

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Iury Pinheiro Freire Ximenes**

**Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento  
de Águas Pluviais e Reúso de  
Águas Cinza**

**Trabalho de Graduação  
2017**

**Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica**

**Iury Pinheiro Freire Ximenes**

**Otimização de Sistema Híbrido para  
Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de  
Águas Cinza**

Orientador

Ten Cel Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel (ITA)

**ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017

## Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

### Divisão de Informação e Documentação

Ximenes, Iury Pinheiro Freire

Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinza/ Iury Pinheiro Freire Ximenes.

São José dos Campos, 2017.

Número de folhas no formato 135f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2017. Orientador: Ten Cel Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel.

1. Otimização de custos. 2. Águas Pluviais. 3. Águas Cinza. 4. Sistema Híbrido. 5. Análise Comparativa. 6. Sustentabilidade. 7. Economicidade. I. Iury Pinheiro Freire Ximenes. II. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. III. Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinza

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

XIMENES, Iury Pinheiro Freire. **Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinza**. 2017. 135f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

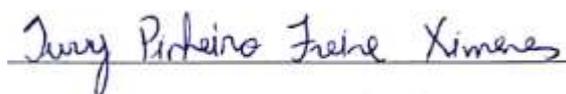
## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Iury Pinheiro Freire Ximenes

TÍTULO DO TRABALHO: Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinza

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2017

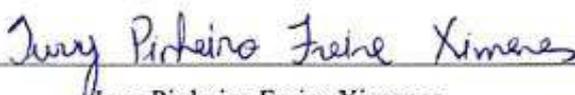
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Iury Pinheiro Freire Ximenes  
Rua H8A, 50, Apto 129, Campus do CTA  
12228-460, São José dos Campos - SP

# Otimização de Sistema Híbrido para Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinza

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



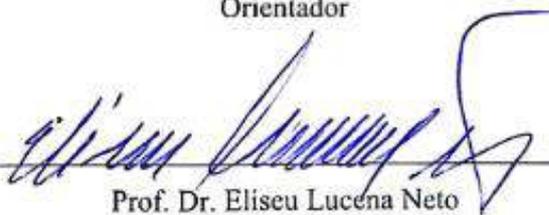
Iury Pinheiro Freire Ximenes

Autor



Ten Cel Eng Marcio Antônio da Silva Pimentel - Orientador/Supervisor (ITA)

Orientador



Prof. Dr. Elíseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 24 de Novembro de 2017

## Agradecimentos

Inicialmente gostaria de agradecer à minha família, sobretudo, aos meus pais e ao meu irmão, que sempre me apoiaram e possibilitaram que a minha trajetória fosse vitoriosa.

Gostaria também de agradecer a todos aqueles que contribuíram para a minha formação acadêmica, principalmente aos professores da época de colégio, já que sem os seus ensinamentos, eu nem teria sido aprovado.

Nessa idade, eu também conheci alguns dos meus melhores amigos, a maioria do colégio ou do meu prédio, sendo alguns deles de infância, e que sempre me apoiaram, incentivaram e consolaram nas situações mais decepcionantes. Eles foram responsáveis pelos papos mais importantes e por alguns dos melhores momentos que eu já vivi. Obrigado mesmo!

Além deles, gostaria de expressar o meu agradecimento aos professores do ITA que de alguma forma me fizeram crescer e que me ajudaram a alcançar esse objetivo.

Por fim, gostaria de agradecer aos amigos que fiz e que puderam tornar essa caminhada mais agradável, principalmente aos parceiros do 129, que sempre foram os mais prestativos e proporcionaram as melhores risadas, ao meu grupo IsHard, que esteve comigo durante milhares de horas nesses 3 anos de Prof, e aos demais companheiros de Engenharia Civil, que dividiram os momentos mais complicados e cansativos, sempre dando suporte e contribuindo para essa conquista.

"Quanto maior a dificuldade, tanto maior o mérito em superá-la".  
(Henry Ward Beecher)

## Resumo

Devido ao aumento da demanda por recursos hídricos, no Brasil e no mundo, é necessária a busca por fontes alternativas que permitam o consumo sustentável. Por outro lado, isso não seria viável caso os custos fossem exorbitantes.

Esse trabalho, portanto, se propõe a encontrar, pelo menos a nível doméstico, que representa uma das maiores demandas de recursos hídricos, uma solução que permita o consumo consciente e obedeça à legislação brasileira, com o menor custo possível, por meio de uma otimização teórica de sistema de uso conjunto, aqui chamado de híbrido, para o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza.

As ideias concebidas nesse relatório, mesmo que com uma amostra pequena, têm como objetivo encontrar soluções particulares para cada localidade de interesse, visto que as condições nos aspectos cultural, econômica, climático, social e político são muito diferentes.

Destaca-se que apesar de haver estudos incipientes sobre esse tema, esse trabalho trata de modo mais direto a formulação matemática e dá alternativas sólidas e baratas para projetos futuros.

Por fim, acredita-se que, apesar de estar longe de esgotar o tema, esse trabalho possa ajudar a difundir conhecimento técnico e mostrar que a realidade exige mudança de atitude por parte das pessoas para a preservação do planeta.

## Abstract

Due to the increasing demand for water resources, in Brazil and in the world, it is necessary to search for alternative sources that allow sustainable consumption. On the other hand, this would not be feasible if the costs were exorbitant.

This work, therefore, proposes to find, at least at the domestic level, that represents one of the greatest demands of water resources, a solution that allows conscious consumption and obeys the Brazilian legislation, with the lowest possible cost, through a theoretical optimization of combined use system, here called hybrid, for the utilization of rainwater and reuse of gray water.

The ideas conceived in this report, even with a small sample, aim to find particular solutions for each locality of interest, since the conditions in the cultural, economic, climatic, social and political aspects are very different.

It is worth noting that although there are incipient studies on this subject, this work deals more directly with the mathematical formulation and gives solid and cheap alternatives for future projects.

Finally, it is believed that, although it is far from exhausting the theme, this work can help to spread technical knowledge and show that reality demands a change of attitude on the part of the people for the preservation of the planet.

## Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição de água no mundo (ANA, 2012) .....	3
Figura 2: Variação do PIB e da população mundial em 40 anos (ONU, 2007) .....	4
Figura 3: Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005; ONU, 2003) .....	5
Figura 4: Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007) .....	6
Figura 5: Esquema de um sistema de gerenciamento de águas em uma edificação [6] ...	7
Figura 6: Fluxo circular de massa em um possível sistema sanitário sustentável (OTTERPOHL et al, 1997) .....	8
Figura 7: Dispositivo de descarte de primeira chuva (IPT, 2009).....	10
Figura 8: Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva [2].....	12
Figura 9: Sistema de aproveitamento de água pluvial [5] .....	14
Figura 10: Indicações para cálculos da área de contribuição (adaptado de [12]).....	15
Figura 11: Principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos (DIAS, 2001) .....	19
Figura 12: Principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos - Continuação (DIAS, 2001) .....	20
Figura 13: Esquema de lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio (WRIGHT & CAIRNS, 1998) .....	21
Figura 14: Desinfetantes primários potenciais para a produção de água potável (USEPA, 1999).....	22
Figura 15: Esquema para unidade de filtro de areia [13] .....	24
Figura 16: Esquema com filtro lento de areia [3].....	25
Figura 17: Reações de oxidação de substratos na ozonização da água [1].....	26
Figura 18: Máquina do processo de osmose reversa (IDEU TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2017) .....	26
Figura 19: Características de alguns dos principais processos e desinfetantes (Adaptada de METCALF & EDDY, 2003) .....	27
Figura 20: Distribuição de alguns compostos nas parcelas de águas cinza, urina e fezes, respectivamente (OTTERPOHL, 2001) .....	30

Figura 21: Sistema de reúso de água cinza [5] .....	32
Figura 22: Etapas componentes de uma estação tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999).....	34
Figura 23: Esquema de uma fossa séptica [9] .....	37
Figura 24: Fluxograma típico de um sistema de fossa séptica – filtro anaeróbio (VON SPERLING, 2005).....	38
Figura 25: Desenho esquemático de um reator UASB [9] .....	39
Figura 26: Planta de conjunto de valas de filtração típicas [10].....	40
Figura 27: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos, expressos em valores per capita [8].....	41
Figura 28: Planta geral dos pavimentos habitáveis .....	43
Figura 29: Planta de um apartamento típico .....	44
Figura 30: Planta geral do térreo .....	45
Figura 31: Planta detalhada do térreo .....	45
Figura 32: Planta dos jardins e da garagem.....	46
Figura 33: Planta da cobertura do edifício.....	47
Figura 34: Planta da área das caixas d'água.....	47
Figura 35: Planta da cobertura das caixas d'água.....	48
Figura 36: Esquema do Sistema Híbrido formado a partir dos subsistemas .....	50
Figura 37: Indicações para cálculos da área de contribuição para uma superfície inclinada [12].....	51
Figura 38: Planta da área de captação do telhado.....	52
Figura 39: Planta da área de telhado que cobre as caixas d'água.....	52
Figura 40: Alguns parâmetros para consumo doméstico interno de água [3] .....	54
Figura 41: Alguns parâmetros de uso externo de água [3] .....	55
Figura 42: Parâmetros geométricos das partes do filtro lento de areia [3] .....	62
Figura 43: Tempo de detenção hidráulica para filtro anaeróbio como pós-tratamento de reatores UASB (CHERNICHARO, 2001) .....	66
Figura 44: Corte transversal de uma vala de filtração típica [10] .....	68
Figura 45: Curvas de biodegradabilidade de águas cinza e de esgoto bruto [6] .....	70
Figura 46: Taxa de acumulação total de lodo K, em dias, para intervalo de 1 ano de limpeza e temperatura do mês mais frio [11] .....	71

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Grau de tratamento necessário [10] .....	33
Tabela 2: Parâmetros da cobertura .....	53
Tabela 3: Consumo de água não potável considerado para o edifício.....	57
Tabela 4: Dados de precipitação diários da série de 20 anos .....	58
Tabela 5: Produção de águas cinza das fontes consideradas para o edifício .....	59
Tabela 6: Parâmetros para volume descartado de chuva.....	60
Tabela 7: Parâmetros para o dimensionamento do dispositivo de First Flush.....	61
Tabela 8: Parâmetros para o dimensionamento do Filtro de Areia .....	63
Tabela 9: Parâmetros para o dimensionamento do reator UASB .....	66
Tabela 10: Parâmetros para o dimensionamento do Filtro Anaeróbio .....	67
Tabela 11: Parâmetros para o dimensionamento da Vala de Filtração.....	68
Tabela 12: Parâmetros para o dimensionamento da Bomba do subsistema de Reúso de Águas Cinza.....	69
Tabela 13: Parâmetros para o dimensionamento da produção de Lodo .....	72
Tabela 14: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método da Simulação .....	74
Tabela 15: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método de Azevedo Neto .....	75
Tabela 16: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método de Rippl .....	75
Tabela 17: Seleção do volume de cálculo do reservatório para o AAP e volume efetivamente tratado .....	76
Tabela 18: Parâmetros para o dimensionamento do reservatório de Reúso .....	76
Tabela 19: Parâmetros para o dimensionamento da Cisterna.....	77
Tabela 20: Parâmetros para o dimensionamento da Bomba do subsistema Comum .....	77
Tabela 21: Parâmetros para o dimensionamento do Reservatório Superior.....	78
Tabela 22: Parâmetros para o dimensionamento da Desinfecção .....	79
Tabela 23: Custos imediatos do subsistema de AAP .....	81
Tabela 24: Custos totais do subsistema de AAP .....	81
Tabela 25: Custos imediatos do subsistema de Reúso de Águas Cinza .....	83
Tabela 26: Custos contínuos do subsistema de Reúso de Águas Cinza .....	84

Tabela 27: Custos totais do subsistema de Reúso de Águas Cinza .....	84
Tabela 28: Custos imediatos do subsistema Comum .....	85
Tabela 29: Custos contínuos do subsistema Comum .....	87
Tabela 30: Custos totais do subsistema Comum .....	87
Tabela 31: Custos totais do Sistema Híbrido .....	87
Tabela 32: Custos totais do abastecimento pela concessionária.....	88
Tabela 33: Tempo de retorno do projeto pelo método do Payback.....	88
Tabela 34: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Manaus .....	92
Tabela 35: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Manaus ...	93
Tabela 36: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Manaus .....	94
Tabela 37: Payback para Manaus .....	94
Tabela 38: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Recife .....	95
Tabela 39: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Recife ....	97
Tabela 40: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Recife.....	98
Tabela 41: Payback para Recife .....	98
Tabela 42: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Brasília.....	99
Tabela 43: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Brasília .	101
Tabela 44: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Brasília.....	102
Tabela 45: Payback para Brasília .....	102
Tabela 46: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de São Paulo .....	103
Tabela 47: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de São Paulo .....	105
Tabela 48: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de São Paulo .....	106
Tabela 49: Payback para São Paulo .....	106
Tabela 50: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Porto Alegre .....	108

Tabela 51: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Porto Alegre .....	109
Tabela 52: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Porto Alegre.....	110
Tabela 53: Payback para Porto Alegre .....	110
Tabela 54: Ganho percentual da solução ótima em relação à concessionária no horizonte de projeto .....	110
Tabela 55: Resumo dos custos dos componentes do reator UASB e da Cisterna.....	111

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Objetivo e Motivação</b> .....	2
<b>3</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b> .....	2
3.1	Visão Geral .....	2
3.2	Águas Pluviais .....	8
3.2.1	Introdução .....	8
3.2.2	Qualidade da água .....	9
3.2.3	Componentes e modo de construção do sistema .....	11
3.2.4	Cálculo do reservatório de armazenamento .....	14
3.2.5	Tipos de tratamento mais utilizados .....	19
3.2.5.1	Radiação UV .....	20
3.2.5.2	Cloração .....	21
3.2.5.3	Filtros de areia .....	23
3.2.5.4	Ozonização .....	25
3.2.5.5	Osmose reversa .....	26
3.2.5.6	Combinação de métodos .....	27
3.3	Reúso de águas cinza .....	27
3.3.1	Introdução .....	27
3.3.2	Qualidade dos efluentes .....	29
3.3.3	Modo de construção do sistema e tratamentos considerados .....	30
3.3.3.1	Sistema fossa-filtro .....	36
3.3.3.2	Sistemas com reator UASB .....	38
3.3.3.3	Desinfecção .....	41
<b>4</b>	<b>Metodologia</b> .....	42
4.1	Visão geral .....	42
4.2	Arquitetura .....	42
4.2.1	Pavimentos .....	43
4.2.2	Térreo .....	45
4.2.3	Cobertura .....	47
4.3	Sistema escolhido .....	48
4.4	Preenchimento da planilha .....	50

4.4.1	Aproveitamento de Águas Pluviais .....	50
4.4.1.1	Cobertura .....	50
4.4.1.2	Consumo de água não potável.....	53
4.4.1.3	Dados de precipitação .....	57
4.4.2	Reúso de Águas Cinza .....	58
4.4.2.1	Consumo de água não potável.....	58
4.4.2.2	Produção de águas cinza.....	58
4.5	Dimensionamento dos componentes.....	60
4.5.1	Aproveitamento de Águas Pluviais .....	60
4.5.1.1	First Flush .....	60
4.5.1.2	Filtro de areia .....	61
4.5.2	Reúso de Águas Cinza .....	63
4.5.2.1	Reator UASB .....	64
4.5.2.2	Filtro anaeróbio .....	66
4.5.2.3	Vala de filtração .....	67
4.5.2.4	Bomba .....	69
4.5.2.5	Lodo .....	70
4.5.3	Sistema em comum.....	72
4.5.3.1	Reservatório de armazenamento.....	72
4.5.3.2	Bomba .....	77
4.5.3.3	Reservatório de distribuição .....	77
4.5.3.4	Desinfecção.....	78
4.6	Custos.....	79
4.6.1	Aproveitamento de Águas Pluviais .....	80
4.6.2	Reúso de Águas Cinza.....	81
4.6.3	Sistema em comum.....	85
4.6.4	Sistema híbrido completo .....	87
4.6.5	Comparação com o abastecimento público .....	87
4.7	Formulação de cálculo .....	88
5	<b>Resultados e Discussões</b> .....	89
5.1	Resultados .....	89
5.1.1	Manaus .....	91
5.1.1.1	Testes padronizados .....	92
5.1.1.2	Solução Ótima .....	92
5.1.1.3	Atendimento pela Concessionária .....	94
5.1.2	Recife.....	94

5.1.2.1	Testes padronizados .....	95
5.1.2.2	Solução Ótima .....	96
5.1.2.3	Atendimento pela Concessionária .....	98
5.1.3	Brasília.....	98
5.1.3.1	Testes padronizados .....	99
5.1.3.2	Solução Ótima .....	100
5.1.3.3	Atendimento pela Concessionária .....	102
5.1.4	São Paulo .....	102
5.1.4.1	Testes padronizados .....	103
5.1.4.2	Solução Ótima .....	104
5.1.4.3	Atendimento pela Concessionária .....	106
5.1.5	Porto Alegre.....	106
5.1.5.1	Testes padronizados .....	108
5.1.5.2	Solução Ótima .....	108
5.1.5.3	Atendimento pela Concessionária .....	110
5.1.6	Síntese dos resultados .....	110
5.2	Discussões .....	111
6	<b>Conclusão</b> .....	114
7	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	117

# 1 Introdução

O crescimento populacional e o conseqüente aumento da produção requerem uma quantidade imensa de recursos hídricos, que nem sempre podem ser obtidos com facilidade ou com preço adequado devido à má gestão governamental, mesmo no Brasil, que possui reservas significativas. Além disso, a sobrecarga dos efluentes do consumo industrial, urbano e agrícola, diversas vezes, poluem as fontes de captação da água, o que, sem o devido tratamento, interfere diretamente no efeito dominó de escassez desse bem precioso.

A seleção de fontes alternativas de abastecimento de água deve levar em consideração não somente os custos envolvidos na aquisição, mas também outros referentes à possível intermitência do fornecimento e à necessidade de se ter garantida a qualidade exigida a cada uso específico, resguardando a saúde pública de todos os usuários.

Consideram-se fontes alternativas de água aquelas que não estão sob concessão de órgãos públicos ou que não sofrem cobrança pelo uso ou, ainda, que fornecem água com composição diferente da água potável fornecida pelas concessionárias [5].

O reúso de águas cinza e o aproveitamento de águas pluviais são duas dessas fontes importantes para a melhor utilização da água nas atividades diárias em qualquer setor da economia. A utilização separada dessas alternativas já é algo recorrente hoje em dia, sendo essenciais para a redução do consumo de água potável em ações corriqueiras como lavagem de veículos e de pisos industriais, rega de jardim, resfriamento de torres industriais, em piscinas e descarga de vasos sanitários, dentre outros.

Porém, novos meios sempre devem ser testados em prol do consumo mais sustentável possível. Daí surge a ideia de se utilizar um sistema que sirva concomitantemente para o reúso de águas cinza e para o aproveitamento de águas pluviais.

## **2 Objetivo e Motivação**

Visando a uma metodologia para o uso mais eficaz das fontes hídricas como citado, esse trabalho de graduação tem como objetivo mostrar que se pode obter uma eficiência maior combinada com um custo menor em caso da construção de um Sistema Híbrido para Reúso de Águas Cinza e Aproveitamento de Águas Pluviais.

Essa nomenclatura, portanto, a partir deste ponto, se refere a um sistema que utiliza simultaneamente os dois tipos de fontes estudados nesse trabalho.

A metodologia a ser apresentada consiste em utilizar planilhas comparativas e calcular o melhor custo-benefício em diversas cidades do país, pretendendo observar que o compartilhamento da estrutura pode ser a melhor solução em determinadas situações, avaliando também sua viabilidade. O cálculo trata da otimização teórica desse sistema, visto que as águas cinza necessitam de um tratamento mais dispendioso, porém demandam um menor volume, sendo o inverso para o aproveitamento de águas pluviais.

A adequação desses sistemas, além de vantajosa, também é prevista por legislação como, por exemplo, a Lei Nº 13.186, que institui a Política de Educação para o Consumo Sustentável, com o objetivo de estimular a adoção de práticas de consumo e de técnicas de produção ecologicamente sustentáveis, e a Instrução Normativa Nº 01, Art.4, itens 6 e 7, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, que preza pela redução dos impactos ambientais assim como do consumo de energia e água.

## **3 Revisão Bibliográfica**

### **3.1 Visão Geral**

A água é um recurso renovável e que obedece ao ciclo hidrológico, circulando na Terra pela precipitação, pelo escoamento superficial, pelo escoamento subsuperficial e pela evaporação. A chuva que cai sobre os continentes é transpirada pela vegetação, uma parte percola para os aquíferos e outra parte esco superficialmente em rios que fluem para os oceanos, em um ciclo permanente cujo tempo médio é de 2500 anos (ADIN et al., 2001). Desta forma, o ciclo hidrológico é submetido a vários processos como evaporação, condensação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação,

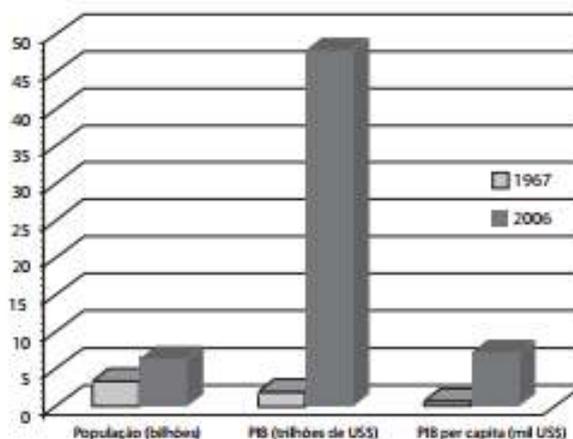
armazenamento e escoamento superficial. Isso implica em um fluxo permanente e um volume constante.

