ser aproveitada para higienização de roupas, pois as concentrações de turbidez, cor aparente e coliformes termotolerantes excedem os limites estabelecidos pela legislação pertinente. Portanto, faz-se necessária a utilização de pré-tratamento anteriormente à higienização de roupas. Os parâmetros estudados atenderam à legislação pertinente posteriormente à utilização de dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas, em conjunto com desinfecção. Portanto, nesta edificação, pode haver o aproveitamento de água pluvial para a higienização de roupas, de modo a garantir a segurança dos usuários.

Visando ao reúso de água cinza para a descarga de vasos sanitários, a maioria dos parâmetros está de acordo com os limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em sua norma NBR 15527. Os parâmetros turbidez e cor aparente estão acima dos limites estabelecidos pela norma, portanto para possibilidade do

reúso, a água cinza deve passar por processo de filtração ou por dispositivo de descarte do primeiro volume de precipitação pluviométrica. Reduzindo as concentrações de turbidez e cor aparente, a água cinza pode ser reutilizada na descarga de vasos sanitários.

É importante ressaltar que as análises qualitativas são específicas para a água pluvial e para a água cinza coletadas na edificação do presente estudo. Portanto, em instalações em outras edificações, a água coletada deve ser minuciosamente estudada, visando à garantia de segurança aos usuários do sistema. A água cinza pode gerar riscos sanitários, portanto estudos devem ser realizados para cada situação, indicando os tratamentos pertinentes a fim de eliminar os riscos à saúde pública.

Ressalta-se também que a máquina de lavar roupas gerou maior volume do que o necessário para descarga nos vasos sanitários. Portanto, pode-se aproveitar somente a água de enxágue da higienização de roupas, pois apresenta qualidade superior e pode suprir a demanda requerida para descarga nos vasos sanitários.

O valor financeiro investido na instalação do sistema combinado foi equivalente a R\$ 5.737,44, cujo tempo de recuperação econômica foi equivalente a onze anos e sete meses. Embora o tempo de recuperação econômica não seja considerado curto para a instalação do sistema combinado em uma edificação unifamiliar, o estudo vai ao encontro da sustentabilidade, pois reduz consideravelmente o consumo de água potável. Portanto, são necessários subsídios dos governos, visando à valorização e, conseqüentemente, ao crescimento da prática entre a população. Houve também relevante redução na fatura de água/esgoto paga à concessionária de abastecimento de água. No ano de 2018, foi economizado valor equivalente a R\$ 1000,42. Este valor representa redução percentual de, aproximadamente, 46% no valor anual pago à concessionária de abastecimento de água potável quando o valor é comparado ao pago no ano de 2017.

Os resultados indicam que, uma vez realizados os tratamentos de água pluvial e água cinza, a instalação possui viabilidade econômica e relevante redução no consumo de água potável, podendo auxiliar na preservação dos mananciais aquáticos e minimização de enchentes no meio urbano.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

- O período de monitoramento de usos finais nos aparelhos hidrossanitários poderia ser mais extenso, visando melhor caracterização do consumo de água potável na edificação. Neste estudo, o período de monitoramento foi equivalente a quatorze dias;
- A instalação do sistema foi realizada no mês de janeiro, período no qual houve alto nível de precipitação pluviométrica. Este fato gerou atrasos ao cronograma de execução da obra;
- Neste estudo, não foi instalado sistema de bombeamento e reservatório superior de água cinza, reduzindo os custos com aquisição de materiais de construção e contratação de mão de obra, podendo influenciar no tempo de recuperação econômica;
- Quando o armazenamento de água cinza foi realizado em condições anaeróbicas, houve exalação de odores desagradáveis, portanto se faz necessária abertura no reservatório para a entrada de oxigênio;
- Não foi realizada análise de vida útil dos materiais utilizados na instalação do sistema combinado, podendo o desgaste das peças interferir na eficiência do sistema ao longo do tempo, nos custos de manutenção e, conseqüentemente, no tempo de recuperação econômica.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando-se as limitações deste estudo e as potencialidades observadas, são sugeridos os seguintes trabalhos futuros:

- Aproveitamento de água pluvial para demais usos potáveis em residências, realizando mensuração de parâmetros de qualidade da água relacionados à potabilidade de água potável;
- Instalação integral do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, incluindo reservatórios inferiores, reservatórios superiores e motobombas de recalque

para água pluvial e água cinza. Indica-se o estudo acerca do potencial de economia de água gerada e mensuração do tempo de recuperação econômica para investimento;

- Realização de estudo sobre a possibilidade de reúso de água cinza proveniente do enxágue da máquina de lavar roupas para a higienização de roupas, utilizando o auxílio de processos de tratamento físico-químicos, caso necessário;
- Mensuração da redução do consumo de água potável em uma edificação, gerado pela instalação de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, esta proveniente somente da água de enxágue da máquina de lavar roupas;
- Realização de estudo sobre a economia de água potável gerada pela instalação de um sistema híbrido de água pluvial e água cinza. É importante ressaltar que em um sistema híbrido a água pluvial é misturada à água cinza. Também é indicado estudo sobre onde se daria o reúso da água, bem como o tempo de recuperação econômica para investimento;
- Análise econômica de um sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza, considerando análise de vida útil de materiais;
- Análise qualitativa de um sistema combinado após tratamento por meio wetlands construídos.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. 22 p. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10844 – Instalações prediais de água pluviais**. 13 p. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 13969 – Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**. 60 p. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15527 – Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. 8 p. Rio de Janeiro, 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em <http://www.ana.gov.br>. Acesso em Outubro de 2017.