Porém, aumentam de maneira rápida as regiões e os países onde o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e o surgimento de enormes aglomerados urbanos exercem grande pressão sobre os recursos hídricos. Seja por questões naturais de má distribuição dos volumes ao longo do globo terrestre ou pela ausência de estruturas e sistemas de gestão eficientes, aliados a padrões culturais incompatíveis, milhões de pessoas ficam sem o adequado acesso à água e intensificam até conflitos pelo seu uso.



**Figura 1: Distribuição de água no mundo (ANA, 2012)**

Convém observar que crescimento populacional e crescimento econômico não têm ocorrido na mesma proporção. Enquanto a população cresceu em 40 anos, menos de duas vezes, de 3,4 para 6,5 bilhões, a atividade econômica mundial, medida pelo Produto Interno Bruto de todos os países, cresceu 24 vezes, de 2 para 48 trilhões de dólares (ONU, 2007).



**Figura 2: Variação do PIB e da população mundial em 40 anos (ONU, 2007)**

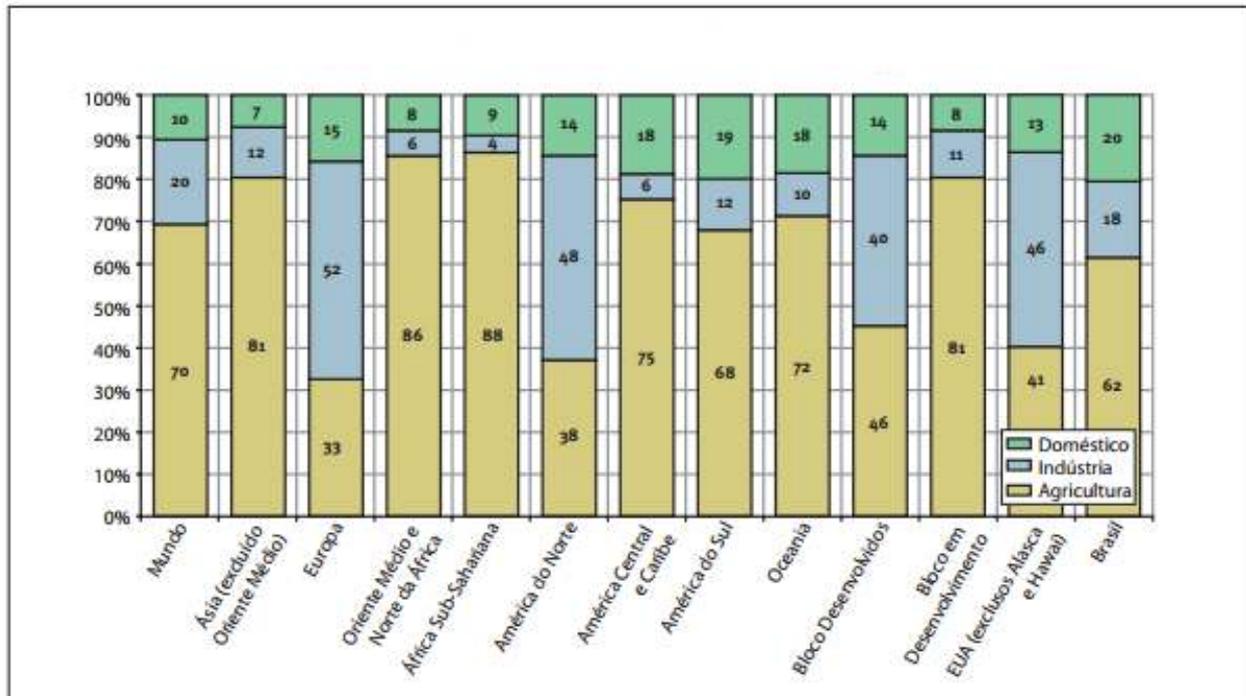
Considerando que existe uma forte relação entre PIB e consumo, assim como entre consumo e uso dos recursos naturais, não é difícil observar que o crescimento do impacto ambiental tem se devido muito mais ao crescimento econômico do que ao populacional.

Em linhas gerais, a maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, a qual é responsável pela utilização de aproximadamente 70% da mesma. O consumo doméstico está em segundo lugar com 23% e tem aumentado durante a última década numa média de 4% por ano (TERPSTRA, 1999). A indústria apresenta um consumo de água de cerca de 7% (IDEC, 2002).

No Brasil, da demanda total de água do país em 2003, 56% da água eram utilizados na agricultura (irrigação), 21% para fins urbanos, 12% para a indústria, 6% no consumo rural e 6% para a dessedentação de animais (ANA, 2003).

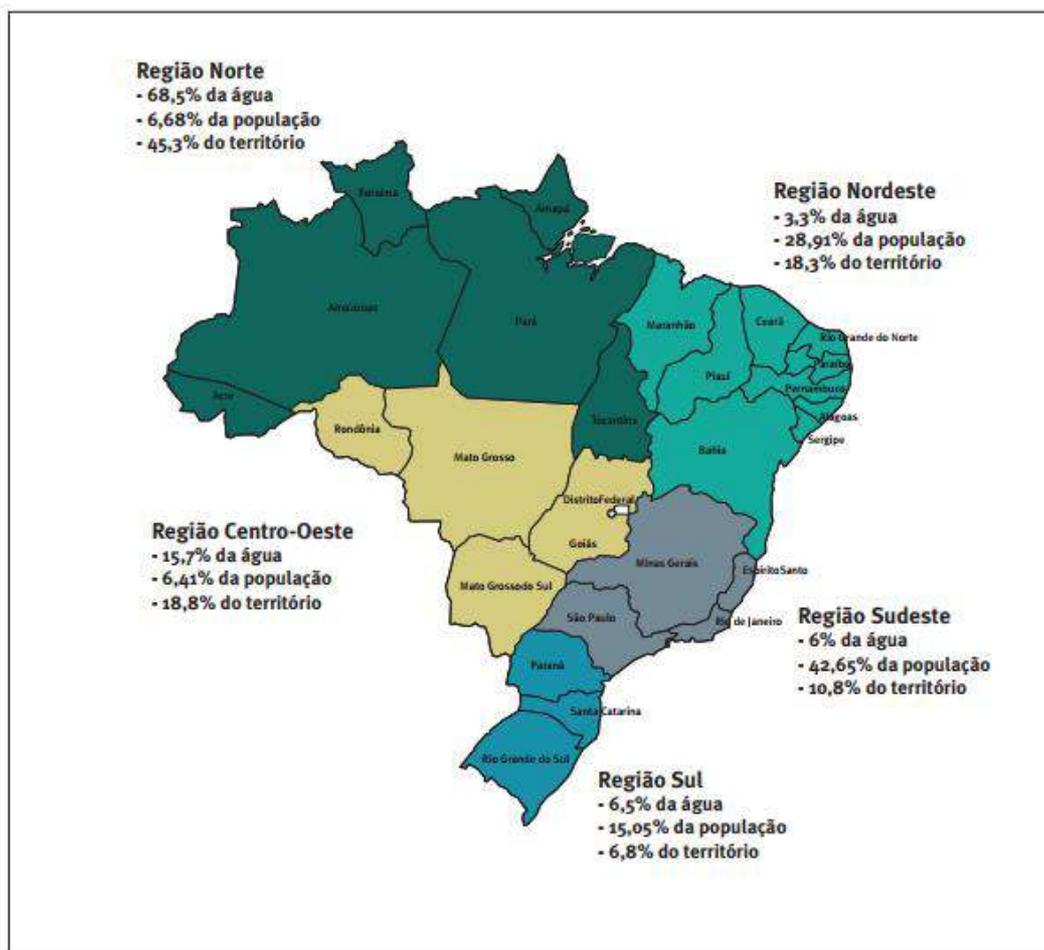
Isso só corrobora o impacto do consumo residencial e a importância de se tecer estudos direcionados a ele.

Mesmo em cidades mais desenvolvidas, os crescentes processos de industrialização, urbanização (residências, comércios e uso público) e de produção agrícola, sem a devida preservação, reduzem as quantidades disponíveis para a população. Evidentemente, que quanto maior é o grau de desenvolvimento de um país, mais recursos são usados na produção de itens de maior valor agregado e menos em commodities do setor agrícola.



**Figura 3: Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005; ONU, 2003)**

O Brasil, localizado em sua maior parte na Zona Intertropical, com domínio de climas quentes e úmidos, recebe chuva em aproximadamente 90% do seu território. O país possui uma grande abundância de águas superficiais, porém não equitativamente distribuídos pelo território. Quatro são as grandes bacias responsáveis por 85% da produção hídrica nacional: Amazônica, Tocantins-Araguaia, São Francisco e Paraná [7].



**Figura 4: Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007)**

Mesmo os problemas de abastecimento sendo, na maioria das vezes, temporários e restritos a algumas áreas, é possível perceber que eles decorrem da irregularidade das condições climáticas, do crescimento exagerado do consumo, sustentado, muitas vezes, por uma cultura de desperdícios pela noção de relativa abundância de água no Brasil, e da degradação ambiental, o que implica numa obtenção de água para o abastecimento público como uma tarefa cada vez mais cara e complexa do ponto de vista tecnológico, seja pela distância cada vez maior dos mananciais, seja em função da necessidade de tratamento mais complexo.

A metodologia a ser apresentada favorece o saneamento ecológico, que prevê a separação das diferentes formas de águas residuárias nas suas origens, com o objetivo de valorizá-las e permitir soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de energia em atividades de saneamento (OTTERPOHL, 2001). Além disso, essa ideologia prega que

haja linhas de suprimento de água diferentes para fins potáveis e para fins não potáveis. Como fontes alternativas de água para fins não potáveis prevê-se a utilização de água de chuva e o reúso de águas cinza, de maneira consorciada ou não (OTTERPOHL, 2001), além de outras não abordadas nesse relatório.

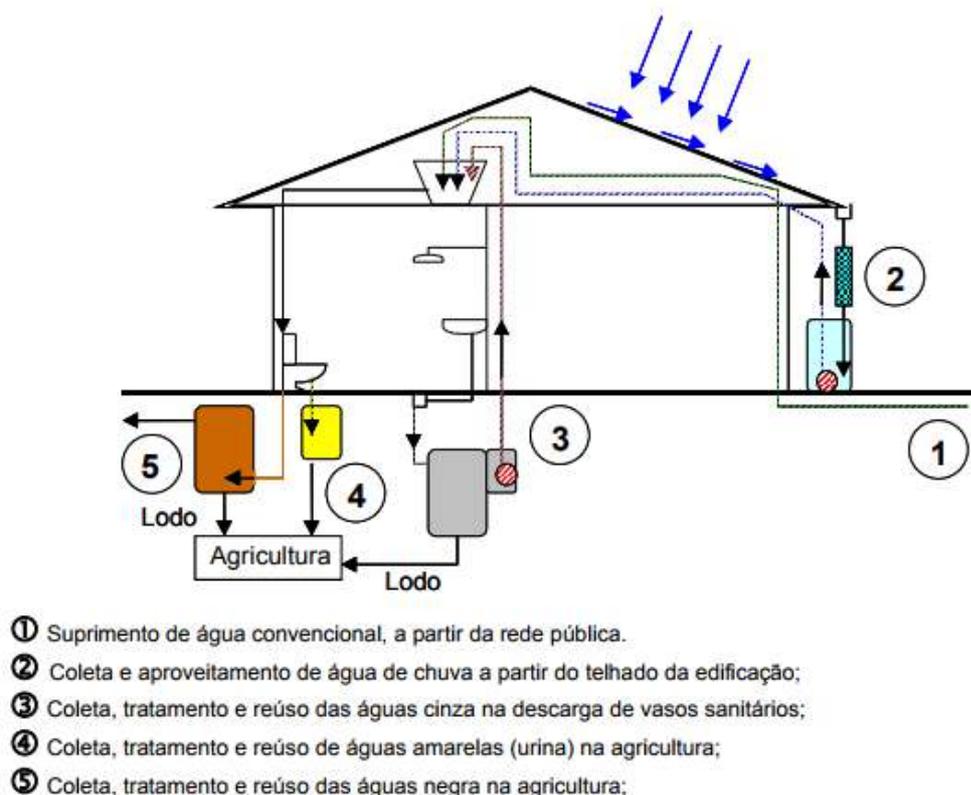


Figura 5: Esquema de um sistema de gerenciamento de águas em uma edificação [6]

Segundo Otterpohl (1997), os sistemas tradicionais de saneamento produzem um fluxo linear de materiais, causando acumulação e mistura do ciclo da água com o ciclo de alimentos. Esse sistema adota a premissa de que os nutrientes eliminados nas excretas humanas não têm valor significativo, e devem ser descartados (ESREY, 1998). Outra desvantagem desse sistema são os grandes volumes de água utilizados para o transporte dos resíduos nas redes coletoras. O sistema mistura quantidades comparativamente pequenas de substâncias potencialmente prejudiciais (0,08% a 0,1% de sólidos no esgoto doméstico, por exemplo), com grandes quantidades de água, aumentando a magnitude do problema. Se por um lado os problemas urgentes relacionados à higiene são solucionados, por outro, os impactos ambientais nos recursos hídricos utilizados para o suprimento de água potável são enormes (OTTERPOHL, 2002).

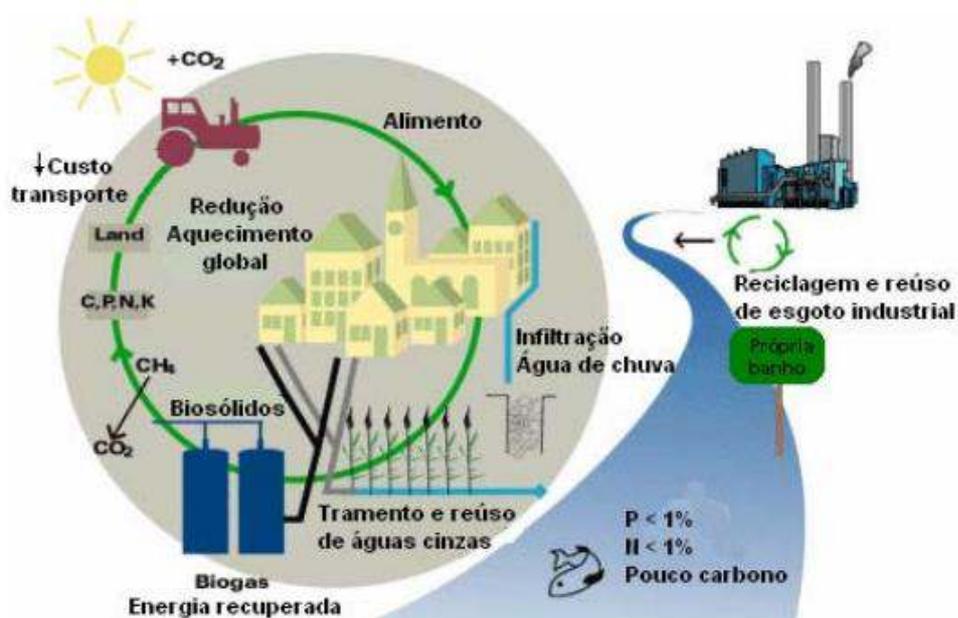


Figura 6: Fluxo circular de massa em um possível sistema sanitário sustentável (OTTERPOHL et al, 1997)

## 3.2 Águas Pluviais

### 3.2.1 Introdução

Um exemplo de fonte substitutiva para o consumo não potável é o aproveitamento de águas da chuva, que pode ser simples em termos de captação assim como ser de baixo custo, sobretudo em regiões com regime pluviométrico bem abundante e bem distribuído ao longo do ano. Para lançar mão dessa possibilidade, é necessário basicamente um sistema de captação que pode ser um telhado, uma laje ou um piso, sistema de transporte da água normalmente feito por calhas e condutores verticais e horizontais, da unidade de tratamento e desinfecção, além do reservatório de acumulação.

De maneira geral, aconselha-se o aproveitamento de águas pluviais sobretudo no caso de [3]:

- Disponibilidade hídrica  $< 1200 \text{ m}^3/\text{hab} \times \text{ano}$
- Tarifas de água elevadas
- Retorno de investimento rápido
- Existência de lei específica municipal ou estadual
- Locais onde a estiagem dura mais de 5 meses
- Locais onde o índice de aridez  $< 0,50$

Tomando-se somente o consumo em edifícios, têm-se três grandes virtudes do aproveitamento de águas pluviais: diminuição da demanda de água potável do sistema público de abastecimento, diminuição do pico de inundações - devido à redução do escoamento superficial - quando aplicada em larga escala, de forma planejada, em uma bacia hidrográfica e possibilidade de redução de despesas com água potável por parte do usuário do edifício (ALVES, 2008).

### 3.2.2 Qualidade da água

Quanto à qualidade das águas de chuva, há alteração desde o início da precipitação, no escoamento sobre a superfície de captação, no sistema de tratamento e no reservatório (ANNECHINI, 2005). Quando escoar sobre a superfície de captação, a água retém resíduos diversos, dentre eles pó, fragmentos de vegetação, materiais soltos na cobertura e diversos microrganismos provenientes de excrementos eliminados por animais que ficam acumulados na cobertura no intervalo entre duas chuvas. Esses fatores associados à incidência de raios solares, ao tipo de material usado nas coberturas, à localização geográfica (próximo ou distante do mar ou em regiões industriais), a estação do ano e o nível de poluição atmosférica, dentre outros, podem alterar os odores e os sabores das águas bem como causar problemas de saúde pela ingestão acidental, pela inalação por bioaerossóis, pela penetração na mucosa ou pele com lesão tecidual [2].

A presença de coliformes termotolerantes em análises é um indicativo de potencial presença de microrganismos causadores de doenças. Como em locais que sofrem com a escassez de água, essa fonte é usada como potável, é necessário um estudo minucioso para o seu tratamento, principalmente no que se refere à desinfecção para vírus e bactérias e à filtração em relação aos protozoários.

O método de desinfecção pode ser simples e barato, mas tem que garantir a total eliminação de microrganismos patogênicos e a adequabilidade da coleta, além de, em caso de uso para fins potáveis, haver supressão de microrganismos resistentes, tendo em vista sempre o parâmetro não biológico da turbidez.

Dois tipos de procedimentos de análise são indicados por [17]:

- **Análises semestrais**

- Coliformes totais: ausência em 100 ml

- Coliformes termotolerantes (fecaís): ausência em 100 ml

- **Análises mensais**

- Cloro residual livre: 0,5 mg/L a 3 mg/L
- Cor aparente: < 15 uH
- pH: entre 6,0 e 8,0
- Turbidez: < 2 uT ou < 5uT (usos menos restritivos)

Outro importante fator no tocante à qualidade da água é o first flush, que nada mais é do que a primeira parcela de chuva descartada com o objetivo de eliminar o material mais grosseiro ou partículas finas. Essa necessidade decorre do fato de que, após um período sem ocorrência de precipitações, o telhado ou cobertura terá recebido uma carga de substâncias e materiais diversos que ficam sobre eles depositados. Eles têm origem na poluição atmosférica, na presença de animais, em eventual vegetação, entre outras. Quando do evento da precipitação pluvial todo esse material será arrastado pelo escoamento das águas, ocorrendo uma lavagem natural, sendo que em determinadas circunstâncias, mesmo após longos períodos de chuva, a água escoada após o descarte poderá conter material particulado que passa pelo filtro de grosseiros. Nesses casos será necessário contar com um filtro de finos.

O volume a ser desprezado é variável com as condições locais, porém [17] estabelece os dois primeiros milímetros de chuva como adequado. O dispositivo mais comumente usado nessa tarefa é constituído de um reservatório com capacidade de recebimento desse primeiro volume, com uma esfera de menor densidade que a água e que, por ter maior diâmetro que a entrada, desvia o fluxo para o reservatório de aproveitamento.



**Figura 7: Dispositivo de descarte de primeira chuva (IPT, 2009)**

### 3.2.3 Componentes e modo de construção do sistema

Para dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água pluvial devem ser considerados, de um modo geral [5]:

- determinação da precipitação média local;
- determinação da área de coleta;
- determinação do coeficiente de escoamento superficial;
- vazão de água calculada;
- caracterização da qualidade da água pluvial;
- projeto do reservatório de descarte;
- projeto do reservatório de armazenamento, identificando os períodos admissíveis de seca;
- identificação dos usos da água (demanda e qualidade);
- estabelecimento do sistema de tratamento necessário;
- projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações etc.).

A área de coleta deve ser obtida no caso de telhados, que são normalmente inclinados em projeção horizontal, de acordo com [12].

O coeficiente de escoamento superficial, ou runoff, é determinado em função do material e do acabamento da área de coleta.

A caracterização da qualidade da água pluvial deve ser feita utilizando-se sistemas automáticos de amostragem, para posterior caracterização através dos parâmetros considerados relevantes em nível local. Ela deve ser feita após períodos variáveis de estiagem e tem como objetivo fornecer elementos para o cálculo do reservatório de descarte.

Algumas técnicas para a realização do descarte da água de limpeza do telhado (first flush) poderão ser utilizadas, entre as quais, tonéis, reservatórios de autolimpeza com torneira boia, dispositivos automáticos etc.

O reservatório de armazenamento destina-se à retenção das águas pluviais coletadas. Podem estar apoiados no solo, enterrados, semi-enterrados ou elevados; ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado, alvenaria, fibra de vidro, aço, polietileno, entre outros [14]. Os volumes são aferidos considerando-se o regime de precipitação local e as características de consumo específico de cada edificação.

Geralmente, o reservatório de armazenamento é o componente mais caro do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais, devendo, por isso, ser dimensionado criteriosamente para tornar viável a implantação do sistema.

O sistema de tratamento das águas pluviais está relacionado à qualidade da água coletada e ao fim que se destina. De maneira geral, levando-se em conta os usos mais comuns em edifícios (irrigação de áreas verdes, torres de arrefecimento de sistemas de ar condicionado, lavagens de pisos, descarga em banheiros etc.) são empregados sistemas de tratamento com unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com luz ultravioleta. Ocasionalmente podem ser utilizados sistemas que propiciem níveis de qualidade mais elevados, empregando-se unidades de coagulação e floculação com produtos químicos, sedimentação acelerada e filtração em camada dupla, ou, ainda, sistemas de oxidação avançada ou processos de membrana [5].

Os sistemas complementares são compostos de condutores horizontais (calhas) e verticais que conduzem as águas pluviais reunidas até os reservatórios de armazenamento, após passagem pelos reservatórios de descarte. Podem também ser utilizados grades ou filtros retentores de galhos, folhas ou quaisquer materiais graúdos, que são colocados juntos às calhas ou nas tubulações verticais. Estão classificados nos sistemas complementares os sistemas de distribuição de águas pluviais tratadas, após as unidades de tratamento. Esses sistemas incluem as unidades de recalque, as respectivas linhas de distribuição de água tratada e eventuais reservatórios de distribuição [5].

SUBSISTEMAS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA				
Captação	Condução	Tratamento	Armazenamento	Distribuição
Telhados	Calhas	Filtros de material grosseiro	Reservatórios ou cisternas <sup>1</sup>	Tubulações, conexões e peças de utilização
Lajes	Caixas de amortecimento	Filtros de material fino		
Toldos	Tubos de queda, conexões e condutores horizontais	Dispositivos de descarte de primeira chuva		
Pátios específicos	Caixas de desvio e inspeção	Equipamento de desinfecção		

**Figura 8: Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva [2]**

Os sistemas de obtenção e aproveitamento de águas pluviais necessitam de cuidados gerais e características de construção que facilitem a segurança do abastecimento, a supervisão da qualidade da água armazenada e níveis operacionais aceitáveis e econômicos. Entre estes podem ser destacados [5]:

- impedir a entrada de luz do sol no reservatório para reduzir a proliferação de microrganismos e algas;
- conservar a tampa de inspeção fechada;
- por grade ou tela na extremidade de saída do tubo extravasor para evitar a entrada de pequenos animais;
- realizar uma limpeza por ano no reservatório, retirando os depósitos de resíduos;
- projetar o reservatório de armazenamento com declividade no fundo no sentido da tubulação de drenagem, para simplificar a limpeza e remoção de sedimentos;
- assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não potáveis (em situações não críticas);
- prever conexão, sem possibilidade de contaminação, de água potável com o reservatório de armazenamento, assegurando a demanda diária por razão de secas prolongadas;
- prever dispositivo no fundo do reservatório de armazenamento para evitar agitação, evitando a uma nova suspensão do material sedimentado;
- pintar de cor diferenciada as linhas de coleta e de condução de águas pluviais. Conexões e sistemas de roscas também devem divergir para evitar a chance de ocorrência de conexão cruzada com o sistema de fornecimento de água potável. As torneiras externas deverão ser manuseadas com sistemas de chaves destacáveis para impossibilitar consumo como água potável;
- deverão ser colocados sinais indicativos perto das torneiras de acesso geral, com a inscrição “Água não potável”, por exemplo;
- a qualidade da água distribuída deverá ser sujeita a um processo de monitoramento programado.

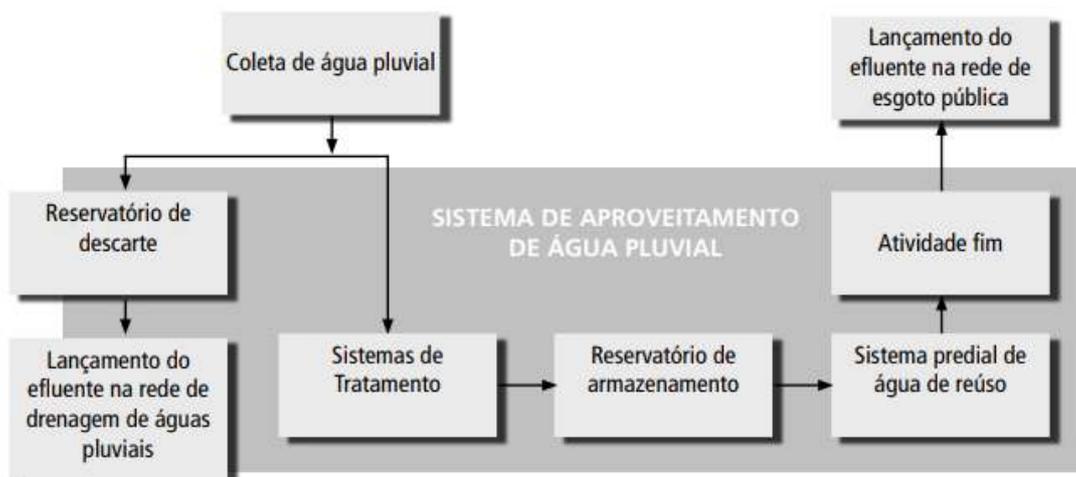


Figura 9: Sistema de aproveitamento de água pluvial [5]

### 3.2.4 Cálculo do reservatório de armazenamento

Para o cálculo do volume de armazenamento necessário, é preciso saber o consumo estimado de cada setor, como, por exemplo, para o consumo residencial, os gastos de aparelhos sanitários como chuveiros, lavatórios, banheiras, dentre outros.

Há diversas maneiras de dimensionar um reservatório para esse fim. Dentre elas, [17] destaca os métodos práticos de Azevedo Neto, australiano, inglês e alemão (limite inferior), o método de Rippl (limite superior) e o método da Simulação, que levam sempre em consideração a necessidade e possibilidade ou não de suprimento por parte de concessionárias locais, caminhões tanques ou poços tubulares profundos.

Inicialmente, temos que avaliar qual a quantidade aproveitável, que pode ser obtido pela seguinte fórmula [3]:

$$V = \left( \frac{P}{1000} \right) \times A \times C \times n$$

Em que:

- V é o volume aproveitável (m<sup>3</sup>)
- A é a área de projeção do telhado (m<sup>2</sup>)
- P é a precipitação (mm)
- C é o coeficiente de escoamento do telhado, geralmente estimado em 0,95
- n é o fator de captação, estimado em 0,85

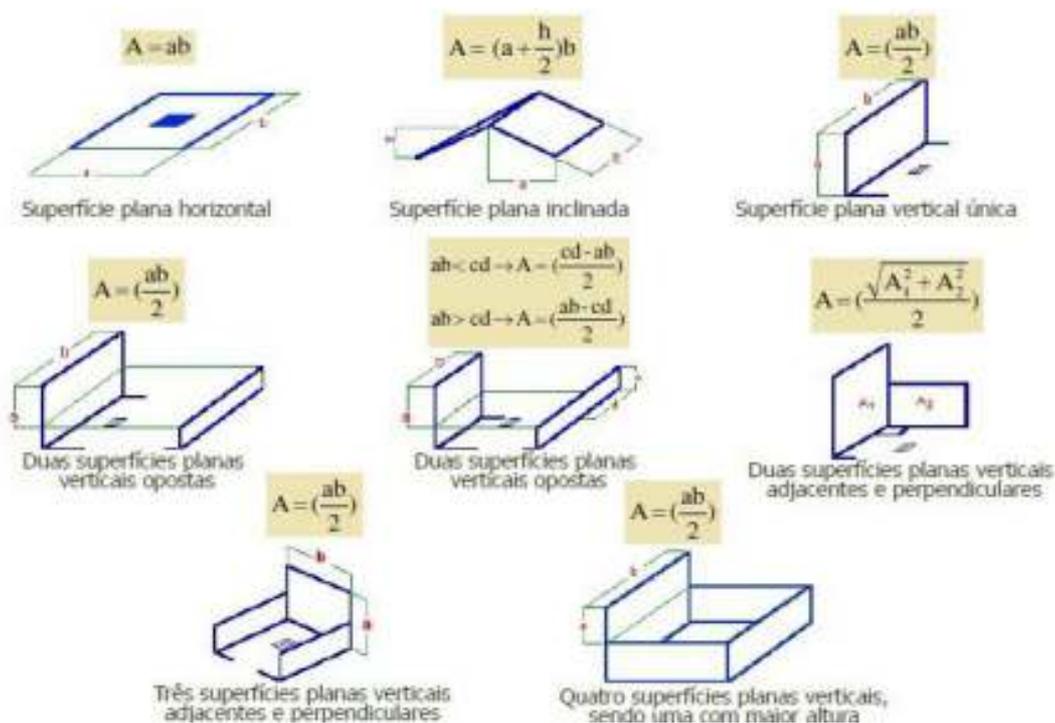


Figura 10: Indicações para cálculos da área de contribuição (adaptado de [12])

Após o cálculo do consumo de água não potável, é necessário comparar esse consumo com o máximo obtido pelo aproveitamento de águas pluviais e notar se é imprescindível ou não o suprimento citado.

Os métodos práticos basicamente colocam um fator de segurança para determinar o volume mínimo a se construir, portanto, é menos conservador [3].

O método de Rippl, também conhecido como diagrama de massas, foi adaptado para o aproveitamento de águas pluviais e tem como vantagens a simplicidade e a utilização da sazonalidade implícita na série histórica. É um método de cálculo de volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Em contrapartida, ele pode levar a um superdimensionamento [3], há admissão sumária de volume total completo no início da operação e não associa risco a volume definido (MCMAHON, 1993).

Esse método consiste basicamente em contabilizar o volume de chuva mensal de janeiro a dezembro, ou diária, e comparar com a demanda. A partir do momento em que o volume obtido é menor que a demanda, esse valor é adicionado na capacidade total teórica do reservatório. O valor máximo acumulado ao longo do tempo entre a diferença da demanda e da oferta é o valor adequado de volume do reservatório. Utilizando-se as precipitações mensais, é aconselhável um nível de confiabilidade estatística entre 75% e

95% (toleráveis a extremamente confiável). O ideal é o uso de séries diárias de 10 a 20 anos [3].

Em termos matemáticos, tem-se:

$$V_t = Soma (Q_t - V_{i,t})$$

Onde,  $V_t$ : volume de armazenamento no tempo t

$Q_t$ : demanda de água no tempo t

$V_{i,t}$ : volume de chuva que entra no sistema no tempo t

O último método usualmente utilizado é o método da análise de simulação, que se baseia num volume arbitrário e verifica-se o excedente (overflow) ou a necessidade de suprimento por parte do serviço público ou caminhão pipa, por exemplo. Utiliza-se uma fórmula recursiva considerando tanto o volume do reservatório como a demanda e o volume de chuva instantâneo.

$$S_t = Q_t + S_{t-1} - D_t$$

Em que:

- S é o volume do reservatório ( $0 \leq S \leq V$ )
- Q é o volume de chuva no tempo
- D é a demanda do tempo

Esses valores podem ser inseridos em uma planilha com a seguinte organização:

- Coluna 1: meses ou dias
- Coluna 2: chuva média (mm)
- Coluna 3: consumo
- Coluna 4: área de captação da chuva (m<sup>2</sup>)
- Coluna 5: volume de água aproveitável (vide anteriormente)
- Coluna 6: volume fixo determinado
- Coluna 7: volume do reservatório no início (tempo “t-1” na fórmula, inicialmente nulo)
- Coluna 8: volume do reservatório no final (tempo “t” na fórmula)
- Coluna 9: volume de água descartada
- Coluna 10: volume de água de reposição

Depois disso, basta estabelecer algumas relações como mostrado na fórmula abaixo:

$$C8 = Min(C6; C5 + C7 - C3)$$

$$C7 = \text{Max}(0; C8)$$

O nível de confiança, representado pela proporção de meses ou dias em que houve o atendimento das necessidades pelo aproveitamento das águas pluviais, deve ser, se possível, de 90 a 99%. Outro teste bastante relevante é o de confiabilidade volumétrica que é a razão entre o volume aproveitado pela demanda total. Esse valor também deve estar entre 90 e 99% [3].

$$CV = \frac{V_{\text{aproveitado de água de chuva}}}{V_{\text{demanda total}}}$$

Para a determinação do custo de implantação desse reservatório, uma aproximação eficiente e empírica é a seguinte [3]:

$$C = 336 \times V^{0,85}$$

Em que:

- C é o custo (em US\$)
- V é o volume (em m<sup>3</sup>)

Um parâmetro comparativo importante decorrente dessa fórmula é o custo por m<sup>3</sup>, que deve estar entre 100 a 200 US\$/m<sup>3</sup>.

Pode ser feito também um estudo de custos unitários de cada componente do sistema, já que esse processo acaba levando em consideração as condições locais e, portanto, é mais específico.

Visto isso, há de se avaliar o sistema e isso ocorre preferencialmente de três jeitos: *payback*, relação custo/benefício e a análise da vida útil do sistema, segundo [4].

O *payback* é um pré-estudo, ele serve para aceitar ou rejeitar um projeto. Ele é fácil de usar e mede o tempo em que o investimento inicial será repostos. Um *payback* ideal não deve ultrapassar 7 anos. Para esse cálculo basta contabilizar o quanto seria gasto com o volume de água aproveitável se aplicada a tarifa vigente e ver quanto esse valor é menor que o custo do investimento de implantação do sistema.

$$\text{Payback} = \frac{V_a \times \text{Tarifa}}{C_{\text{sistema}}}$$

Já o método do custo/benefício leva em conta o custo anual pela amortização que o pagamento do capital mais as taxas de juros, dado por:

$$A_{\text{anual}} = \text{Cap} \times \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Em que:

- n é o número de anos

- $i$  é a taxa de juros real anual
- $Cap$  é o capital

Após isso, tem que se adicionar os outros custos associados e basta calcular o custo/benefício em si. Um resultado bom esperado é acima de 1.

$$\frac{Benefício}{Custo} = \frac{V_a \times Tarifa}{Custo_{total}}$$

O método da análise de vida útil leva em consideração um período de estudo de interesse e exige no mínimo duas alternativas mutuamente exclusivas, com um mínimo de performance admitida. Nesse caso é necessário contabilizar o valor presente simples (SPV) e uniforme (UPV) dos insumos. O primeiro se refere ao valor pago em um tempo futuro a algo que é um investimento pontual como, por exemplo, troca de bombas, em que temos:

$$SPV = \frac{F_t}{(1 + d)^t}$$

Em que:

- SPV é o valor presente simples
- $F_t$  é valor pago no tempo “t”
- $d$  é a taxa de juros anuais em fração
- $t$  é o tempo em anos

A taxa de juros anual é dada por:

$$d = \frac{1 + D}{1 + I} - 1$$

Em que:

- $D$  é taxa de juros nominal anual
- $I$  é a taxa de inflação em fração anual

Já o valor presente uniforme é usado para itens pagos em uma série de valores iguais durante certo número de anos e é determinado por:

$$UPV = A_o \times \frac{(1 + d)^n - 1}{d \times (1 + d)^n}$$

Em que:

- $A_o$  é aplicação anual constante

Tendo esses dados, resta calcular o UPV da aquisição da água pela concessionária, ou qualquer outra alternativa, e comparar com o custo total do aproveitamento de águas pluviais corrigido no tempo, vendo qual é o mais proveitoso. Esses artifícios econômicos podem se estender para outras fontes alternativas, obviamente.

### 3.2.5 Tipos de tratamento mais utilizados

Os microrganismos presentes em águas naturais são, em sua maioria, inofensivos à saúde humana, porém a sua contaminação por esgoto sanitário, por exemplo, pode gerar um ambiente propício para vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Isso implica na escolha primária dos coliformes totais e fecais como indicadores comuns de patógenos, apesar de apresentar limitações de análise. Com isso, várias pesquisas foram feitas para se determinar indicadores bons para cada tipo de microrganismo.

Organismo indicador	Indicador de contaminação	Bom indicador	Não indicado	Determinação
<b>Bactérias coliformes</b>	Contaminação de origem fecal e não fecal.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Várias técnicas de fermentação podem ser utilizadas, apresentando resultados em 24 horas.
<b>Bactérias do grupo coliformes fecais</b>	Contaminação de origem fecal são bons indicadores para águas balneárias.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Várias técnicas de fermentação podem ser utilizadas, apresentando resultados em 24 horas.
<b><i>Klebsiella</i></b>	Contaminação de origem fecal e não fecal é o principal componente da população de coliformes na vegetação e em resíduos de indústrias de papel, têxtil e outros.	O recrescimento de coliformes em sistemas de distribuição de água.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Rápidas quantificações podem ser atingidas utilizando filtração por membranas.

Figura 11: Principais microrganismos propostos como indicadores de patógenos (DIAS, 2001)

Organismo indicador	Indicador de contaminação	Bom indicador	Não indicado	Determinação
<i>E. coli</i>	Poluições recentes de origem exclusivamente fecal.	Bactérias entéricas de origem humana, vírus e microrganismos menos resistentes.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	O método do Collilert, simples e rápido, oferece resultados em 24 horas.
Colifagos	Poluição de origem fecal. É bastante utilizado na avaliação da qualidade da água.	Vírus	Helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.	Fornecer resultados após um tempo mínimo de 4 a 6 horas. O número de colifagos é obtido pela contagem de placas de lise utilizadas por amostra, expresso por (UFP/100 mL).
<i>Clostridium perfringens</i>	Ótimo indicador de contaminação fecal onde foi utilizada a desinfecção, ou onde há poluição remota.	Protozoários	Helmintos e todos os microrganismos mais resistentes.	Utiliza a técnica dos tubos múltiplos na determinação do número mais provável (NMP) de <i>Clostridium perfringens</i> .

Figura 12: Principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos - Continuação (DIAS, 2001)

Quanto às formas de combate, pode-se citar o processo por radiação UV, com o uso de cloro, com filtro de areia, a ozonização e osmose reversa. Elas se referem tanto para o caso do tratamento de águas pluviais como para o tratamento complementar de esgotos.

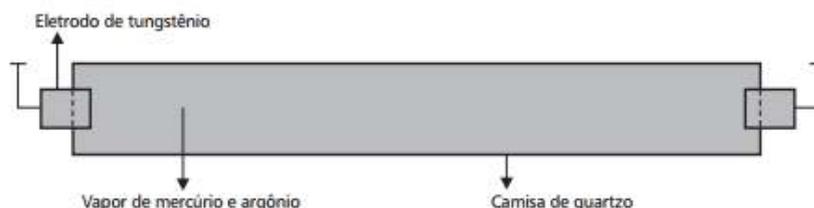
### 3.2.5.1 Radiação UV

Os raios ultravioletas tem comprimento de onda que varia de 100 nm a 400 nm, tendo a maior correspondência germicida por volta do comprimento de 254 nm, sendo considerada ótima a faixa de 245 a 285 nm. Eles surgiram como método alternativo à cloração e atuam nos ácidos nucleicos de bactérias e vírus, promovendo reações fotoquímicas, impedindo a sua reprodução ou mesmo rompendo as membranas [1]. As vantagens principais são a não alteração da cor e do sabor da água, a inativação rápida das bactérias (tempo de contato de 0,5 a 5 s), o sistema compacto, a facilidade de usar e a dispensa de produtos químicos auxiliares [4] [1].

A dose necessária de UV também parece ter efeitos uniformes nos vários tipos de indicadores de qualidade da água, se diferenciando do cloro nesse aspecto. No entanto, precisa de eletricidade, o que o torna eventualmente caro, não tem efeito

residual como desinfetante, a água já deve estar parcialmente limpa e sem cor, a concentração máxima aceitável de sólidos suspensos é de 20 mg/l para se ter efetividade, caso contrário há a necessidade de aplicação de maiores dosagens, e microrganismos podem ser reativados por foto-reação, tornando o parâmetro de dosagem uma variável muito importante nas unidades de desinfecção [4].