ANA; FIESP; SINDUSCON-SP. **Conservação e Reúso da água em Edificações**. Prol Editora Gráfica. São Paulo. 2005.

ANTUNES, Lucas; THIVES, Liseane; GHISI, Eneidr. Potential for Potable Water Savings in Buildings by Using Stormwater Harvested from Porous Pavements. **Water**, [s.l.], v. 8, n. 4, p.110-137, 23 mar. 2016. MDPI AG.

AKTER, Aysha; AHMED, Shoukat. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 528, p.84-93, set. 2015. Elsevier BV.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wasterwater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Science Technology**: v. 33, 1991.

BANI-MELHEM, Khalid; AL-QODAH, Zakaria; AL-SHANNAG, Mohammad; QASAIMAH, Ahmad; QTAISHAT, Mohammed Rasool; ALKASRAWI, Malek. On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. **Journal of Membrane Science**, [s.l.], v. 476, p.40-49, fev. 2015. Elsevier BV.

BERWANGER, H.; GHISI, E. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in the city of Itapiranga, Brazil. **International Journal of Sustainable Human Development**, 2(3), 104-114. 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acessado em: 17/08/2017.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n.º 2914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: SVS, 2011. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acessado em 07/01/2019.

BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. **Avaliação do potencial de economia de água tratada no setor residencial da região sudeste através do aproveitamento de água pluvial**. 2005. 117 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CIPOLLA, Sara Simona; ALTOBELLI, Margherita; MAGLIONICO, Marco. Decentralized Water Management:

Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project. **Proceedings**, [s.l.], v. 2, n. 11, p.1-8, 30 jul. 2018. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/proceedings2110673>.

COOMBES, Peter J; ARGUE, John R; KUCZERA, George. Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). **Urban Water**, [s.l.], v. 1, n. 4, p.335-343, dez. 2000. Elsevier BV.

COUTO, Eduardo de Aguiar do; CALJURI, Maria Lúcia; ASSEMANY, Paula Peixoto; SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; LOPES, Lucas Sampaio. Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 106, p.372-379, nov. 2015. Elsevier BV.

CHRISPIM, Mariana Cardoso; NOLASCO, Marcelo Antunes. Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 142, p.290-296, jan. 2017. Elsevier BV.

DOMÈNECH, Laia; SAURÍ, David. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 19, n. 6-7, p.598-608, abr. 2011. Elsevier BV.

EROKSUZ, Erhan; RAHMAN, Aatur. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 54, n. 12, p.1449-1452, out. 2010. Elsevier BV.

ETCHEPARE, Ramiro; HOEK, Jan Peter van Der. Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. **Water Research**, [s.l.], v. 72, p.186-198, abr. 2015. Elsevier BV.

FEIL, Alexandre André; HAETINGER, Claus. Previsão de consumo de água via modelagem matemática de sistema de

abastecimento de água. **Revista Dae**, [s.l.], v. 62, n. 195, p.32-46, 2014. Editora Cubo Multimidia.

FERNANDES, Luís F. Sanches; TERÊNCIO, Daniela P.S.; PACHECO, Fernando A.L. Rainwater harvesting systems for low demanding applications. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 529, p.91-100, out. 2015. Elsevier BV.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. **Building and Environment**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.765-772, nov. 1999. Elsevier BV.

GASSIE, Lucien W.; ENGLEHARDT, James D. Advanced oxidation and disinfection processes for onsite net-zero greywater reuse: A review. **Water Research**, [s.l.], v. 125, p.384-399, nov. 2017. Elsevier BV.

GHISI, EneDir; BRESSAN, Diego Lapolli; MARTINI, Maurício. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.1654-1666, abr. 2007. Elsevier BV.

GHISI, EneDir. CORDOVA, Marcelo Marcel. **Netuno 4 – Manual do Usuário**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações: UFSC, 2014. 62 p. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/Manual-Netuno-4_Junho2014.pdf. Acessado em: 27/07/2017.

GHISI, EneDir; FERREIRA, Daniel F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, [s.l.], v. 42, n. 7, p.2512-2522, jul. 2007. Elsevier BV.

GHISI, EneDir; MONTIBELLER, Andreza; SCHMIDT, Richard W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, [s.l.], v. 41, n. 2, p.204-210, fev. 2006. Elsevier BV.

GHISI, EneDir; OLIVEIRA, SulayreMengotti de. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.1731-1742, abr. 2007. Elsevier BV.

GHISI, EneDir; SCHONDERMARK, Pedro Neves. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 27, n. 7, p.2555-2576, 17 fev. 2013. Springer Nature.