A radiação ultravioleta utilizada para a inativação de microrganismos é obtida por lâmpadas de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão e com diversos valores de potência. Quando se irradia moléculas de água com luz ultravioleta de comprimento de onda menor que 190 nm ocorre o rompimento de ligações acarretando em formação de radicais hidrogênio e hidroxila, potentes agentes redutores e oxidantes, respectivamente. É importante ressaltar que como esse tipo de energia é eletromagnética, a sua eficiência não é limitada por diversas variáveis como pH, temperatura e alcalinidade, sendo ainda mais eficiente, como dito, em águas com cor e turbidez de baixo valor [1].



**Figura 13: Esquema de lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio (WRIGHT & CAIRNS, 1998)**

### 3.2.5.2 Cloração

Outro desinfetante poderoso é o cloro, que é essencial em bacias sanitárias devido ao risco de contato e contaminação e é o mais comum quando se trata de desinfetante primário. Na água, o cloro provoca a hidrólise, formando o ácido hipocloroso ( $HOCl$ ) [1]. As duas formas mais comercializadas desse reagente são o hipoclorito de sódio ( $NaClO$ ) líquido, hipoclorito de cálcio ( $Ca(ClO)_2$ ) sólido ou em forma de cloro ( $Cl_2$ ) gasoso ou líquido.

O cloro gasoso seria indicado para as instalações de maior porte e os hipocloritos, para as estações menores. A principal razão do uso do cloro gasoso nas estações de porte médio e grande, em detrimento dos hipocloritos, é que estes apresentam baixo teor de pureza, elevada capacidade corrosiva e maiores cuidados de transporte e manuseio, resultando ainda em custos mais elevados para o caso de instalações de maior porte.

Os dosadores usados para esse fim podem ser de vazão fixa ou variável, sendo comum o dosador com pastilhas. Apesar de ser barato, o cloro tem como crítica principal, além de deixar gosto e cheiro e não ser eficiente contra todos os patógenos, a formação de subprodutos como ácidos húmicos e fúlvicos na forma de trihalometanos (THM), além de outros compostos orgânicos e inorgânicos, mesmo que inserido em pequenas quantidades [4].

Organismos-alvo	Com tratamento convencional	Sem tratamento
Grupo coliformes	Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro Ozônio UV Desinfecção interativa	Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro Desinfecção interativa
Cistos de <i>Giardia</i>	Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro Desinfecção interativa	Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro Desinfecção interativa
Vírus	Cloro e hipocloritos Cloraminas Dióxido de cloro UV Ozônio Desinfecção interativa	Cloro e hipocloritos Dióxido de cloro UV Desinfecção interativa
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	Dióxido de cloro Ozônio Desinfecção interativa	Dióxido de cloro Desinfecção interativa

Figura 14: Desinfetantes primários potenciais para a produção de água potável (USEPA, 1999)

O mecanismo de inativação por parte do cloro para as bactérias é o ataque às funções respiratórias e aos ácidos nucleicos, impedindo o transporte pela parede celular ou a síntese de proteínas. No caso de vírus, parece ser o desarranjo dos ácidos nucleicos. É preferível, pelo maior efeito germicida do ácido hipocloroso em relação ao íon hipoclorito, que as reações ocorram em pH mais ácido [1].

Além dessas formas mais comuns, outros dois tipos de compostos podem ser utilizados, como é o caso das cloroaminas ( $NH_2Cl$ ) e o dióxido de cloro ( $ClO_2$ ).

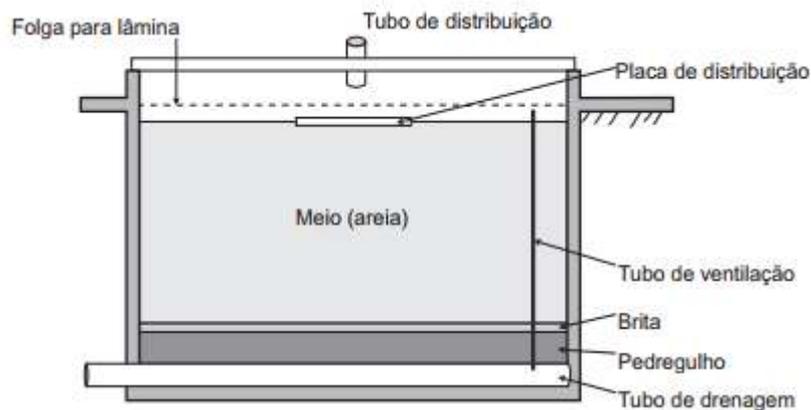
As primeiras são um pouco menos eficientes contra vírus em relação ao cloro gasoso, mas competem com os hipocloritos em eficácia de desinfecção. Mantém o efeito residual, reduzindo a formação de trihalometanos [1].

O segundo composto, que se caracteriza pelo alto poder de desinfecção, é considerado como de eficiência biocida maior que o cloro livre ou a monocloramina. Devido ao custo muito alto e de ser de difícil operação, são mais usados como pré-oxidantes e como controle de metais e sulfetos, por exemplo. Além disso, podem melhorar os processos de clarificação da água, é fácil de ser produzido, suas propriedades biocidas não são afetadas pelo pH e torna-se ainda mais interessante por reduzir os riscos de formação de compostos organoclorados. Como desvantagens mais associadas aos resultados obtidos, é bom se destacar a natureza explosiva do agente químico, a sua sensibilidade à luz solar, podendo ser decomposto, e a produção de odores repugnantes em alguns sistemas. Outro inconveniente é que o dióxido de cloro existe como um gás dissolvido na fase líquida, devendo ser gerado localmente na estação de tratamento a partir do clorito de sódio, do clorato de sódio ou do ácido clorídrico, não podendo ser armazenado [1].

### **3.2.5.3 Filtros de areia**

Já os filtros de areia são basicamente tanques preenchidos de areia e outros meios filtrantes, como pedra britada, com fundo drenante e com fluxo de fluidos, onde ocorre a remoção de poluentes. Podem ser necessárias, dependendo do uso, já que permite um fluxo intermitente, duas unidades de filtro para eventual limpeza de um dos dois, além de substituições periódicas com o decréscimo da eficácia [10].

Eles têm baixo custo e projeto simples, além de não requerer a utilização de outros compostos químicos. Por outro lado, necessita de afluentes com relativos baixos índices de turbidez (<30 uT) e sólidos suspensos, para evitar danificação, o que diminui um pouco a sua aplicabilidade. Pode ainda não remover cor com tanta eficiência, o que impede a obtenção de um aspecto visivelmente límpido da água [13].



**Figura 15: Esquema para unidade de filtro de areia [13]**

Os filtros de areia são regulados pela taxa nominal de absorção, a granulometria e uniformidade da areia e promovem redução da turbidez e dos coliformes termotolerantes e fecais quase na sua totalidade. Alguns índices comuns de eficiência são [3]:

- Escherichia coli em torno de 99,9%
- Cor aparente aproximadamente de 45%
- Turbidez  $< 2uT$
- Coliformes totais de 99% a 99.9%

Os filtros requerem alguns cuidados com o direcionamento da água após o first flush, para evitar contaminações, assim como deve haver cobertura para impedir proliferação de algas.

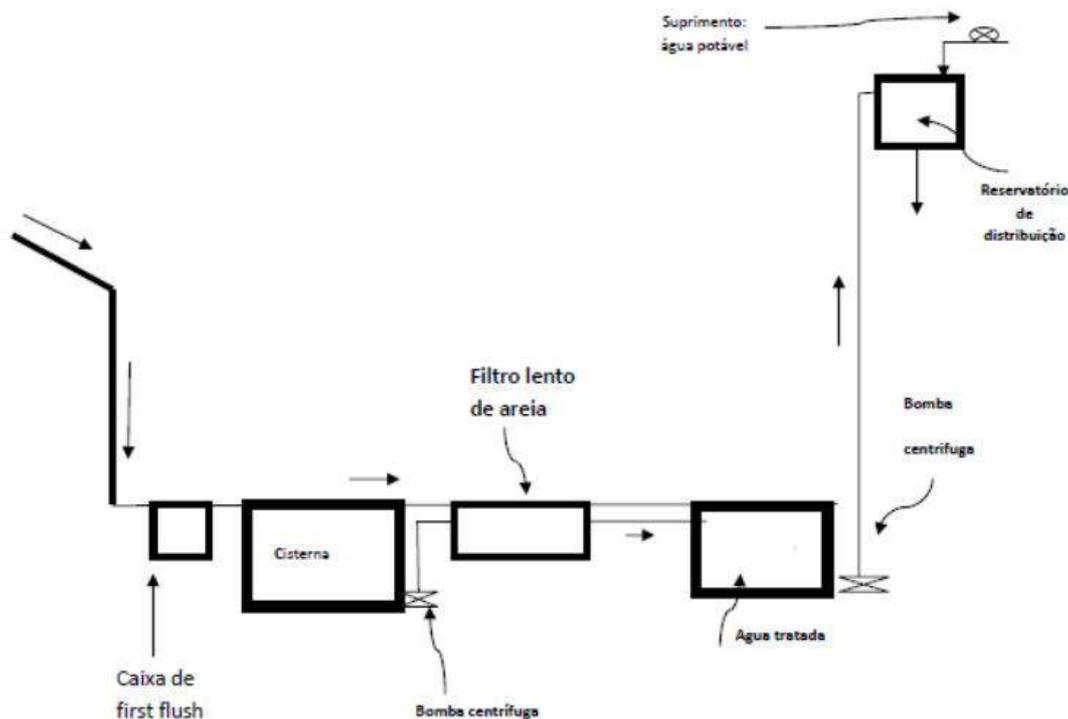


Figura 16: Esquema com filtro lento de areia [3]

#### 3.2.5.4 Ozonização

O ozônio também é utilizado como desinfetante, sendo um potente oxidante, capaz de oxidar compostos orgânicos e inorgânicos. Ele decompõe-se espontaneamente na água em mecanismos complexos que envolvem a formação de radicais e são muito reativos. Podem ocorrer dois tipos de reação do ozônio, a partir da oxidação direta pelo ozônio molecular, que predominam em condições ácidas, ou pela oxidação dos compostos pelos radicais hidroxila produzidos durante a decomposição do ozônio, que predominam em condições básicas. A adição de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) pode maximizar a quantidade de reações paralelas e aumentar a concentração de radicais hidroxila [1].

O ozônio age nos constituintes da membrana citoplasmática, nos sistemas enzimáticos e nos ácidos nucleicos dos microrganismos em geral. Nos vírus, o ozônio ataca tanto as proteínas da célula como os ácidos nucleicos [13].

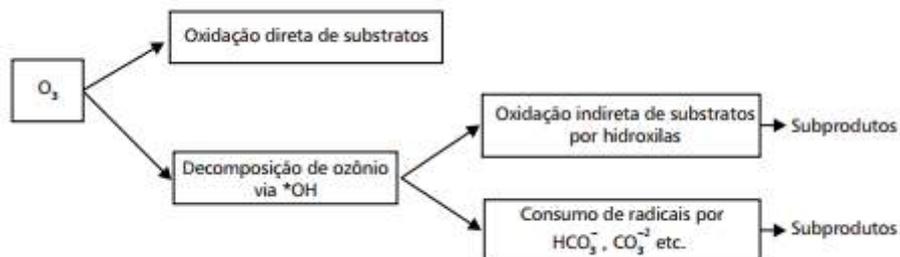


Figura 17: Reações de oxidação de substratos na ozonização da água [1]

A alcalinidade, o pH, a temperatura e a turbidez interferem na eficiência das reações. Bicarbonatos e carbonatos competem pelo radical hidroxila em altas alcalinidades e, com pH alto, a competição pelo radical hidroxila é provocada apenas pelo carbonato [1].

Os processos envolvendo ozônio têm como vantagens a não formação de trihalometanos, a necessidade de pequenas concentrações para se atingir o objetivo final, a ausência de sabor e odor e poder prescindir de outros produtos químicos. Porém, além de caro e da necessidade de eletricidade, tem de se tomar alguns cuidados como evitar a presença de brometos, para os quais as reações podem produzir compostos cancerígenos, e analisar a presença de certos microrganismos mais resistentes como o E.Coli e o Hepatitis A. Há ainda a necessidade de um esgoto de baixíssima concentração de matéria orgânica, visando a reduzir a demanda de ozônio [4] [13].

### 3.2.5.5 Osmose reversa

Por fim, a osmose reversa é um processo usado até em indústrias que é dispendioso e que precisa de supervisão permanente para evitar entupimentos, mas tem uma boa eficiência na remoção da maioria dos contaminantes [4].



Figura 18: Máquina do processo de osmose reversa (IDEU TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2017)

### 3.2.5.6 Combinação de métodos

A combinação interativa é outra saída para se dirimir falhas dos métodos aplicados individualmente e aproveitar o efeito sinérgico de dois ou mais desinfetantes, que podem falhar, por exemplo, para protozoários ou organismos resistentes [1]. Inclusive, a combinação de agentes químicos e físicos é um método eficiente e passível de mais pesquisas futuras.

A seguir, seguem as principais variáveis para alguns métodos descritos.

Características	Cloro gasoso	Hipocloritos	Dióxido de cloro	Radiação ultravioleta	Ozônio
Custo de implantação	Menor	Médio	Médio	Elevado	Elevado
Custo de operação	Menor	Médio	Médio	Elevado	Elevado
Eficiência de desinfecção	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
Aplicabilidade a ETEs	Médias a grandes	Pequenas a médias	Pequenas a médias	Pequenas a grandes	Médias a grandes
Geração de subprodutos	Organoclorados possível	Organoclorados possível	Menor	Não	Não
Pureza do desinfetante	Elevada	Baixa	Boa, gerado <i>in loco</i>	-	-
Toxicidade aos microrganismos	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
Toxicidade à vida aquática	Elevada	Elevada	Elevada	Não	Elevada
Grau mínimo de tratamento	Primário	Primário	Primário	Secundário	Secundário
Corrosividade	Elevada	Elevada	Elevada	Não	Elevada
Riscos operacionais	Elevados	Elevados	Elevados	Não	Moderados

Figura 19: Características de alguns dos principais processos e desinfetantes (Adaptada de METCALF & EDDY, 2003)

## 3.3 Reúso de águas cinza

### 3.3.1 Introdução

Apesar da utilização de esgotos sanitários como fonte alternativa ser uma prática mais que centenária, é também um conceito moderno, uma vez que ganha cada vez mais reconhecimento como uma importante estratégia para o desenvolvimento sustentável. Os exemplos em todo o mundo vão desde sistemas rigidamente controlados por diretrizes governamentais, com altos níveis de planejamento e respaldados em políticas de gestão de recursos hídricos, até as iniciativas espontâneas de pequenos agricultores

inserindo sérios riscos à saúde pública. Por isso, é necessária a consolidação de bases técnicas e científicas para o reúso controlado.

Como foi explanado, a escassez de água leva a uma busca urgente por alternativas de fontes. Algo explorado hoje em dia, mas que ainda tem muito espaço para crescimento, tanto tecnologicamente como nos âmbitos cultural e econômico, é a utilização de estações de tratamento de águas cinza.

Água cinza para reúso residencial é definida nesse trabalho como o efluente doméstico que não possui contribuição da bacia sanitária e pia de cozinha (devido ao alto teor de gorduras e óleos), ou seja, os efluentes gerados pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas.

Diferentemente da água de chuva, cuja oferta depende de fatores climáticos, a produção de águas cinza é proporcional ao consumo de água nas residências. Em outras palavras, enquanto houver pessoas utilizando as instalações hidrossanitárias de uma edificação, haverá produção de águas cinza, podendo, porém, haver defasagem e necessidade de reservatório [14].

O reúso de águas cinza tratadas em escala residencial pode contribuir como uma medida conservacionista, reduzindo o consumo de água potável e ainda acrescentando uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos, aumentando a segurança alimentar e melhorando as questões de saúde pública, pois é um efluente que deixa de ser um contaminante de solos e corpos d'água. Em muitos casos, em especial quando se trata de edificações com vários andares, esta prática é mais viável economicamente do que o aproveitamento de águas pluviais [2].

Os principais critérios que direcionam um programa de reúso de água cinza são [5]:

- preservação da saúde dos usuários;
- preservação do meio ambiente;
- atendimento às exigências relacionadas às atividades a que se destina;
- quantidade suficiente ao uso a que será submetida

Assim como no caso de utilização das águas pluviais, o reúso de águas cinza estimula o uso racional, além de permitir maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

### 3.3.2 Qualidade dos efluentes

Os esgotos sanitários brutos podem conter os mais diversos organismos patogênicos e em concentrações elevadas. Portanto, não restam dúvidas sobre a possibilidade de transmissão de vetores em qualquer modo de reúso da água, pondo em risco diferentes grupos populacionais.

Os parâmetros físicos mais relevantes para esses efluentes são: temperatura (microrganismos), cor, turbidez e o conteúdo de sólidos suspensos (ambos indicando partículas e coloides). Já os químicos são os compostos orgânicos (DBO e DQO), os compostos nitrogenados e fosforados (nutrientes), os composto de enxofre (odor), o pH e as medidas de alcalinidade e dureza (entupimento de tubulações).

As águas cinza têm características parecidas ao esgoto sanitário comum, com a exceção de nutrientes como nitrogênio e fósforo (desconsiderando as pias) que são escassos, pois provêm, em sua maioria, das fezes e da urina. Há também menores densidades de microrganismos, devido à menor contaminação fecal nos pontos de geração. A composição das águas cinza dependerá das origens escolhidas, da proporção de mistura entre as fontes utilizadas e da forma com que a água é usada em cada local. Tem influência clara de características regionais e preceitos culturais dos usuários como: a localidade e ocupação da residência, a faixa etária dos usuários, o estilo de vida, a classe social, o uso de produtos de limpeza, remédios, cosméticos e o horário de uso da água [2].

Os contaminantes químicos mais relevantes nas águas cinza são derivados de produtos utilizados na lavagem de banheiros e roupas. A compreensão das fontes de contaminação é crucial na identificação da heterogeneidade das características das águas cinza. Os produtos químicos mais utilizados são os surfactantes (agentes ativos de superfície), já que eles são amplamente utilizados para higienização [2].

As águas cinza frequentemente contêm organismos patogênicos, dentre eles, bactérias, vírus e parasitas, em concentrações menores do que em esgotos domésticos convencionais, mas altas o suficiente para causar danos à saúde (JAMRAH, 2007). Os microrganismos patogênicos nas águas cinza são derivados das atividades como tomar banho e lavar as mãos. Durante a estocagem e condução da água cinza, pode haver proliferação de microrganismos, inclusive bactérias patogênicas. Isso pode gerar também novos compostos orgânicos e inorgânicos, produzidos, em parte, pela

degradação química das águas cinza, causando maus odores. Isso realça a necessidade de sistemas de desinfecção e estocagem eficientes (ERIKSSON, 2002).

A qualidade da água cinza captada, como mostrado, é bastante divergente, mas, de maneira geral, pode-se afirmar que apresenta turbidez, cor e sólidos suspensos em quantidades relevantes e que pode ser comparada a um esgoto com pouca presença de matéria orgânica. Quando a principal fonte de águas cinza é o chuveiro e a pia (quando considerada), os óleos e gorduras podem estar em concentração elevada o suficiente a ponto de serem o parâmetro crítico de controle do sistema de tratamento. Por outro lado é importante se considerar a presença de compostos de enxofre nas águas cinza, originados, sobretudo de sabões e detergentes, pois podem gerar odores desagradáveis [2].

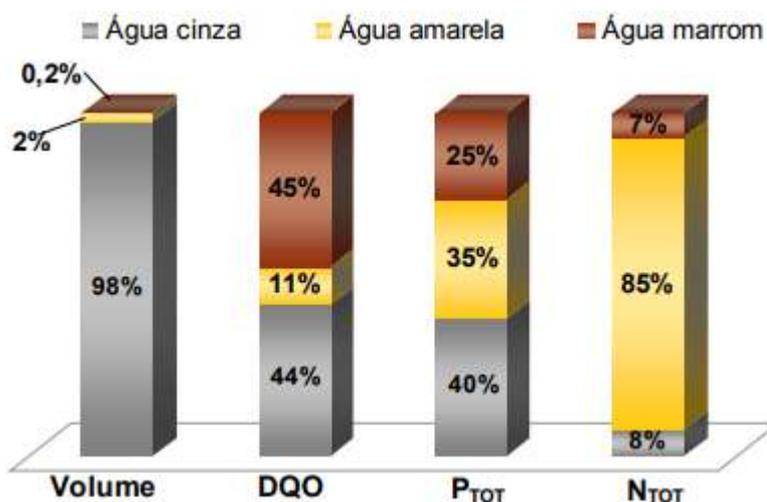


Figura 20: Distribuição de alguns compostos nas parcelas de águas cinza, urina e fezes, respectivamente (OTTERPOHL, 2001)

### 3.3.3 Modo de construção do sistema e tratamentos considerados

O reúso é normalmente dividido na literatura em reúso potável e reúso não potável, este incluindo, além dos já explicitados usos residenciais, uso para fins industriais, agrícolas, ambientais, dentre outros. O primeiro não é aconselhado e pode ser dividido em direto, quando recebe tratamento avançado e é disposto no sistema como água potável, e indireto, quando colocado nos conjuntos de águas superficiais ou subterrâneas para posterior tratamento e utilização como água potável. O reúso de águas cinza se encaixa no tipo de reúso não potável para as atividades já descritas.

Os principais elementos associados ao projeto de sistemas de reúso direto de águas cinza são os seguintes [5]:

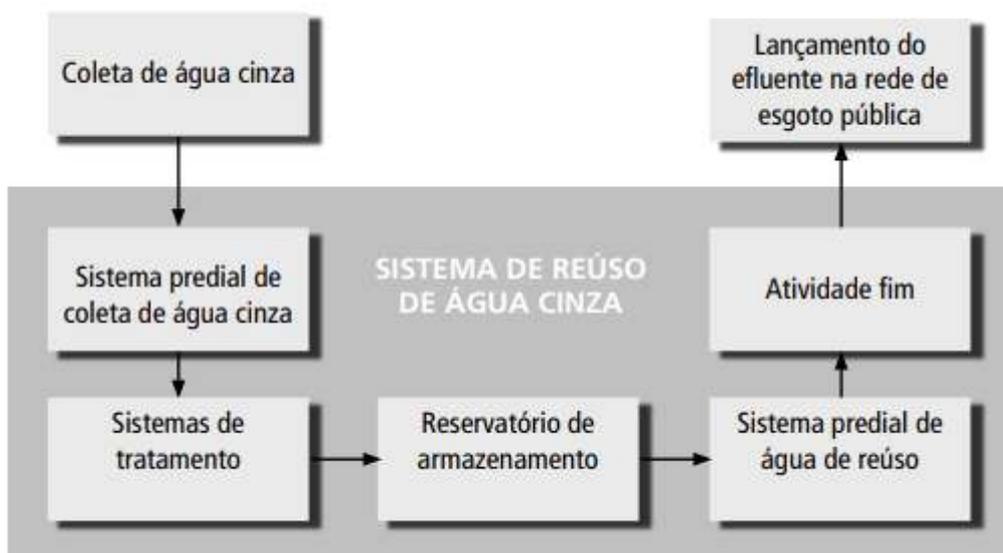
- pontos de coleta de águas cinza e pontos de uso;
- determinação de vazões disponíveis;
- dimensionamento do sistema de coleta e transporte das águas cinza brutas;
- determinação do volume de água a ser armazenado;
- estabelecimento dos usos das águas cinza tratadas;
- definição dos parâmetros de qualidade da água em função dos usos estabelecidos;
- grau de tratamento da água;
- dimensionamento do sistema de distribuição de água tratada aos pontos de consumo.
- manual de operação e treinamento dos responsáveis

Os pontos de coleta de águas cinza devem ser determinados em função do tipo de água cinza a ser coletada e em função da configuração hidráulica do edifício.

O sistema de coleta e transporte de águas cinza brutas é composto pelos condutores horizontais e verticais que transportam as águas cinza coletadas ao sistema de tratamento para posterior armazenamento. O dimensionamento desse sistema deverá ser efetuado em conjunto com o projeto hidráulico do edifício em consideração. O sistema de tratamento deverá situar-se em local suficientemente afastado de modo a não causar incômodos aos moradores das edificações [5].

O volume de reservatório de armazenamento deverá ser determinado com base nas características ocupacionais do edifício, nas vazões associadas às peças hidráulicas correspondentes (vazão de águas cinza) e na demanda de água dos aparelhos que integrarão o sistema de reúso (vazão de reúso). Os mesmos critérios e cuidados preconizados para os reservatórios de águas pluviais deverão ser adotados para os reservatórios de águas cinza tratadas [5].

O projeto do sistema de tratamento deve ser efetuado com base nas características do tipo de água cinza coletado e na qualidade preconizada para o efluente tratado. Os sistemas de tratamento são, evidentemente, mais complexos que os considerados para as águas pluviais, face à maior concentração de poluentes característicos das águas cinza. Devem ser efetuados estudos de tratabilidade, considerando-se tanto tratamentos físico-químicos como biológicos [5].



**Figura 21: Sistema de reúso de água cinza [5]**

Tratando-se de reúso de água, devido à grande diversidade tanto da fonte quanto do próprio destino do efluente tratado, ou o tipo de reúso pretendido, uma série de sistemas ou sequências de processos pode ser aplicada.

Há que se destacar, no entanto, que não existe legislação, normalização ou conhecimento consensualmente aceito no meio técnico brasileiro para descrever objetivamente, por meio de valores de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, a qualidade das águas para cada uso não potável, ou ainda, classes de águas para grupos de usos não potáveis [2].

Tabela 1: Grau de tratamento necessário [10]

Grau de tratamento necessário de acordo com o NBR 13969:1997			
Classes	Descrição de usos	Indicadores	Tratamento sugerido
Classe 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	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamento aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L	Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes
Classe 3	Reuso nas descargas dos vasos sanitários	Turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL	Normalmente, as águas de enxágüe das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão
Classe 4	Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita

Em função de suas características físico-químicas e biológicas, as águas cinza podem ser tratadas por processos de tratamento semelhantes aos utilizados em estações de tratamento de esgoto sanitário bruto (ETE). Entretanto, deve-se atentar para o fato de que as exigências quanto à qualidade do efluente tratado são muito superiores no caso de reúso de águas cinza, sobretudo quando se trata de edificações [14].

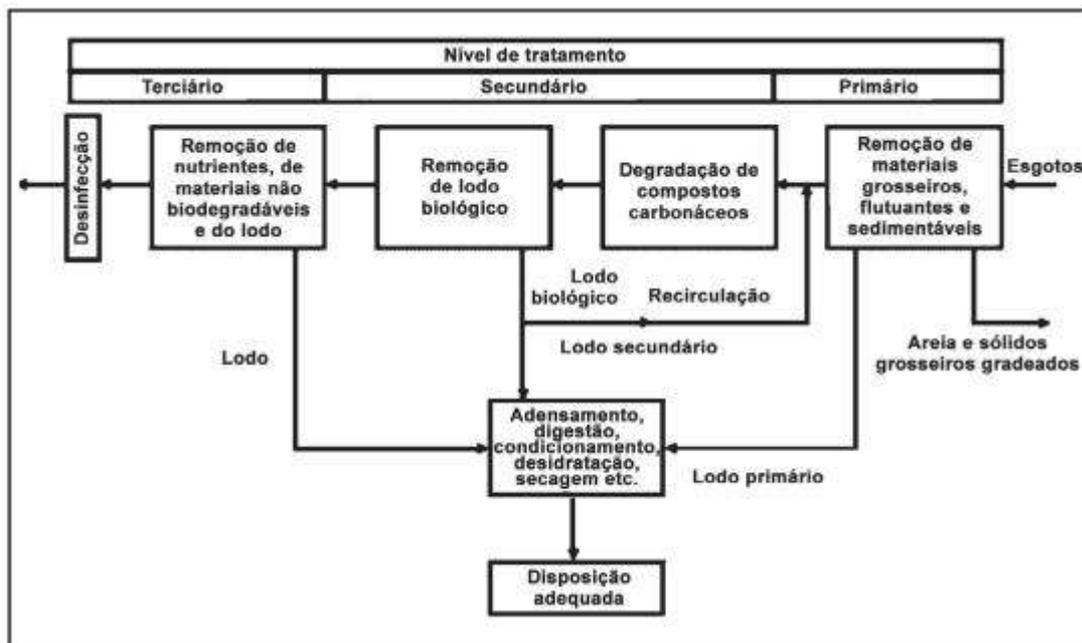


Figura 22: Etapas componentes de uma estação tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999)

Para produzir água de reúso inodora e com baixa turbidez, uma ETAC deve ser composta por, pelo menos, os níveis primário e secundário. Para se assegurar baixas densidades de coliformes termotolerantes, o tratamento deve prever desinfecção que caracteriza o nível terciário [14].

Dependendo do objetivo de qualidade almejado, o tratamento das águas cinza para efeito de reúso pode ser realizado por meio de processos físicos (primário), biológicos (secundário) e químicos (terciário) associados. Em qualquer caso, é importante a introdução de uma etapa de separação sólido-líquido no início do fluxograma de tratamento. A presença de sólidos grosseiros (areia, cabelos, felpas de tecidos e restos de alimentos, entre outros tipos de material) nas águas cinza, embora de dimensões reduzidas devido à presença dos ralos e grelhas nas instalações hidrossanitárias, exige esta etapa física de retenção dos sólidos. Caso a água de reúso tenha por finalidade usos irrestritos, por exemplo, para descarga sanitária, o fluxograma de tratamento deve ser encerrado com uma etapa de desinfecção [2].

Como regra geral admite-se que os tratamentos mais simples, com menor grau de mecanização, são mais bem adaptados às pequenas edificações, normalmente unifamiliares, produzindo água de reúso com padrão de qualidade relativamente pouco exigente como, por exemplo, alagados construídos. Para edificações de maior porte, é comum o emprego de tecnologia de tratamento compacta e com configuração com maior complexidade e mecanização [2].

Os tratamentos físicos, com exceção das membranas de maior capacidade de filtração - que requerem sistemas com alta demanda de energia - usualmente apresentam resultados insatisfatórios, caso usados isoladamente, na produção de água de reúso de qualidade. A sua atuação se limita à separação de partículas sólidas ou coloidais presentes na água cinza, não afetando os compostos dissolvidos presentes em quantidades significativas [2].

Além disso, os filtros perdem sua eficiência à medida que os sólidos vão sendo removidos. O ciclo de filtração termina quando há um aumento excessivo da perda de carga ou quando há liberação de sólidos suspensos no efluente. Ocorrendo um desses fatores, é necessário realizar a limpeza do leito filtrante. Essa limpeza é realizada através da retrolavagem, um processo onde a água e ar passam em fluxo ascendente através do leito. A água de lavagem é então descartada contendo os sólidos que se encontravam retidos e o leito fica preparado para o próximo ciclo de filtração (SANTOS NETO, 2003).

No entanto, a associação em série de processos físicos tende a produzir melhores resultados para o tratamento. Os processos físicos mais utilizados até hoje contemplam a filtração direta em leitos arenosos, a filtração no solo e o emprego de membranas filtrantes [2].

A utilização de processos químicos é relativamente restrita no tratamento de águas cinza. Experiências envolvendo a utilização de coagulação – floculação com sais metálicos, eletrocoagulação, oxidação catalítica, troca iônica e adsorção em carvão ativado encontram-se relatadas na literatura especializada [2].

Os aspectos favoráveis à utilização de processos químicos referem-se à compactidade dos processos de tratamento e à flexibilidade operacional que caracteriza a maioria deles. Como pontos negativos devem ser ressaltados a necessidade de aquisição de produtos químicos, a complexidade operacional e de manutenção para se obter condições adequadas de funcionamento do sistema e, no caso da coagulação, a produção excessiva de lodo [2].

Alternativamente aos processos físicos ou químicos, os processos biológicos visam principalmente à degradação de compostos carbonáceos, convertendo os carboidratos, óleos, graxas e proteínas a compostos mais simples. Pode ser realizado anaeróbia ou aerobicamente, como também pode prever uma associação em série de ambas estas vias metabólicas. Nos sistemas anaeróbios cerca de 70% a 90% do material orgânico biodegradável são convertidos em biogás e cerca de 5% a 15% da matéria

orgânica é transformada em biomassa microbiana, constituindo-se no lodo excedente do sistema. Nos sistemas aeróbios, a degradação biológica é responsável pela conversão de 40% a 50% da matéria orgânica da água residuária em  $CO_2$ , enquanto que o restante é convertido em biomassa (lodo) [2].

As exigências estéticas e organolépticas (odor) das águas para reúso predial fazem com que, em caso de opção pelo tratamento biológico, a etapa aeróbia seja obrigatória, por ser a única capaz de remover a turbidez de maneira consistente. Nos casos prevendo uma etapa de tratamento físico ou químico implementada preliminarmente, o emprego de um processo biológico aeróbio pode vir a ser uma solução eficiente de polimento para assegurar o desempenho do conjunto [2].

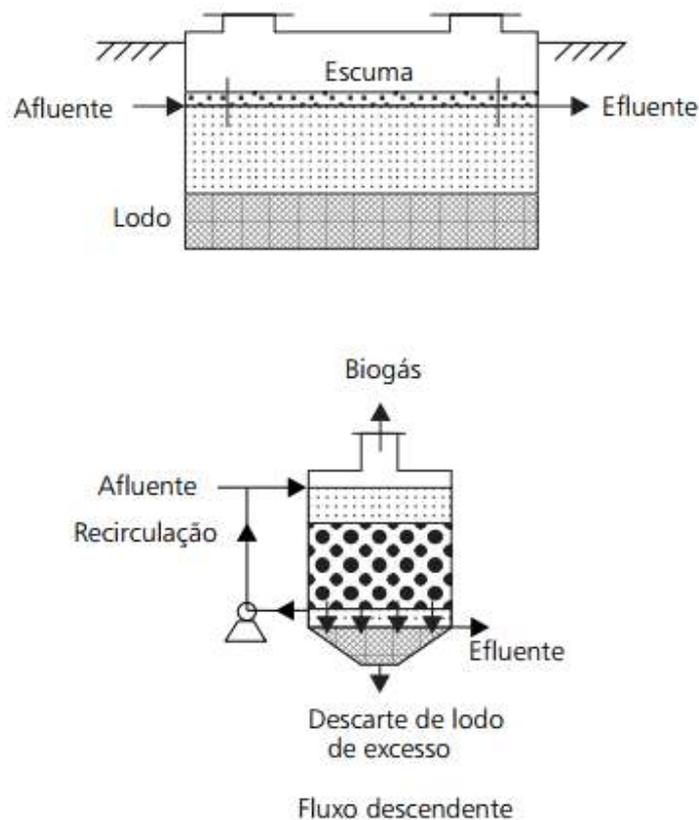
O uso da via anaeróbia na degradação de matéria orgânica, apesar de sua capacidade mais limitada de remoção de matéria orgânica e pequena eficiência de remoção de nutrientes e patógenos, propicia a existência de sistemas compostos pela associação de processos em série, que são particularmente interessantes para países com condições climáticas favoráveis, como no caso do Brasil, com a vantagem de ocuparem um volume notoriamente inferior, usarem equipamentos mais simples e reduzirem significativamente os gastos com energia elétrica [6] (GONÇALVES, 2006). São também soluções bastante inteligentes para a difícil questão do manuseio e disposição final dos lodos aeróbios, uma vez que estes podem ser encaminhados para que sofram adensamento e digestão no reator anaeróbio [6].

### **3.3.3.1 Sistema fossa-filtro**

A fossa séptica, por exemplo, é um decanto-digestor que tem como objetivo reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos, com volume reduzido, pela digestão anaeróbia, até que sejam removidas em períodos de meses ou anos. A sua eficácia situa-se por volta de 40 a 70% para DBO e DQO e 50 a 80% para sólidos suspensos, sendo essa alta amplitude de resultados causada pelo nível de restrição dos projetos [9].

É um método anaeróbio que não apresenta altíssima eficiência na remoção de patógenos, mas devido à boa qualidade do efluente produzido, permite uma maior facilidade de encaminhamento para pós-tratamento complementar, além de ser de fácil operação, compacta, simples e de baixo custo. A sua combinação com filtros é muito efetiva no tratamento dos esgotos sanitários brutos e para as águas cinza [9].

Pode ser de camada única, de câmaras em série ou de câmaras sobrepostas, sendo o primeiro ideal para residências ou pequenos edifícios, enquanto os outros são ideais para maiores volumes de esgoto, inclusive com unidades conjugadas de tanques.



**Figura 23: Esquema de uma fossa séptica [9]**

O filtro anaeróbico caracteriza-se por ser uma configuração de reator no interior do qual se preenche parte do seu volume com material de enchimento inerte, normalmente pedra britada, que permanece estacionário, e onde se forma um leito de lodo biológico fixo, uma vez que aí se desenvolve uma biomassa aderida. O material de enchimento serve como suporte para os microrganismos, que formam películas ou biofilmes na sua superfície, propiciando alta retenção de biomassa no reator [9].

O fluxo hidráulico ocorre nos interstícios do leito formado pelo material suporte com biomassa, que é a região na qual ocorrem as reações, durante a passagem do esgoto contendo a matéria orgânica. Em condições favoráveis, quanto maior a área superficial do material suporte por unidade de volume do tanque, maior pode ser a biomassa aderida, o que resultaria em maior capacidade de tratamento. De modo geral, o efluente de um filtro anaeróbico é bastante clarificado e tem relativamente baixa concentração de

matéria orgânica, inclusive dissolvida, mas é rico em sais minerais e microrganismos patogênicos [9].

O sistema de fossa-filtro tem sido amplamente utilizado no meio rural, em comunidades de pequeno porte e mesmo nos grandes centros urbanos carentes de sistema público de esgotamento sanitário. O tanque remove a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia no fundo do tanque [8]. A estabilização da DBO solúvel é pequena, uma vez que no reator ocorrem problemas por causa do fluxo hidráulico interno que não favorece a mistura e contato entre a biomassa e o esgoto solúvel em questão [9]. O filtro anaeróbio efetua uma remoção complementar de DBO, especialmente dessa fração solúvel do esgoto [8].

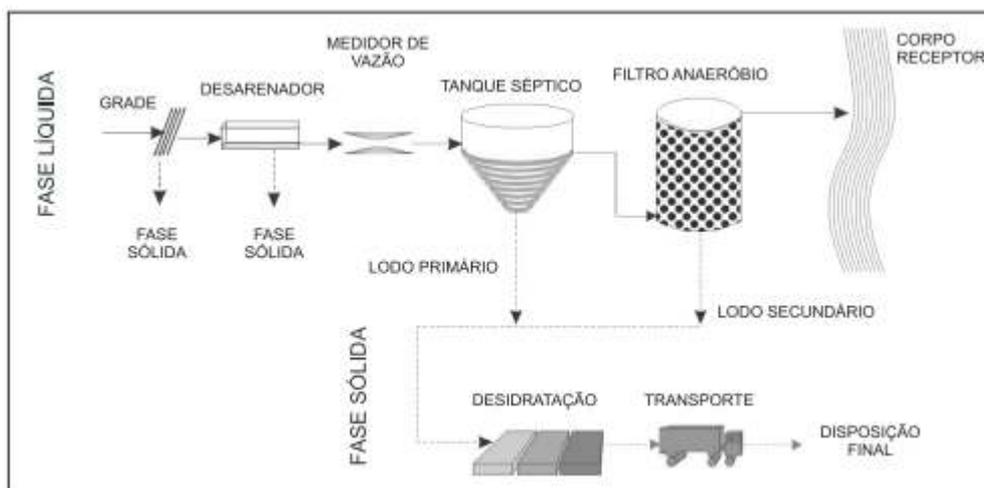


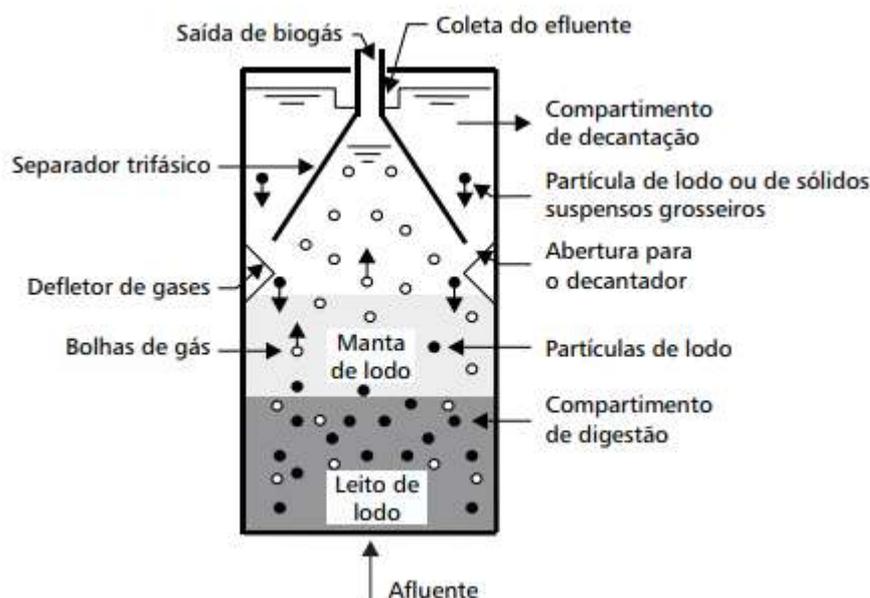
Figura 24: Fluxograma típico de um sistema de fossa séptica – filtro anaeróbio (VON SPERLING, 2005)

### 3.3.3.2 Sistemas com reator UASB

Nos reatores UASB, a biomassa cresce dispersamente e não adere a um meio suporte, como nos filtros anaeróbios. A concentração de biomassa no reator é muito elevada e, por isso, o volume requerido é bastante reduzido em comparação com outros métodos de tratamento, apesar de se requerer mais cuidados com as flutuações de vazão, tanto quantitativamente como qualitativamente, e com a operação, que são mais importantes que em outros métodos.