GHISI, EneDir; TAVARES, Davi da Fonseca; ROCHA, Vinicius Luis. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 54, n. 2, p.79-85, dez. 2009. Elsevier BV.

HERRMANN, Thilo; SCHMIDA, Uwe. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, [s.l.], v. 1, n. 4, p.307-316, dez. 2000. Elsevier BV.

HUSTON, R.; CHAN, Y. C.; CHAPMAN, H.; GARDNER, T.; SHAW, G. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. **Water Research**, [s.l.], v. 46, n. 4, p.1121-1132, mar. 2012. Elsevier BV.

JOHNSON, K. LOUX, J. **Water and Land Use: Planning Wisely for the Future of California**, Solano Press Books, Point Arena, California. 2004.

JÚNIOR, José Amilton Santos; JÚNIOR, Genival Barros; SANTOS, Jullyana Karolina Lima; BRITO, ElkaTaisyky Ferreira Santos. Rational use of water: interdisciplinary actions in a rural school in the Brazilian semiarid. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.263-271, 30 abr. 2013. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi).

KIM, Ree-ho; LEE, Sangho; JEONG, Jinwoo; LEE, Jung-Hun; KIM, Yeong-Kwan. Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. **Desalination**, [s.l.], v. 202, n. 1-3, p.326-332, jan. 2007. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.071>.

LEE, Minju; KIM, Mikyeong; KIM, Yonghwan; HAN, Mooyoung. Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 200, p.400-406, set. 2017. Elsevier BV.

LEONG, Janet Yip Cheng; OH, Kai Siang; POH, PhaikEong; CHONG, Meng Nan. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 142, p.3014-3027, jan. 2017. Elsevier BV.

LI, Zhe; BOYLE, Fergal; REYNOLDS, Anthony. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, [s.l.], v. 260, n. 1-3, p.1-8, set. 2010. Elsevier BV.

LI, Fangyue; WICHMANN, Knut; OTTERPOHL, Ralf. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 407, n. 11, p.3439-3449, maio 2009. Elsevier BV.

LIANG, Xiao; VAN DIJK, Meine Pieter. Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 55, n. 11, p.1100-1108, set. 2011. Elsevier BV.

LIMA, Jeferson Alberto de; DAMBROS, Marcus Vinicius Rodrigues; ANTONIO, Marco AntonioPeixer Miguel de; JANZEN, Johannes Gerson; MARCHETTO, Margarida. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 16, n. 3, p.291-298, set. 2011. FAPUNIFESP (SCIELO).

LOPES, A. C.; RUPP, Ricardo Forgiarini; GHISI, Enedir. Assessment of the potential for potable water savings by using rainwater in houses in southern Brazil. **Water Science and Technology: Water Supply**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.533-541, 16 nov. 2015. IWA Publishing.

LOUX, Jeff; WINER-SKONOVD, Rebecca; GELLERMAN, Erik. Evaluation of Combined Rainwater and Greywater Systems for Multiple Development Types in Mediterranean climates. **Journal of Water Sustainability**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.55-77, mar. 2012.

MARCH, J.G; GUAL, M; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). **Desalination**, [s.l.], v. 164, n. 3, p.241-247, abr. 2004. Elsevier BV.

MARINOSKI, Ana Kelly; GHISI, Enedir. Rainwater Harvesting for non-potable uses in educational institutions: A case study in Florianópolis-SC. **Ambiente Construído** 2008, 2, 67–84.

MARINOSKI, Ana Kelly; RUPP, Ricardo Forgiarini; GHISI, Enedir. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 206, p.28-39, jan. 2018. Elsevier BV.

MATOS, Cristina; BENTES, Isabel; SANTOS, Cristina M. Monteiro; PEREIRA, S. Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 29, n. 11, p.3971-3986, 6 jun. 2015. Springer Nature.

MENDEZ, Carolina B.; KLENZENDORF, J. Brandon; AFSHAR, Brigit R.; SIMMONS, Mark T.; BARRETT, Michael E.; KINNEY, Kerry A.; KIRISITS, Mary Jo. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, [s.l.], v. 45, n. 5, p.2049-2059, fev. 2011. Elsevier BV.

MORALES-PINZÓN, Tito; RIERADEVALL, Joan; GASOL, Carles M.; GABARELL, Xavier. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 87, p.613-626, jan. 2015. Elsevier BV.

MORILLAS, Héctor; MARCAIDA, Iker; MAGUREGUI, Maite. CARRERO, Jose Antonio; MADARIAGA, Juan Manuel. The influence of rainwater composition on the conservation state of cementitious building materials. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 542, p.716-727, jan. 2016. Elsevier BV.

MUTHUKUMARAN, Shobha; BASKARAN, Kanagaratnam; SEXTON, Nicole. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 55, n. 11, p.945-952, set. 2011. Elsevier BV.

NOUTSOPOULOS, C. ANDREADAKIS, A.; KOURIS, N.; CHARCHOUSI, P.; MENDRINO, A.; GALANI, A.; MANTZIARAS, I.; KOUMAKI, E. Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], p.1-10, jun. 2017. Elsevier BV.

OVIEDO-OCAÑA, Edgar Ricardo; DOMINGUEZ, Isabel; WARD, Sarah; RIVERA-SANCHEZ, MiryamLizeth; ZARAZA-PEÑA, Julian Mauricio. Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 20, p.19200-19216, 30 mar. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5>.

PELAK, Norman; PORPORATO, Amilcare. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 541, p.1340-1347, out. 2016. Elsevier BV.
PIDOU, Marc; AVERY, Lisa; STEPHENSON, Tom;
JEFFREY, Paul; PARSONS, Simon A.; LIU, Shuming;
MEMON, Fayyaz A.; JEFFERSON, Bruce. Chemical solutions

for greywater recycling. **Chemosphere**, [s.l.], v. 71, n. 1, p.147-155, mar. 2008. Elsevier BV.

POTSELUEV, A; NAZAROV, I V. Direction of rational use of water at livestock facilities. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 66, p.1-6, maio 2017. IOP Publishing.

PROENÇA, Lúcio Costa; GHISI, Enedir. Assessment of Potable Water Savings in Office Buildings Considering Embodied Energy. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.581-599, 16 nov. 2012. Springer Nature.

RAMPRASAD, C. SMITH, Chris Shirley. MEMON, Fayyaz A. PHILIP, Ligy. Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed *wetland*: *GROW*. **EcologicalEngineering**, [s.l.], v. 106, p.55-65, set. 2017. Elsevier BV.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E.
Caracterização e monitoramento do consumo predial de água. Brasília: (1998). Ministério do Planejamento e Orçamento/ Secretária de Política Urbana. 38p. (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA. DTA E1).

SAUMYA, S; AKANSHA, S.; RINALDO, J.; JAYASRI, M.A.; SUTHINDHIRAN, K. Construction and evaluation of prototype subsurface flow *wetland* planted with *Heliconiaangusta* for the treatment of synthetic greywater. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 91, p.235-240, mar. 2015. Elsevier BV.
SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Ministério das Cidades. 2015. Disponível em: www.snis.gov.br. Acesso em Outubro de 2017.

SOSTAR-TURK, S.; PETRINIC, I.; SIMONIC, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 44, n. 2, p.185-196, maio 2005. Elsevier BV.

SOUZA, Eduardo Leite; GHISI, Enedir. Potable Water Savings by Using Rainwater for Non-Potable Uses in Houses. **Water**, [s.l.], v. 4, n. 4, p.607-628, 29 ago. 2012. MDPI AG.

SOUZA, Camilla de; KALBUSCH, Andreza. Estimation of water consumption in multifamily residential buildings. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.161-168, 15 maio 2017. Universidade Estadual de Maringá.

STEC, Agnieszka. Rainwater harvesting and greywater recycling as alternative water resources: a survey of public opinion. **E3s Web Of Conferences**, [s.l.], v. 45, p.1-7, 2018. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20184500090>.

TEH, X.Y.; POH, P. E.; GOUWANDA, D.; CHONG, M. N. Decentralized light greywater treatment using aerobic digestion and hydrogen peroxide disinfection for non-potable reuse. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 99, p.305-311, jul. 2015. Elsevier BV.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo, Navegar, 2003, 180p. ISBN: 85-87678-23-x.

TSOUMACHIDOU, Sophia; VELEGRAKI, Theodora; ANTONIADIS, Apostolos; POULIOS, Ioannis. Greywater as a sustainable water source: A photocatalytic treatment technology under artificial and solar illumination. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 195, p.232-241, jun. 2017. Elsevier BV.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: USP, 2006. 643 p. (XIII). ISBN 8590082369. UMAPATHI, Shivanita; CHONG, Meng Nan; SHARMA, Ashok K. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 42, p.204-214, mar. 2013. Elsevier BV.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. Ed. Belo Horizonte: Editora

UFMG, 2014. 472 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

WU, Lin; GUO, Xun; BROWN, Jerry. Studies of recycled Water Irrigation and performance of landscape plants under urban landscape conditions. **Slosson Report**. p. 1-4. University of California, City of San Jose. 2000.

YOSHINO, Gabriel Hiromite; LINDEMBERG, Lima Fernandes; ISHIHARA, Júnior Hiroyuki; SILVA, Adnilson Igor Martins. Use of rainwater for non-potable purposes in the Amazon. **Environment, Development and Sustainability**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.431-442, 30 ago. 2013. Springer Nature.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T.; MATSUMOTO, Y.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, [s.l.], v. 1, n. 4, p.355-359, dez. 2000. Elsevier BV.

ZHANG, F.; POLYAKOV, M.; FOGARTY, J.; PANNELL, D. J. The capitalized value of rainwater tanks in the property market of Perth, Australia. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 522, p.317-325, mar. 2015. Elsevier BV.

ZIPF, Mariah Siebert; PINHEIRO, Ivone Gohr; CONEGERO, Mariana Garcia. Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 176, p.119-127, jul. 2016. Elsevier BV.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FOTOS DO SISTEMA COMBINADO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE ÁGUA CINZA

O Apêndice A mostra as fotos das seguintes partes do sistema combinado de aproveitamento de água pluvial e reúso de água cinza: dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas, motobomba de recalque, reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial, reservatório superior de água cinza, máquina de lavar roupas e reservatório de água cinza.