O líquido entra pelo fundo do reator e segue em fluxo ascendente passando pelo leito de lodo, onde grande parte da matéria orgânica é incorporada pela biomassa. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases, principalmente, metano e gás carbônico. A parte superior do reator apresenta uma estrutura (geralmente cônica) que

facilita as funções de segregação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos (biomassa). Essa estrutura é denominada de separador trifásico, por separar o líquido, os sólidos e os gases. O gás é obtido na parte superior do reator e pode ser reutilizado (energia do metano) ou queimado. Os sólidos sedimentam-se, deslizando pelas paredes do separador. Dessa forma, tem-se a retenção de grande parte da biomassa no sistema, alcançada pela atuação gravitacional. Devido à elevada retenção de sólidos, há o envelhecimento do lodo, e o tempo de detenção hidráulica pode ser bastante reduzido (da ordem de 6 a 10 horas) para o esgoto bruto. O efluente sai, então, do compartimento de sedimentação relativamente límpido, e a concentração de biomassa no reator é mantida em um nível alto [6].



**Figura 25: Desenho esquemático de um reator UASB [9]**

Dentre outras vantagens, pode-se destacar também a possibilidade de rápido reinício após paralisações e a satisfatória eficiência na remoção de DBO e de DQO, da ordem de até 65 a 75%. Por outro lado, também pode apresentar baixa capacidade para tolerar cargas tóxicas e necessita de um grande intervalo para a partida do sistema [9].

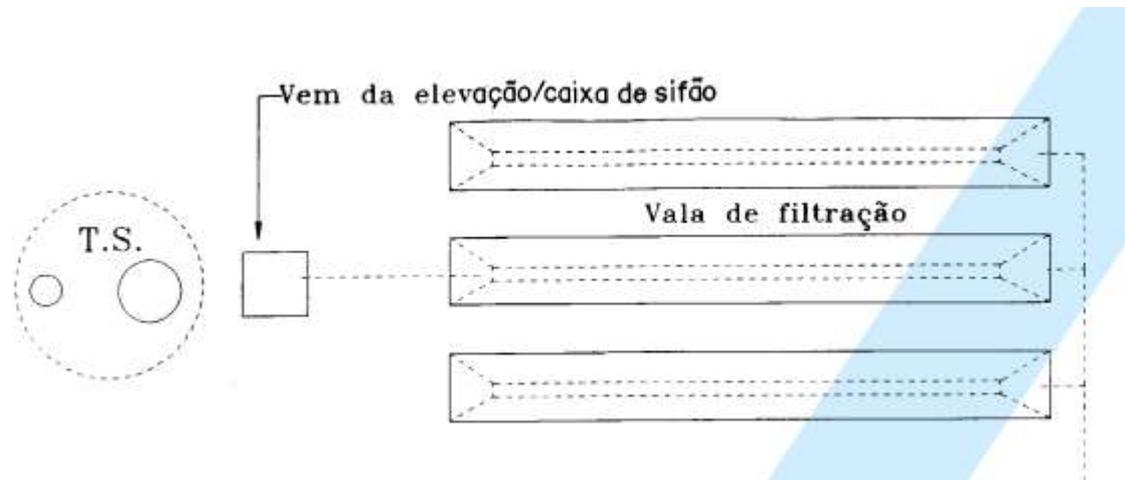
Os reatores UASB podem ser combinados com alternativas de disposição no solo dos efluentes como as valas de filtração. Estas são, por sua vez, escavadas no solo, preenchidas com meios filtrantes e providas de tubos de distribuição de esgoto e de coleta de efluente filtrado, destinada à depuração do esgoto através de ações físicas, biológicas e químicas sob condições essencialmente aeróbias [10] [13].

Dentro de cada vala são instaladas, ao longo do eixo longitudinal e em níveis distintos, tubulações distribuidora e receptora. O líquido que sai pelas juntas livres (ou furos) da tubulação distribuidora atravessa o leito de areia e brita para, em seguida, penetrar na tubulação receptora, que também é constituída de tubos que deixam entre si juntas livres (ou furos) ou possuem a superfície perfurada [13].

O tratamento físico ocorre pela retenção das partículas por meio da filtração e o químico, pela adsorção. O sucesso do tratamento, porém, é profundamente dependente das transformações biológicas que ocorrem no interior do leito de areia [13].

Esse tipo de sistema de tratamento pode ser empregado com vantagens, especialmente quando o grau de permeabilidade do terreno for pequeno, em áreas reduzidas ou quando houver risco sanitário que o justifique [13].

Os efluentes tratados geralmente não apresentam cheiro ou cor e, caso sejam dispostos no solo, receberão um tratamento adicional por intermédio da absorção existente nesse meio. Como a vala é construída no próprio solo, dependendo das condições do meio, pode ter suas paredes impermeabilizadas. Pelo fato de possuir baixo custo e ser de fácil instalação, a vala de filtração tem ampla aplicação em áreas urbanas e rurais que não são atendidas por rede coletora de esgotos [13].



**Figura 26: Planta de conjunto de valas de filtração típicas [10]**

Uma alternativa muito interessante ainda envolve o uso combinado de reator UASB com o filtro anaeróbio. Nesse caso, pode-se dizer que este desempenharia o papel de polimento ou pós-tratamento para a DBO remanescente do UASB. Comparado com o sistema fossa-filtro, o UASB supera o decanto-digestor em termos de desempenho. Entretanto, o efluente do reator UASB, apesar do valor de DBO total baixo, pode conter ainda quantidade razoáveis de sólidos em suspensão de pequenas

dimensões, que lhe confere certa turbidez elevada. O filtro anaeróbio é então indicado para a remoção complementar da DBO particulada, pela retenção física nos interstícios do leito e posterior digestão. A parte solúvel, proveniente do efluente do UASB ou resultado da liquefação da DBO particulada retida, seria tratada pela biomassa formada no meio suporte do leito [9].

A seguir, algumas informações importantes são mostradas para diversas combinações de tratamentos para esgotos sanitários e eventualmente usados, como nesse trabalho, como parte do reúso de águas cinza.

Sistema	Demanda de área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência para aeração		Volume de lodo		Custos	
		Potência instalada (W/hab)	Potência consumida (kWh/hab.ano)	Lodo líquido a ser tratado (L/hab.ano)	Lodo desidr. a ser disposto (L/hab.ano)	Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)
Lagoa facultativa	2,0-4,0	0	0	35-90	15-30	40-80	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	1,5-3,0	0	0	55-160	20-60	30-75	2,0-4,0
Lagoa aerada facultativa	0,25-0,5	1,2-2,0	11-18	30-220	7-30	50-90	5,0-9,0
Lagoa aerada mistura completa + lagoa sedimentação	0,2-0,4	1,8-2,5	16-22	55-360	10-35	50-90	5,0-9,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	3,0-5,0	0	0	55-160	20-60	50-100	2,5-5,0
Escoamento superficial	2,0-3,5	0	0	-	-	40-80	2,0-4,0
Terras úmidas construídas ( <i>wetlands</i> )	3,0-5,0	0	0	-	-	50-80	2,5-4,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2-0,35	0	0	180-1000	25-50	80-130	6,0-10
Reator UASB	0,03-0,10	0	0	70-220	10-35	30-50	2,5-3,5
UASB + lodos ativados	0,08-0,2	1,8-3,5	14-20	180-400	15-60	70-110	7,0-12
UASB + biofiltro aerado submerso	0,05-0,15	1,8-3,5	14-20	180-400	15-55	65-100	7,0-12
UASB + filtro anaeróbio	0,05-0,15	0	0	150-300	10-50	45-70	3,5-5,5
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	0,1-0,2	0	0	180-400	15-55	60-90	5,0-7,5
UASB + flotação por ar dissolvido	0,05-0,15	1,0-1,5	8-12	300-470	25-75	60-90	6,0-9,0
UASB + lagoas de polimento	1,5-2,5	0	0	150-250	10-35	40-70	4,5-7,0
UASB + lagoa aerada facultativa	0,15-0,3	0,3-0,6	2-5	150-300	15-50	40-90	5,0-9,0
UASB + lagoa aerada mist. compl. + lagoa decantação	0,1-0,3	0,5-0,9	4-8	150-300	15-50	40-90	5,0-9,0
UASB + escoamento superficial	1,5-3,0	0	0	70-220	10-35	50-90	5,0-7,0

Figura 27: Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos, expressos em valores per capita [8]

### 3.3.3.3 Desinfecção

Finalmente, como processos de desinfecção podem ser utilizados a cloração, ozonização, aplicação de radiação ultravioleta, dentre outras, como explicado no item 3.2.5. Logo, levando-se em consideração este risco de contaminação, vários sistemas de desinfecção podem ser aplicados às águas cinza tratadas, sendo os mais comumente utilizados a desinfecção por luz ultravioleta e a cloração. As duas formas de desinfecção são eficientes e diferem-se entre si fundamentalmente em função dos custos de aplicação e formação de subprodutos orgânicos que podem ser prejudiciais à saúde humana. Com relação aos custos a desinfecção ultravioleta é mais onerosa quando

comparada à cloração, no entanto, não existe a formação de subprodutos, o que ocorre na cloração, onde estes são formados pelo contato do cloro com a matéria orgânica que ainda é presente, mesmo nas águas cinza parcialmente tratadas [2].

## 4 Metodologia

### 4.1 Visão geral

O método apresentado a seguir tem como objetivo a otimização de um sistema de uso comum para o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza, como citado anteriormente, tentando buscar o menor preço final de acordo com uma proporção meticulosamente calculada entre as partes. Ele se baseia em planilhas que computam todos os custos mais relevantes envolvidos na implantação, manutenção e operação do sistema, além de levar em consideração as tarifas, preços de materiais e condições meteorológicas dos lugares tomados.

Devido a essas diferenças entre os parâmetros, foram tomadas cidades das 5 regiões do Brasil, exatamente buscando evidenciar o impacto conjunto das discrepâncias entre as condições socioeconômicas e ambientais dos locais. As cidades escolhidas foram:

- Região Norte: **Manaus**
- Região Nordeste: **Recife**
- Região Centro-Oeste: **Brasília**
- Região Sudeste: **São Paulo**
- Região Sul: **Porto Alegre**

Além disso, baseado nas características próprias de cada cidade, foi possível se comparar os resultados obtidos com o custo se não houvesse nenhuma utilização de outras fontes alternativas assim como outras avaliações pertinentes.

### 4.2 Arquitetura

O projeto arquitetônico padrão escolhido data de 2010 e é basicamente um projeto de um edifício de uma vila de oficiais do sistema habitacional denominado de Próprio Nacional Residencial, os PNR. O projeto previa 8 unidades residenciais

distribuídas em 2 pavimentos de 4 apartamentos, além do térreo e da cobertura com telhados totalizando 2033,81 m<sup>2</sup>. Os detalhes das plantas e algumas informações técnicas importantes podem ser observados a seguir.

#### 4.2.1 Pavimentos

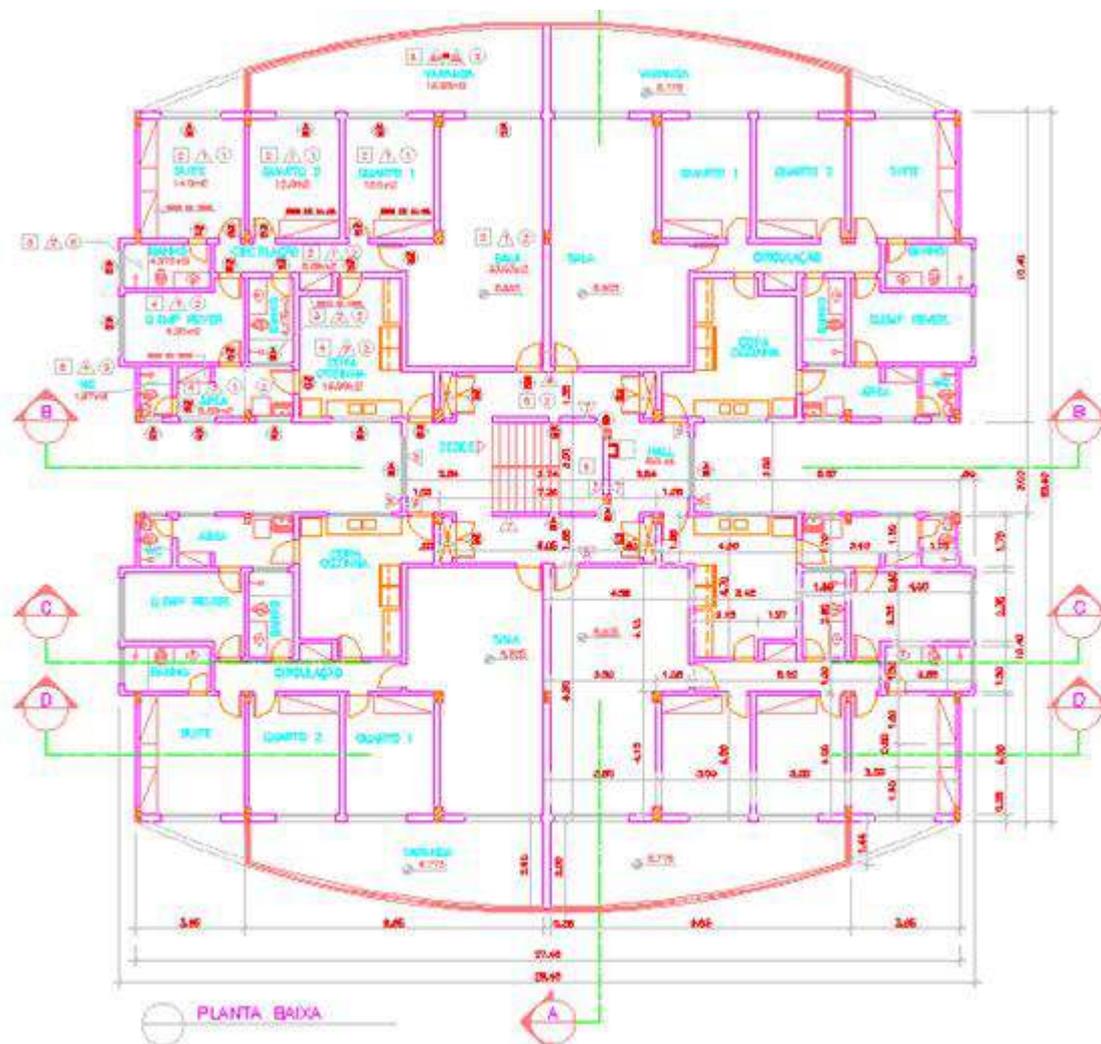
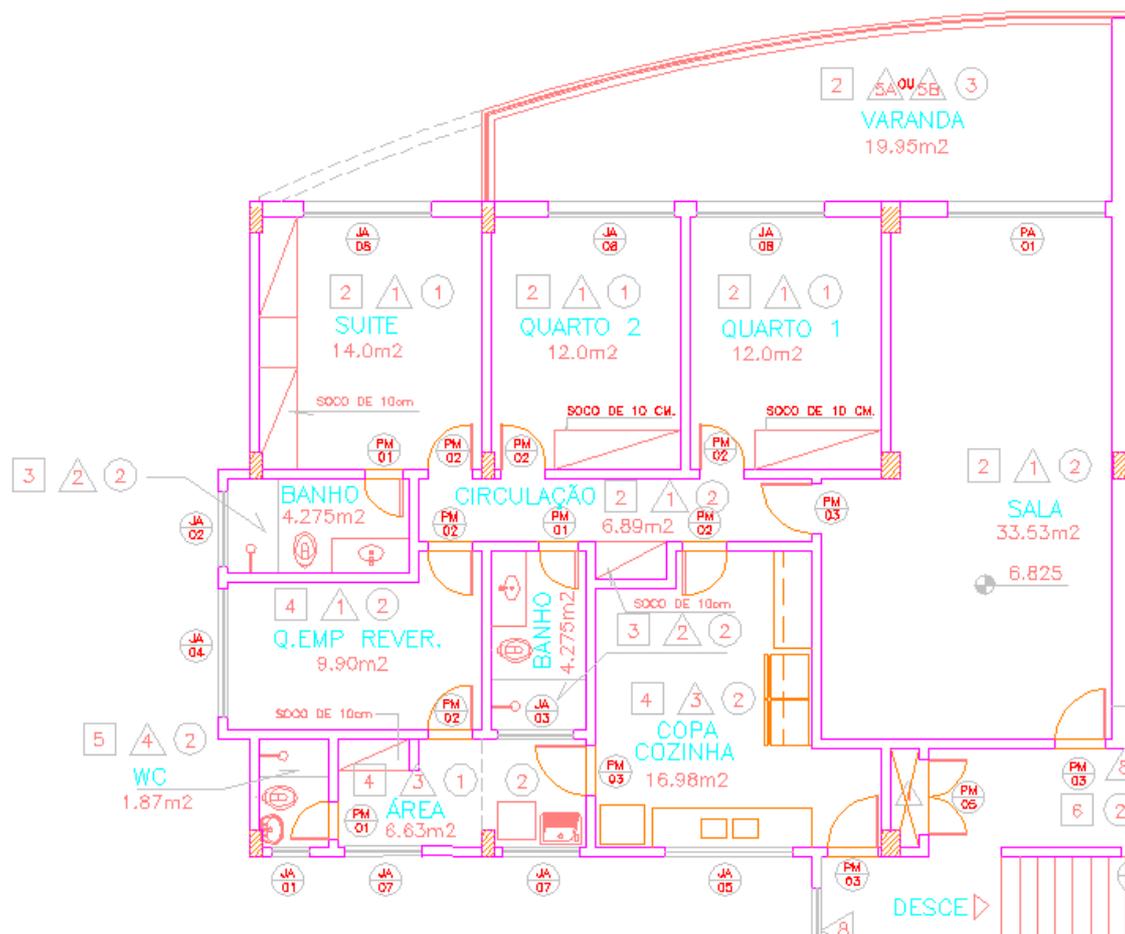


Figura 28: Planta geral dos pavimentos habitáveis



**Figura 29: Planta de um apartamento típico**

Cada pavimento conta com 700,84 m<sup>2</sup> de área construída e com 142,30 m<sup>2</sup> de área útil para cada apartamento. Estes por sua vez possuem 2 quartos, 1 quarto de empregada, 1 suíte, 3 banheiros, 1 sala, 1 copa e cozinha, 1 área de serviço e 1 varanda.