A Figura 16 mostra o dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas. A utilização desta peça visa à retenção de sólidos em suspensão presentes na água pluvial coletada da superfície de captação. A retenção de sólidos proporciona redução das concentrações de turbidez e cor aparente. Espera-se que, com esta medida, a água pluvial encontre-se em condições de aproveitamento quando comparada à legislação pertinente de potabilidade. Conforme mostra a Figura 16, a primeira precipitação pluviométrica é armazenada no dispositivo, proporcionando sedimentação dos sólidos presentes na água pluvial. Após certo tempo de precipitação, a água enche os reservatórios inferiores. O volume do dispositivo foi calculado para volume equivalente a 2,0 milímetros de precipitação pluviométrica.

Figura 16 - Dispositivo de descarte das primeiras precipitações pluviométricas.



Posteriormente à passagem pelo dispositivo descarte das primeiras precipitações, a água pluvial é armazenada em reservatórios inferiores. A Figura 17 mostra os reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial. São dois reservatórios com capacidade de armazenamento equivalente a 2000 litros cada, totalizando 4000 litros, de volume de armazenamento de água pluvial. O volume ideal de armazenamento foi calculado conforme método definido na seção 3.3.

Figura 17 - Reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial.



O sistema conta com duas boias de nível. Sempre que o reservatório superior encontra-se com nível de água abaixo de 90% de sua capacidade, 1000 litros, a boia de nível de água do reservatório inferior aciona a motobomba para o recalque de água. Visa-se, com esta medida, o aproveitamento do volume do reservatório superior para o armazenamento de água pluvial. A Figura 18 mostra a motobomba de recalque utilizada nesta pesquisa. A potência da motobomba de recalque é equivalente a $\frac{1}{2}$ CV. Percebe-se que a tubulação anterior à motobomba possui um registro. Neste caso, a função do registro é auxiliar os serviços de manutenção na motobomba de recalque quando necessários. Fez-se um abrigo para proteção da motobomba às intempéries.

Figura 18 - Motobomba de recalque da água pluvial.



Posteriormente ao recalque de água pluvial, ocorre o armazenamento em reservatório superior. A utilização deste, além de armazenar água pluvial, é escoar por gravidade até a máquina de lavar roupas para aproveitamento na higienização de roupas. A Figura 19 mostra o reservatório superior de água pluvial (reservatório elevado) e os reservatórios de armazenamento de água cinza (reservatórios à esquerda e à direita).

Figura 19 - Reservatório superior de água pluvial (centro) e reservatórios de armazenamento de água cinza (à esquerda e à direita).



As Figuras 20 e 21 mostram, respectivamente, a máquina de lavar roupas e as tubulações que chegam à torneira de enchimento da máquina de lavar roupas. É importante ressaltar que há as seguintes tubulações de chegada à torneira de enchimento: tubulação de água pluvial proveniente do reservatório superior e tubulação de água potável fornecida pela concessionária de abastecimento de água pluvial. Durante a maior parte do tempo o registro da tubulação de água pluvial ficou aberto. Porém, em períodos com baixos índices de precipitação de água pluvial, fechou-se o registro da tubulação de água pluvial e abriu-se o registro da tubulação de água potável para a higienização das roupas.

Figura 20 - Máquina de lavar roupas da edificação



Figura 21 - Registros e tubulações de água pluvial e de água potável.



A Figura 22 mostra em destaque o reservatório de água cinza. Este possui capacidade de armazenamento equivalente a 500 litros e recebe o efluente proveniente da máquina de lavar roupas. É importante ressaltar novamente que o reservatório de armazenamento de água cinza recebe água de lavagem e água de enxágue. A instalação de torneira rente à saída do reservatório visa à coleta da água em recipientes para o reúso nos vasos sanitários da edificação. Há uma tubulação de saída que chega a outro reservatório, de pequeno porte, em casos de extravasamento.

Figura 22 - Reservatório de armazenamento de água cinza



APÊNDICE B – ANÁLISE DE USOS FINAIS DA EDIFICAÇÃO

A Tabela 48 mostra os consumos de água potável no período de monitoramento dos usos finais por aparelho hidrossanitário da edificação.

Tabela 48 - Análise de usos finais de água potável por aparelho hidrossanitário da edificação.

Dia de medição	Parâmetros	Aparelhos hidrossanitários					
		Chuveiros	Vasos sanitários	Lavatórios	Pia	Máquina de lavar roupas	Demais usos
08/07/2017	Consumo (L)	60	78	32	72	330	22
	Percentagem (%)	10	13	5	12	56	4
09/07/2017	Consumo (L)	121	81	33	138	420	12
	Percentagem (%)	15	10	4	17	52	1
10/07/2017	Consumo (L)	91	56	21	48	60	3
	Percentagem (%)	33	20	7	17	22	1
11/07/2017	Consumo (L)	119	65	27	66	120	5
	Percentagem (%)	30	16	7	16	30	1
12/07/2017	Consumo (L)	129	31	23	24	75	6
	Percentagem (%)	45	11	8	8	26	2
13/07/2017	Consumo (L)	105	15	18	57	375	2
	Percentagem (%)	18	3	3	10	66	0
14/07/2017	Consumo (L)	83	41	28	36	300	2
	Percentagem (%)	17	8	6	7	61	0
15/07/2017	Consumo (L)	94	104	34	132	450	290
	Percentagem (%)	9	9	3	12	41	26
16/07/2017	Consumo (L)	136	59	32	54	0	5
	Percentagem (%)	48	21	11	19	0	2
17/07/2017	Consumo (L)	114	38	22	42	120	5
	Percentagem (%)	33	11	7	12	35	1
18/07/2017	Consumo (L)	85	65	25	42	150	10
	Percentagem (%)	22	17	7	11	40	3
19/07/2017	Consumo (L)	64	47	25	48	150	4
	Percentagem (%)	19	14	7	14	44	1
20/07/2017	Consumo (L)	103	41	24	60	150	4
	Percentagem (%)	27	11	6	16	39	1
21/07/2017	Consumo (L)	98	33	25	30	300	8
	Percentagem (%)	20	7	5	6	61	2

APÊNDICE C – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA VISANDO AO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA HIGIENIZAÇÃO DE ROUPAS

Esta seção mostra os resultados encontrados para os seguintes parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, coliformes termotolerantes, cloro residual livre, pH, sólidos dissolvidos totais e dureza. Visando garantir segurança aos usuários, os resultados encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela portaria 2914 do Ministério da Saúde, a qual aborda padrões de potabilidade visando ao consumo humano. É importante ressaltar que os parâmetros mostrados nesta seção foram analisados após passagem da água pluvial por dispositivo de descarte dos primeiros volumes de precipitação pluviométrica e realização de desinfecção da água pluvial. Ressalta-se também que a cloração ocorria após período chuvoso e aproximadamente a cada três dias. Por indicação do instalador eletricista, o disjuntor da motobomba permanecia desligado durante o período chuvoso. Posteriormente ao mesmo, clorava-se a água pluvial e, após tempo de contato de 30 minutos, ligava-se novamente o disjuntor, iniciando o recalque de água pluvial para o reservatório superior.

As Figuras 23 a 28 mostram, respectivamente, os resultados encontrados para os seguintes parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, cloro residual livre, pH, dureza, sólidos dissolvidos totais.

Figura 23 - Turbidez da água pluvial destinada à higienização de roupas.

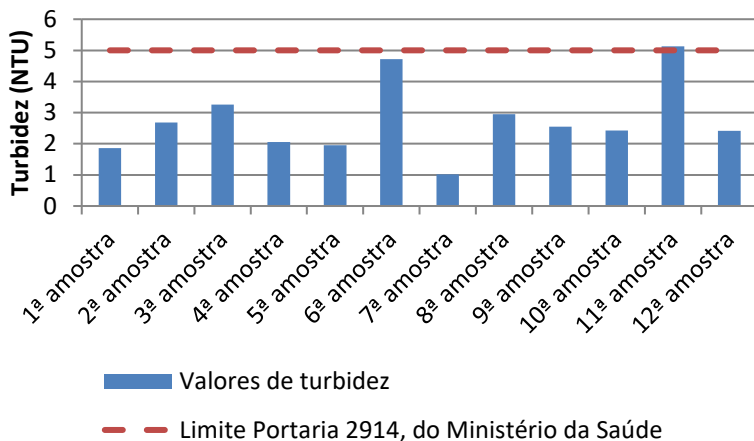


Figura 24 - Cor aparente da água pluvial destinada à higienização de roupas.

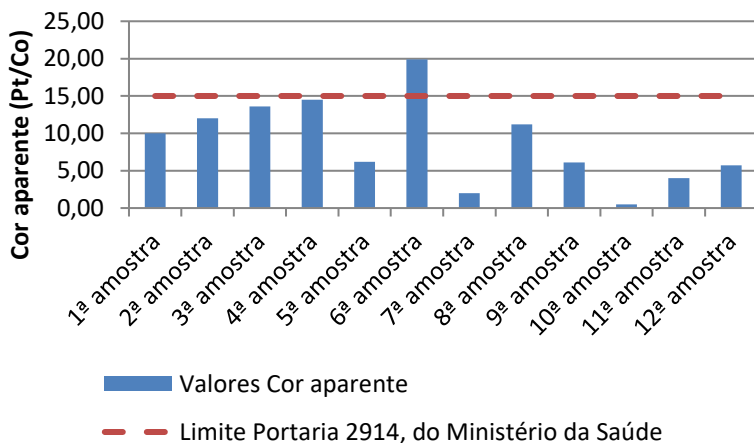


Figura 25 - Cloro residual livre presente na água pluvial destinada à higienização de roupas.