## 4.2.2 Térreo

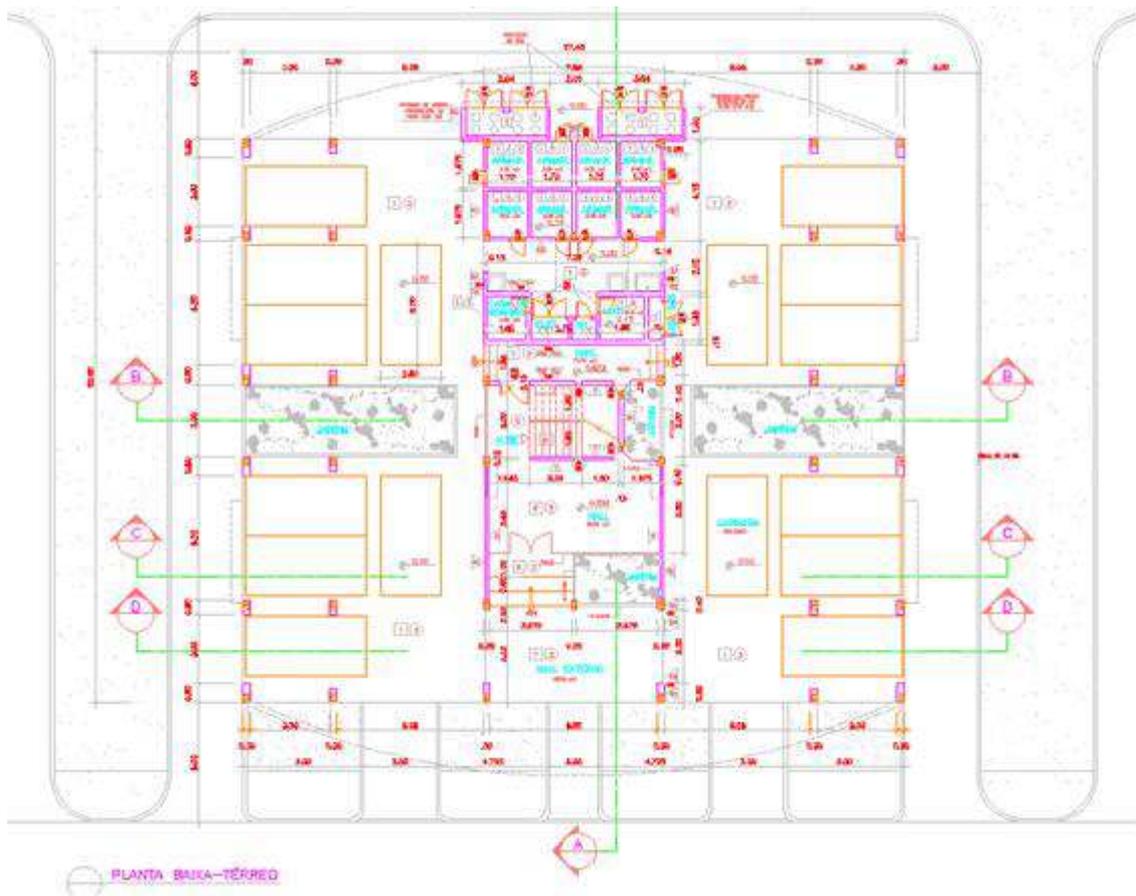


Figura 30: Planta geral do térreo

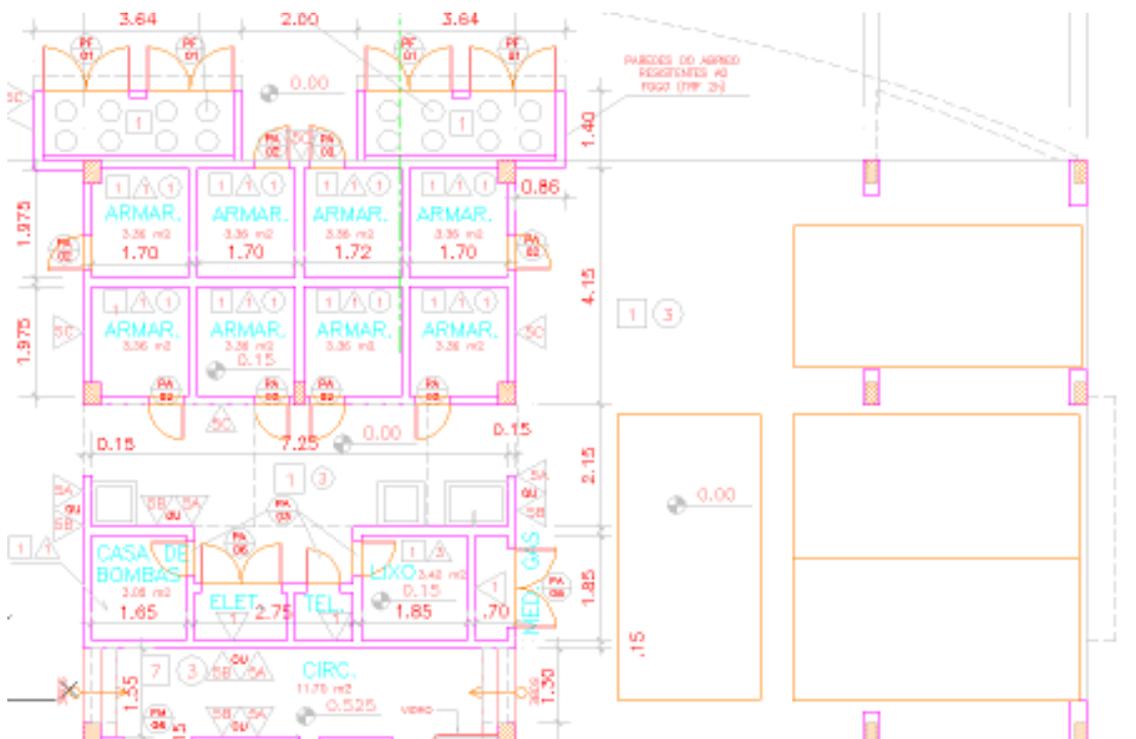
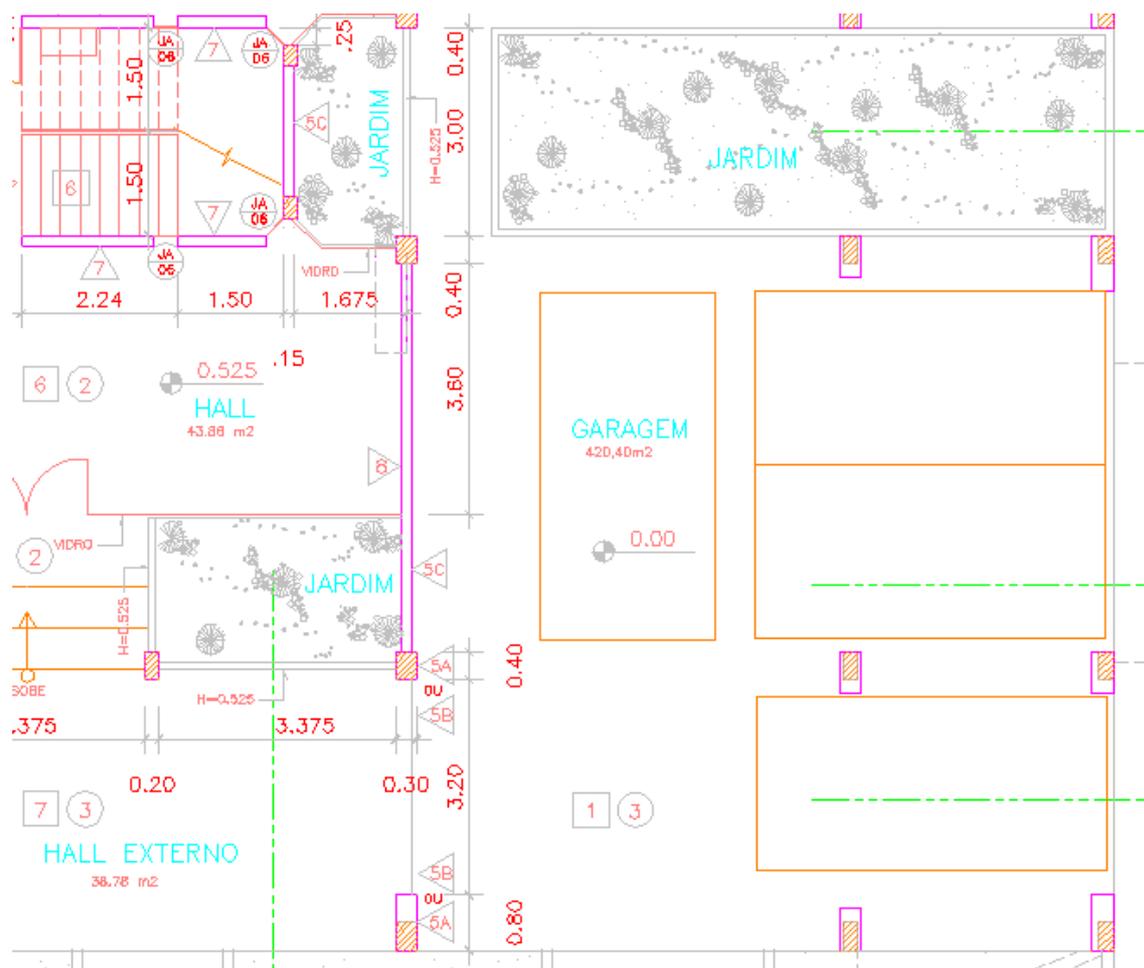


Figura 31: Planta detalhada do térreo



**Figura 32: Planta dos jardins e da garagem**

O pavimentos térreo conta com 16 vagas de garagem, 4 áreas de jardins, casa de bombas, áreas de instalações eletrônicas, de telefonia, para descarte de lixo e para medição de gás. A área construída total é de 600,09 m<sup>2</sup>.

### 4.2.3 Cobertura

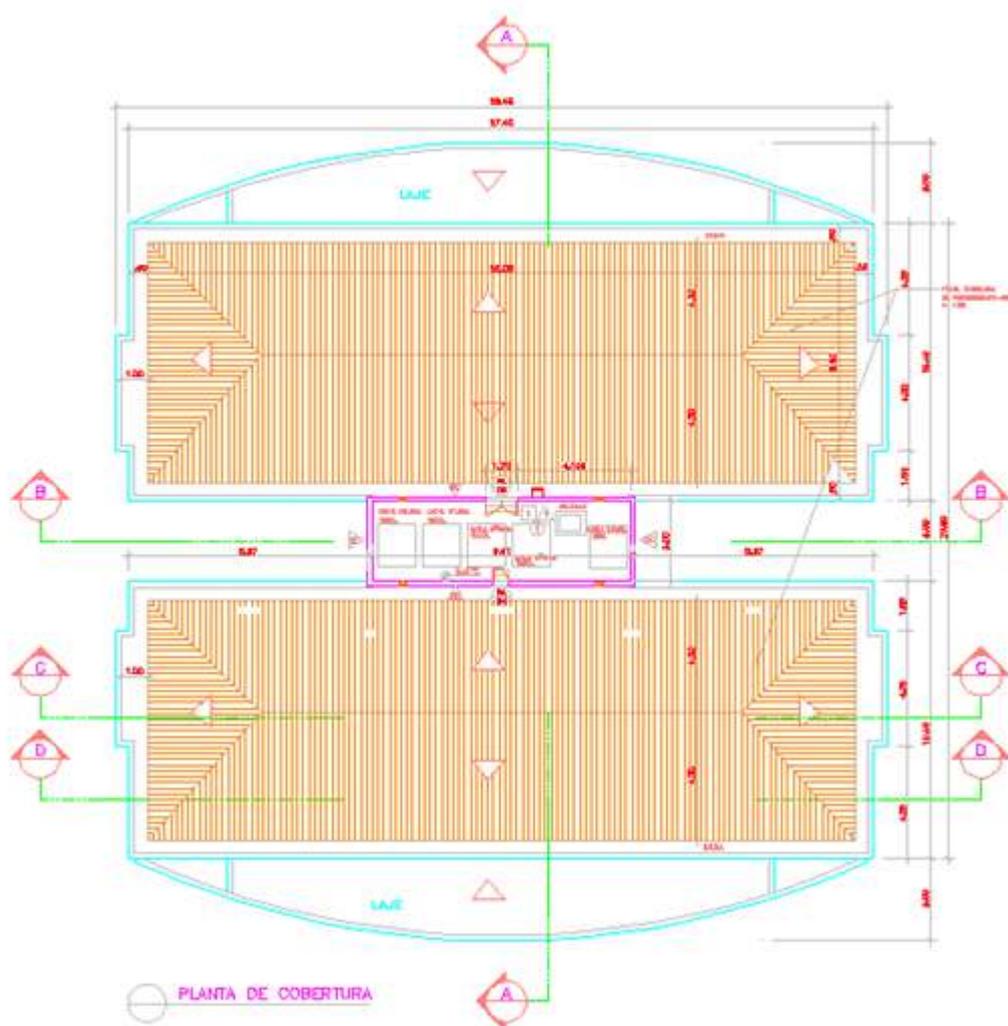


Figura 33: Planta da cobertura do edifício

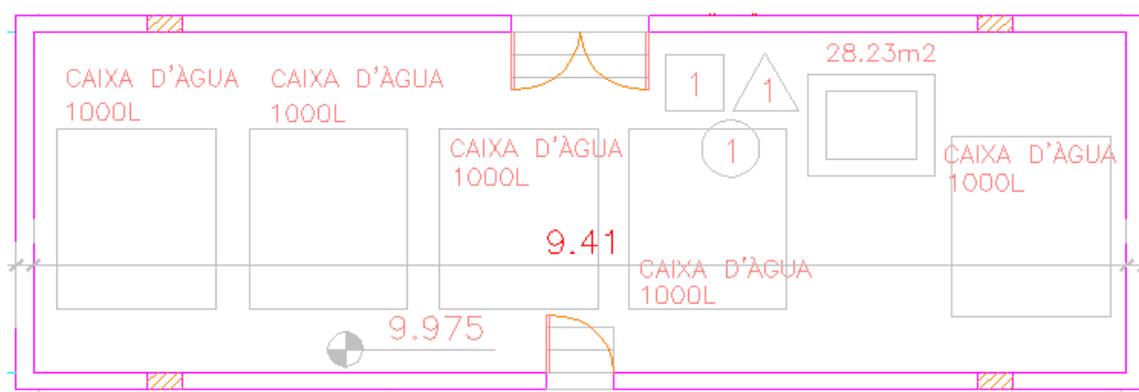
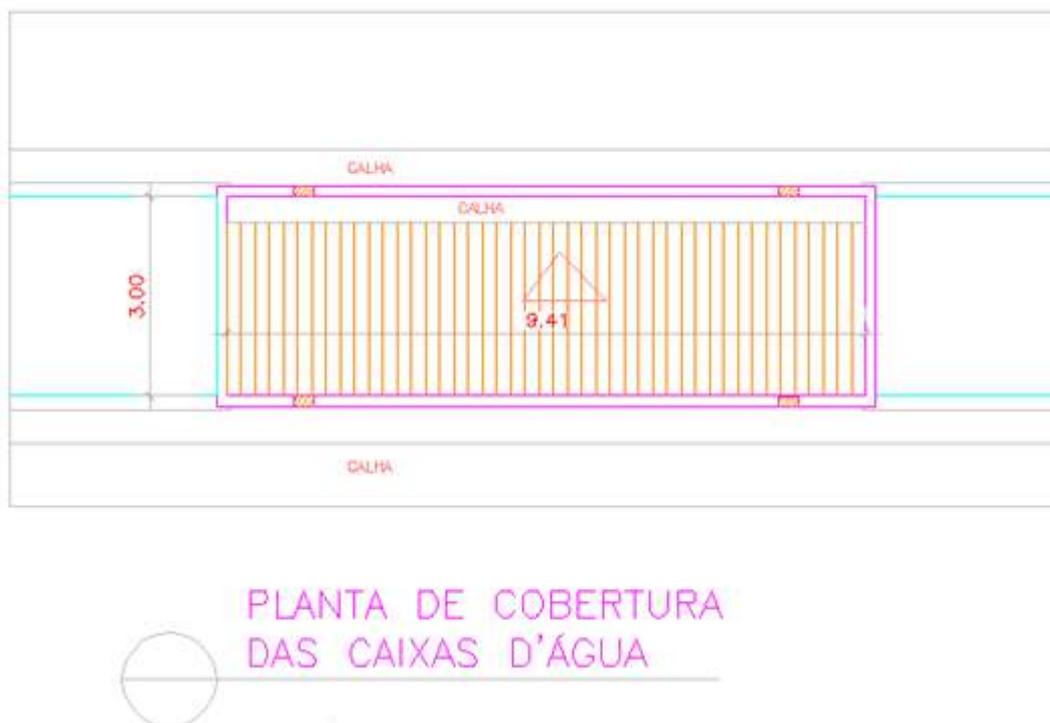


Figura 34: Planta da área das caixas d'água



**Figura 35: Planta da cobertura das caixas d'água**

O projeto padrão tem 32,04 m<sup>2</sup> de área construída na cobertura, apresenta dois telhados de 4 águas, 2 lajes, além da área onde se localizam as caixas d'água, que contém cobertura de telhado unilateral. Há calhas contornando toda a estrutura do telhado.

### 4.3 Sistema escolhido

Os sistemas passíveis de escolha no projeto para se obter os resultados deveriam utilizar um método de dimensionamento para o reservatório e demais componentes considerados para o aproveitamento de águas pluviais assim como um escolha de tratamento e componentes relacionados para o reúso de águas cinza. Só assim é possível estimar de forma correta qual combinação dos métodos fornece o menor custo ou se eles são desnecessários para um dado cenário.

O subsistema de tratamento para aproveitamento de águas pluviais deve primariamente contar com uma retirada inicial de objetos e sedimentos de grande porte e sofrer um desinfecção para só então deixa captar a água para o consumo não potável.

O subsistema de tratamento para reúso de águas cinza deve conter basicamente um tratamento biológico, onde os microrganismos degradam as substâncias, um

tratamento físico, onde há a retirada de materiais grosseiros e suavização do efluente, além de uma desinfecção eficiente, para só então a água ser utilizada pelos habitantes.

Para esse projeto, foram utilizados os seguintes subsistemas:

1. **Aproveitamento de Águas Pluviais isoladamente:** Sistema de coleta formado por telhado com calhas seguido de caixa para first flush e filtros de areia.
2. **Reúso de Águas Cinza isoladamente:** Sistema de coleta de águas cinza formado por tubulação dedicada, estação elevatória, estação de tratamento de águas cinza, por sua vez, contendo reator UASB seguido de filtro anaeróbio e valas de filtração.
3. **Subsistema comum para o caso de uso simultâneo:** Cisterna para o armazenamento de água, estação elevatória, sistema de desinfecção com cloro e reservatório superior de distribuição.

No tocante ao aproveitamento de águas pluviais, a água coletada pelas telhas é direcionada ao sistema de coleta formado por calhas e tubulações verticais. Esse fluxo, por gravidade, atravessa o dispositivo do first flush que despreza uma quantidade preestabelecida de água e o restante passa por um filtro de areia que remove substancialmente os poluentes e diminui fortemente propriedades organolépticas como a turbidez e o gosto da água.

Já para o reúso de águas cinza, o sistema de coleta é formado por toda uma estrutura das instalações hidráulicas de modo a separá-las e, a partir do recalque feito pela bomba, estas são encaminhadas para o tratamento biológico que de maneira anaeróbia, primeiro através do reator UASB, depois com o uso do filtro anaeróbio, removem os sólidos por sedimentação, os gases pelo compartimento de saída do UASB e, só então, há o polimento da DBO restante pelo filtro anaeróbio, gerando uma efluente de boa qualidade. As valas de filtração têm como objetivo reduzir os odores ruins, fazer o polimento da matéria orgânica restante por meio de um processo aeróbio e remover parcialmente patógenos, além de aproveitar nutrientes para as plantas do jardim.

O subsistema para uso comum parte do princípio que os dois subsistemas explicados anteriormente depositam efluentes e que um tratamento simultâneo a partir daí seria mais econômico, tanto em termos de dinheiro como de volume. A partir da chegada da água parcialmente tratada, elas vão sendo armazenadas na cisterna para a realização da desinfecção por cloro com os objetivos principais de aniquilar os

microrganismos e reduzir os nutrientes ainda presentes. Após esse processo, há um recalque da demanda para o reservatório superior, onde ocorre a distribuição para os usos não potáveis necessários.

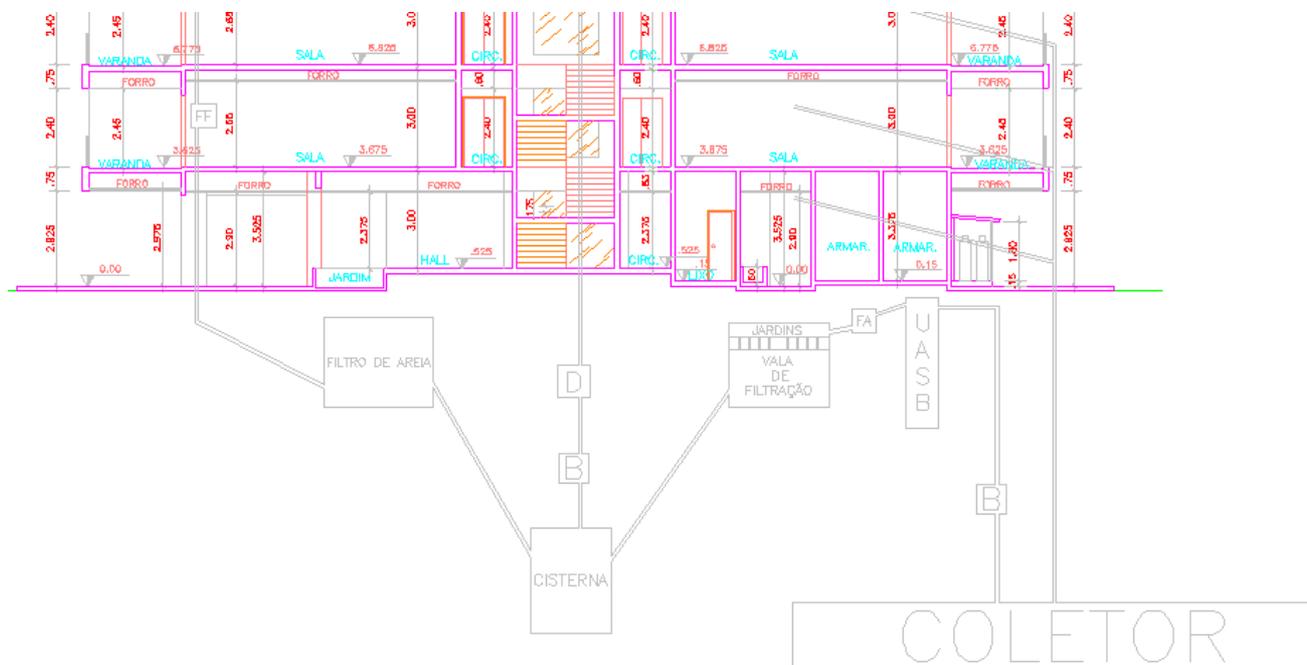


Figura 36: Esquema do Sistema Híbrido formado a partir dos subsistemas

## 4.4 Preenchimento da planilha

O método tem como base o preenchimento de uma planilha para cada localidade escolhida. Os parâmetros de entrada são diversos e se referem a condições ambientais e socioeconômicas específicas. A seguir, será demonstrado como deve se proceder ao preenchimento de cada campo, para cada subsistema, ou seja, o de aproveitamento de águas pluviais, o de reúso de águas cinza e de uso conjunto.

Na planilha em questão, todos os dados de entrada estão em vermelho, enquanto que os dados em negrito são decorrentes desses dados.