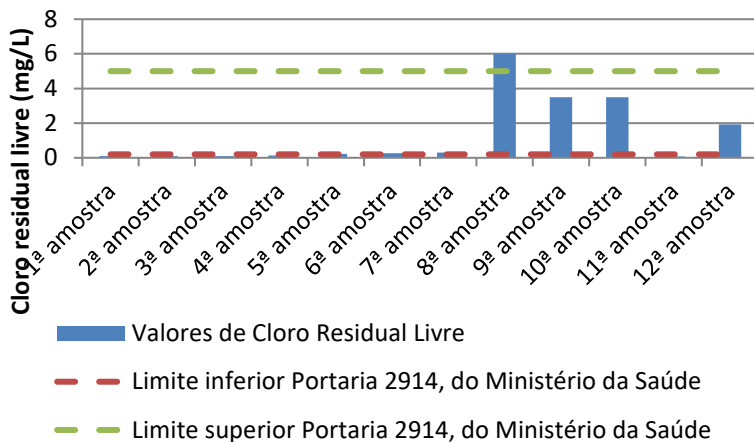


Figura 26 - pH da água pluvial destinada à higienização de roupas.

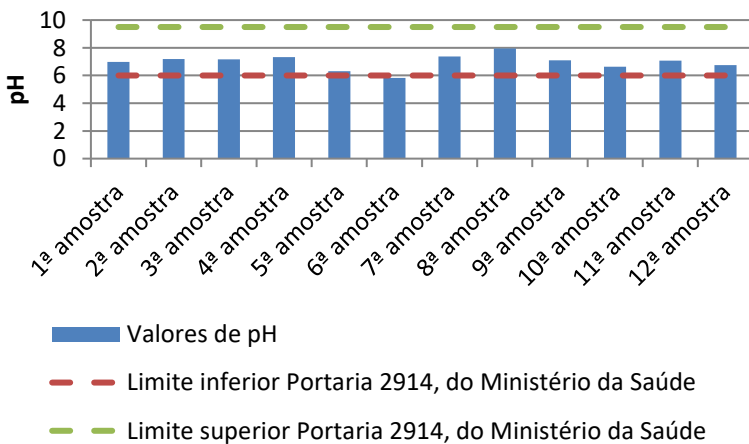


Figura 27 - Dureza da água pluvial destinada à higienização de roupas.

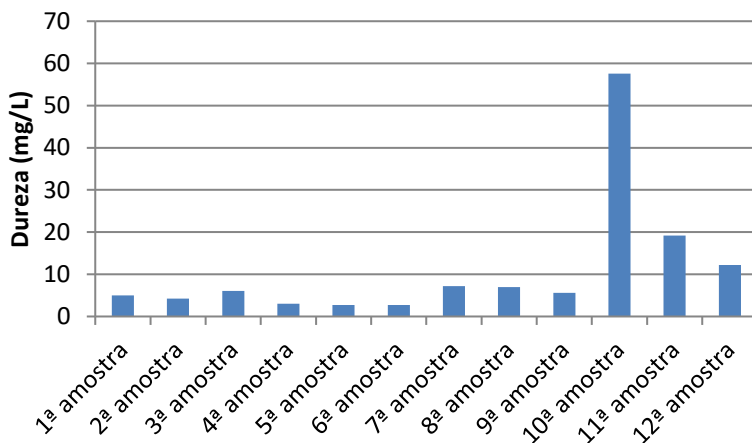
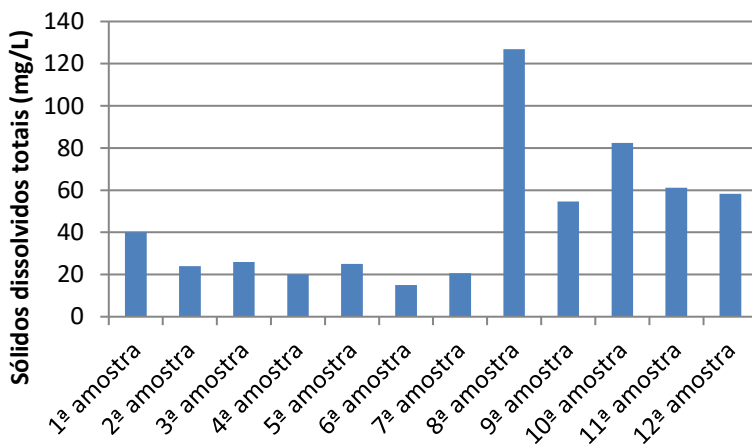


Figura 28 - Sólidos dissolvidos totais presentes na água pluvial destinada à higienização de roupas.



O parâmetro coliformes termotolerantes também foi analisado. Entretanto, é importante ressaltar que não foram encontradas unidades formadoras de colônias.

APÊNDICE D – PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA VISANDO AO REÚSO DE ÁGUA CINZA PARA DESCARGA DE VASOS SANITÁRIOS

Como mencionado, neste estudo, a água cinza proveniente da máquina de lavar roupas foi utilizada para a descarga de vasos sanitários. Esta seção mostra os resultados encontrados para os seguintes parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, pH, cloro residual livre e coliformes termotolerantes. Visando garantir segurança aos usuários, os resultados encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma 15527, de 24 de outubro de 2007. Ressalta-se novamente que, anteriormente às análises de qualidade de água, o armazenamento de água cinza foi realizado em reservatório inferior com volume equivalente a 500 litros.

As Figuras 29 a 32 mostram, respectivamente, os resultados encontrados para os seguintes parâmetros de qualidade da água: turbidez, cor aparente, pH e cloro residual livre.

Figura 29 - Turbidez da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.

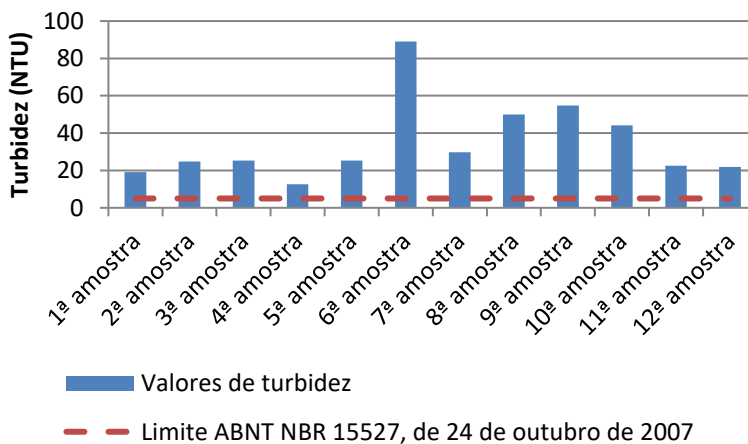


Figura 30 - Cor aparente da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.

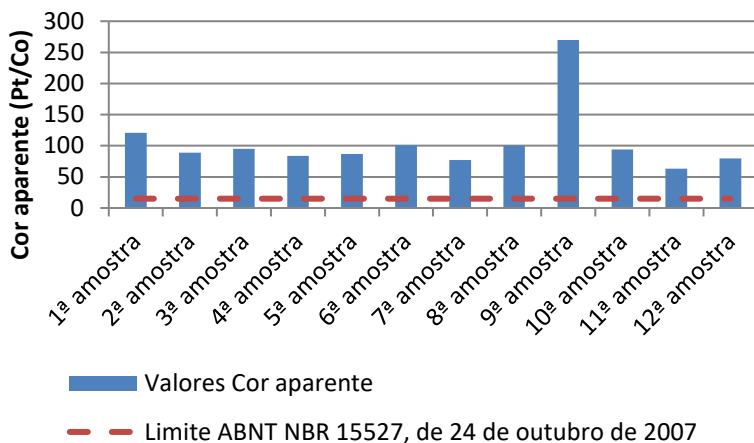


Figura 31 - pH da água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.

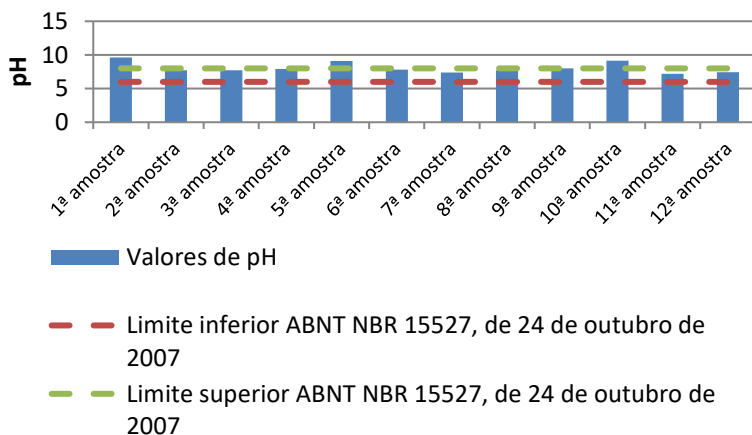
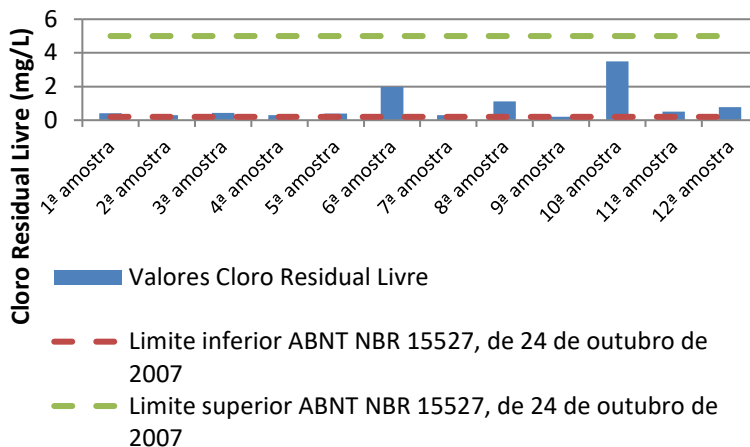


Figura 32 - Cloro residual livre presente na água cinza destinada à descarga de vasos sanitários.



É importante ressaltar que, embora foram realizadas análises para o parâmetro coliformes, não foram encontradas unidades formadoras de colônias.