### 4.4.1 Aproveitamento de Águas Pluviais

#### 4.4.1.1 Cobertura

Inicialmente, é necessário preencher os dados sobre a cobertura do edifício, já que o sistema de captação de chuva se inicia pelos telhados e eles são responsáveis diretos sobre a quantidade a ser aproveitada.

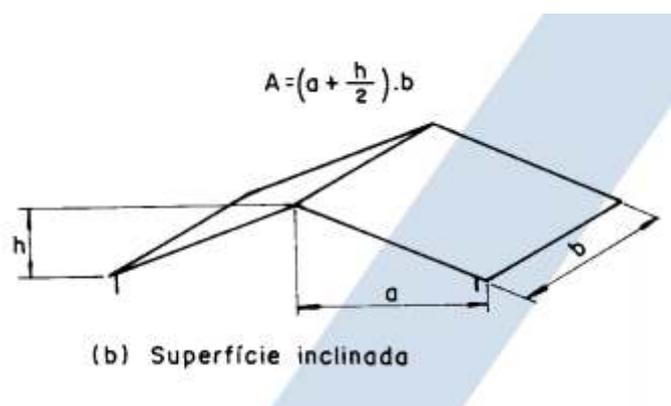
No projeto padrão analisado, o telhado tem 4 águas, com telhas de fibrocimento com inclinação de 10 %, além de uma pequena cobertura na área construída onde se localizam as caixas d' água.

Dois parâmetros são de suma importância nesse caso:

O **coeficiente de runoff**, que nada mais é que o escoamento que as telhas permitem para uma determinada precipitação, representado por uma porcentagem do total que pode ser aproveitado.

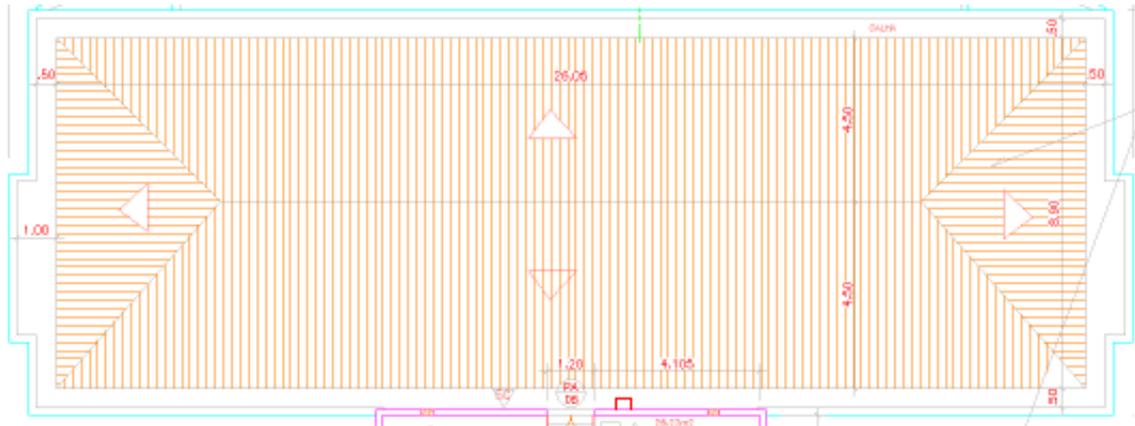
No caso apresentado, ele pode ser calculado por uma interpolação dependendo da inclinação do telhado. Segundo Galvão (2015), que utilizou um equipamento de testes hidráulicos de dispositivos de sistemas de captação de água de chuva, munido de simulador de chuva, para descobrir o coeficiente de runoff para algumas inclinações de telhados de fibrocimento, o espectro variou de 75% para inclinação de 9% até 87% para inclinação de 17%. Logo, fazendo uma proporção simples, verificou-se que para a inclinação de 10 %, o valor ideal para esse tipo de telhado seria de 76,5%.

A **área disponível para captação** também é de extrema importância para o cálculo do volume de chuva aproveitável. De acordo com a planta fornecida, o edifício tem 2 telhados de 4 águas e a cobertura da área onde se encontram as caixas d' água. Para o cálculo da área total, é necessário utilizar [12], que mostra diversas configurações de telhado possíveis e como se calcular cada área de contribuição correspondente.

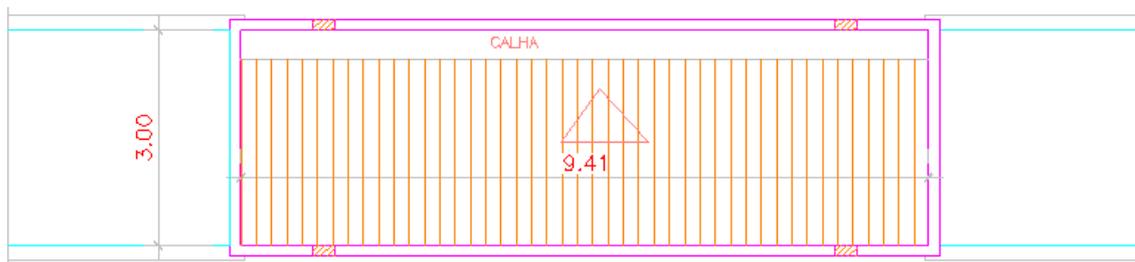


**Figura 37: Indicações para cálculos da área de contribuição para uma superfície inclinada [12]**

No exemplo testado, como o telhado tem 4 águas, basta usar o item b da norma supracitada para se obter as áreas de contribuição.



**Figura 38: Planta da área de captação do telhado**



**Figura 39: Planta da área de telhado que cobre as caixas d'água**

Para as áreas de formato trapezoidal em planta, têm-se os seguintes parâmetros:

- $a = 4,5 \text{ m}$
- $B = 26,05 \text{ m}$
- $b = 17,75 \text{ m}$
- $h = 0,45 \text{ m}$

Logo, a área calculada de uma aba trapezoidal do telhado é de:

$$A_{\text{Trapezio}} = \left(a + \frac{h}{2}\right) * \left(\frac{B + b}{2}\right) = \left(4,5 + \frac{0,45}{2}\right) * \left(\frac{26,05 + 17,75}{2}\right) = 103,48 \text{ m}^2$$

Para as áreas de formato triangular em planta, têm-se os seguintes parâmetros:

- $a = 4,15 \text{ m}$
- $B = 8,9 \text{ m}$
- $b = 0 \text{ m}$
- $h = 0,415 \text{ m}$

Logo, a área calculada de uma aba triangular do telhado é de:

$$A_{\text{Triângulo}} = \left(a + \frac{h}{2}\right) * \left(\frac{B + b}{2}\right) = \left(4,15 + \frac{0,415}{2}\right) * \left(\frac{8,9 + 0}{2}\right) = 19,39 \text{ m}^2$$

Para a área da cobertura das caixas d'água, têm-se os seguintes parâmetros:

- $a = 2,6 \text{ m}$
- $B = 9,41 \text{ m}$
- $h = 0,407 \text{ m}$

Logo, a área calculada para a área das caixas d'água do telhado é de:

$$A_{\text{Caixas d'água}} = \left(a + \frac{h}{2}\right) * (B) = \left(2,6 + \frac{0,407}{2}\right) * (9,41) = 26,38 \text{ m}^2$$

Como são 2 abas de cada tipo por telhado e são dois telhados, além da área de cobertura das caixas d'água, temos que a superfície total é:

$$A_{\text{Total}} = 2 * \left(2 * A_{\text{Trapézio}} + 2 * A_{\text{Triângulo}}\right) + A_{\text{Caixas d'água}} = 517,86 \text{ m}^2$$

Com esses dados se torna possível preencher os campos da cobertura:

**Tabela 2: Parâmetros da cobertura**

Parâmetros da cobertura			
Coefficiente de runoff			
Área disponível do telhado			m <sup>2</sup>

#### 4.4.1.2 Consumo de água não potável

Os parâmetros relevantes para o cálculo do consumo de água não potável são os de uso comum em todo edifício em que a qualidade da água não seja tão restritiva. Eles se dividem em uso interno, que se refere ao uso dentro dos apartamentos e nos pavimentos, e uso externo, que se refere ao uso nas dependências comuns do térreo e cobertura e nas lavagens de carro.

Na planilha, o objetivo é encontrar o volume mensal requerido por todo o edifício. Por isso, alguns parâmetros estruturais são importantes:

- Número de pavimentos habitáveis
- Número de apartamentos por andar
- Número de pessoas por apartamento

Para o exemplo estudado, o edifício contém 2 pavimentos habitáveis com 4 apartamento cada. Foi adotado também que 4 pessoas moram em cada apartamento, devido a quantidade dos cômodos na planta arquitetônica, totalizando 32 moradores.

Outros parâmetros importantes tratam do consumo previsto para cada indivíduo. Nesse exemplo, além dele, adotou-se outro fator que foi o consumo mensal medido nos últimos 4 anos de dados medidos na cidade escolhida, de modo que o valor da literatura fosse corrigido para gerar um resultado mais realista, já que o consumo é diferenciado em cada localidade.

- Consumo per capita provável da literatura
- Consumo per capita da cidade (média de 2012-2015)

Para o cálculo do consumo interno, basta tomar os usos previstos e calcular o resultado mensal. Para isso, foram considerados os seguintes usos com os seus respectivos fatores de influência:

- Volume total das bacias sanitárias
  - Número de descargas por dia por pessoa
  - Volume utilizado por descarga
- Volume total da máquina de lavar roupa
  - Volume da máquina de lavar roupa por ciclo
  - Ciclos por pessoa por dia
- Volume total de lavagem do piso dos pavimentos
  - Volume de água por lavagem dos pisos
  - Frequência de lavagem de pisos
  - Área de pisos dos pavimentos

O produto dos fatores de influência pelo número total de pessoas permite descobrir o consumo interno total mensal.

Os valores podem ser obtidos segundo [3]:

Uso interno	Unidades	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais provável
Gasto mensal	m <sup>3</sup> /pessoa/mês	3	5	5
Número pessoas na casa	pessoa	2	5	3
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Vazamento bacias sanitárias	Porcentagem	0	30	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	Minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,30	0,15
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2	0,1
Volume de água	Litros/banho	113	189	113
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3	0,1
Volume de água	Litro/ciclo	18	70	18
Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litro/ciclo	108	189	108
Torneira da cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	<b>Litros/segundo</b>	0,126	0,189	0,15

Figura 40: Alguns parâmetros para consumo doméstico interno de água [3]

Para o cálculo, não foram consideradas perdas por vazamento, devido a isso ser muito específico e variar dependendo da construção.

Para a lavagem de pisos internos foram usados os mesmos valores dos pátios externos, como explicitado a seguir.

Para o consumo externo mensal, têm-se os seguintes parâmetros importantes com os seus respectivos fatores de influência:

- Volume total da lavagem dos carros
  - Volume por lavagem de carros
  - Número de carros por apartamento
  - Frequência de lavagem dos carros
- Volume total de lavagem do térreo
  - Volume de água por lavagem do térreo
  - Frequência de lavagem do térreo
  - Área do térreo construída
- Volume total com uso de torneiras
  - Volume do uso de torneiras no térreo com mangueiras
  - Número de torneiras
  - Dias de uso
- Volume total de lavagem da cobertura
  - Volume de água por lavagem da área construída da cobertura
  - Frequência de lavagem da cobertura
  - Área construída da cobertura

O produto dos fatores de influência pelo número total de pessoas permite descobrir o consumo externo total mensal.

Os valores podem ser obtidos segundo [3]:

Uso externo	Unidades	Valores
Casas com piscina	Porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m <sup>2</sup>	2
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira. de jardim 1/2"x20m.	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	litros/dia/m <sup>2</sup>	3
Perdas p/ evaporação em piscina	Litros/dia/m <sup>2</sup>	5,75
Reenchimento de piscinas	anos	10
Tamanho da casa	m <sup>2</sup>	30 a 450
Tamanho do lote	m <sup>2</sup>	125 a 750

**Figura 41: Alguns parâmetros de uso externo de água [3]**

Convém perceber também que foram considerados 2 automóveis por apartamento, devido a quantidade de vagas de garagem na planta arquitetônica. Para a lavagem de pisos foram adotados os mesmos valores dos jardins, com frequência de lavagem de 2 vezes por semana. Além disso, foi considerado que cada carro é lavado 2 vezes por mês e que há 2 torneiras que consomem o volume indicado por dia e são utilizadas em 20 dias por mês. Não foram consideradas as perdas, como já explicado.

Como colocado no início do tópico, é interessante fazer um valor de ponderação de acordo com o consumo medido mensal de cada indivíduo para cada cidade. Esses valores, de 2012 a 2015, foram obtidos do Ministério das Cidades, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o SNIS, na aba de séries históricas. Lá, além do volume anual consumido, é possível ainda coletar dados populacionais e a média per capita em cada um desses anos. No presente trabalho, foi feita uma média dos consumos nesses 4 anos considerados, de modo a melhorar os dados de consumo de água não potável. Simplificadamente, basta tomar o consumo de água dentro de cada apartamento relativo ao uso de descargas e máquina de lavar e multiplicar por esse fator, aumentando ou diminuindo, dependendo da cidade, o consumo interno.

$$C_{D-Real} + C_{Ml-Real} = \left(\frac{C_{SNIS}}{C_{Lit}}\right)(C_{D-Lit} + C_{Ml-Lit})$$

Com esses dados se torna possível preencher os campos do consumo de água não potável:

Tabela 3: Consumo de água não potável considerado para o edifício

Consumo de água não potável			
Uso interno			
Consumo per capita provável da literatura			m <sup>3</sup> /mês
Consumo per capita da cidade (média de 2012-2015)			m <sup>3</sup> /mês
Número de pavimentos habitáveis			
Número de apartamentos por andar			
Número de pessoas por apartamento			
Volume de água das bacias sanitárias por descarga			l/des
Número de descargas por dia por pessoa			
Volume total das bacias sanitárias			l/dia
Volume da máquina de lavar roupa por ciclo			l/Cic
Ciclos por pessoa por dia			Cic/pes/dia
Volume total da máquina de lavar roupa			l/dia
Volume de água por lavagem dos pisos			l/dia/m <sup>2</sup>
Frequência de lavagem de pisos			dias/mês
Área de pisos dos pavimentos			m <sup>2</sup>
Volume total de lavagem do piso dos pavimentos			l/mês
<b>Volume total interno</b>			<b>m<sup>3</sup>/mês</b>
Uso externo			
Volume por lavagem de carros			l/lavagem
Número de carros por apartamento			
Frequência de lavagem dos carros			dias/mês
Volume total da lavagem dos carros			l/mês
Volume de água por lavagem do térreo			l/dia/m <sup>2</sup>
Frequência de lavagem do térreo			dias/mês
Área do térreo construída			m <sup>2</sup>
Volume total de lavagem do térreo			l/mês
Volume do uso de torneiras no térreo com mangueiras			l/dia
Número de torneiras			
Dias de uso			dias/mês
Volume total com uso de torneiras			l/mês
Volume de água por lavagem da área construída da cobertura			l/dia/m <sup>2</sup>
Frequência de lavagem da cobertura			dias/mês
Área construída da cobertura			m <sup>2</sup>
Volume total de lavagem da cobertura			l/mês
<b>Volume total externo</b>			<b>m<sup>3</sup>/mês</b>
Porcentagem de Aproveitamento de Águas Pluviais			
<b>Vazão total de consumo mensal</b>			<b>m<sup>3</sup>/mês</b>

Percebe-se que o volume de consumo mensal relativo ao aproveitamento de águas pluviais não é a soma do consumo interno com o externo, pois o sistema sugerido mescla esse tipo de uso alternativo com o reúso de águas cinza. Portanto, deve ser calculada uma porcentagem para a otimização. Isso será explicado no item 4.7.

#### 4.4.1.3 Dados de precipitação

Evidentemente os dados de chuva são primordiais para a aplicação da metodologia de cálculo envolvendo o aproveitamento de águas pluviais. Na metodologia aqui abordada, foram tomados dados diários de 20 anos, para as 5 capitais contempladas, do dia 05 de outubro de 1997 ao dia 04 de outubro de 2017, o que aumenta de forma incontestável a precisão dos dimensionamentos, pois não envolve nenhum uso de média ou percentil, para se obter um resultado único de chuva, sendo, portanto, totalmente condizente com a realidade. Todos os dados foram tomados do

Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, BDMEP.

**Tabela 4: Dados de precipitação diários da série de 20 anos**

XXXXXXX	Dados Meteorológicos - Precipitação (mm)										
	Anos										
Dias	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	.	.	.	.
05/out											
06/out											
07/out											
08/out											
09/out											
10/out											
11/out											
12/out											
13/out											
14/out											
15/out											
16/out											
17/out											
.											
.											
.											
.											
.											
.											

## 4.4.2 Reúso de Águas Cinza

### 4.4.2.1 Consumo de água não potável

Esse item é semelhante ao item 4.4.1.2 desse relatório, com exceção da porcentagem de reúso de águas cinza, que, como dito, será explicado no item 4.7. Logo, basta repetir o preenchimento como mostrado na tabela 3.

### 4.4.2.2 Produção de águas cinza

Nesse item, é necessário calcular a quantidade produzida de águas cinza, passíveis de serem utilizadas novamente após tratamento, ressaltando que todos os afluentes vindos das pias de cozinha foram desprezados, devido ao alto teor de gordura e óleo.

Os dados populacionais foram replicados em relação ao aproveitamento de águas pluviais, já que o exemplo estudado é o mesmo.

Os parâmetros considerados com seus respectivos fatores de influência são:

- Volume total dos lavatórios
  - Vazão das torneiras do banheiro
  - Duração do uso

- Volume total dos chuveiros
  - Vazão dos chuveiros por banho
  - Duração do uso
  - Frequência de banhos
- Volume total da máquina de lavar roupa
  - Volume da máquina de lavar roupa por ciclo
  - Ciclos por pessoa por dia

É interessante destacar que, apesar de as águas oriundas de máquinas de lavar terem muitos sólidos totais, elas foram consideradas devido à necessidade de se abastecer totalmente a demanda em caso de estiagem prolongada, ou seja, apenas com consideração de chuveiros e lavatórios não é possível garantir o total atendimento ao volume requerido pelo edifício em todas as cidades testadas.

O produto dos fatores de influência pelo número total de pessoas permite descobrir a produção de águas cinza total mensal. Os valores da literatura podem ser obtidos na tabela 3. É importante destacar que o fator de correção utilizado com base nos dados do SNIS também deve ser utilizado aqui. Tem-se, portanto:

$$C_{Ch-Real} + C_{Lav-Real} + C_{Ml-Real} = \left(\frac{C_{SNIS}}{C_{Lit}}\right)(C_{Ch-Lit} + C_{Lav-Lit} + C_{Ml-Lit})$$

Com esses dados se torna possível preencher os campos da produção de águas cinza:

**Tabela 5: Produção de águas cinza das fontes consideradas para o edifício**

Produção de águas cinza			
Consumo per capita provável da literatura			m <sup>3</sup> /mês
Consumo per capita da cidade (média de 2012-2015)			m <sup>3</sup> /mês
Número de pavimentos habitáveis			
Número de apartamentos por andar			
Número de pessoas por apartamento			
Vazão das torneiras do banheiro			l/s
Duração do uso			min/pes/dia
Volume total dos lavatórios			l/dia
Vazão dos chuveiros por banho			l/s
Duração do uso			min
Frequência de banhos			
Volume total dos chuveiros			l/dia
Volume da máquina de lavar roupa por ciclo			l/Cic
Ciclos por pessoa por dia			Cic/pes/dia
Volume total da máquina de lavar roupa			l/dia
<b>Volume total produzido</b>			<b>m<sup>3</sup>/mês</b>

## 4.5 Dimensionamento dos componentes

O dimensionamento deve ser feito em diversas partes dos subsistemas de acordo com as características de cada região. Com o sistema escolhido, é possível determinar o porte de todos os elementos de forma mais realística possível para a determinação da proporção ótima entre o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza.

### 4.5.1 Aproveitamento de Águas Pluviais

Como explicado no item 4.3, o subsistema de aproveitamento de águas pluviais consiste em um sistema de captação, que direciona as águas para a cisterna. Durante esse processo, o fluxo passa pelo dispositivo de first flush e pelo filtro de areia.

Logo, esses componentes podem ser dimensionados segundo a demanda a que são submetidos. No sistema escolhido, entretanto, a cisterna é para uso comum dos efluentes provenientes do aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza. Portanto, para o subsistema isolado, os únicos componentes dimensionados são o first flush e o filtro de areia.

#### 4.5.1.1 First Flush

Para o correto dimensionamento do dispositivo do first flush é necessário predeterminar uma quantidade de chuva a ser desprezada. No edifício tratado, seguiu-se a recomendação de [17], que diz para haver descarte de 2 mm de chuva. Logo, já sabendo a área disponível dos telhados, pode-se determinar o volume a ser desprezado.

$$V_{descarte} = P_{descarte} * A_{disponível}$$

**Tabela 6: Parâmetros para volume descartado de chuva**

Volume do <i>first flush</i>			
Quantidade desprezada			mm
Área disponível do telhado			m <sup>2</sup>
Volume do <i>first flush</i>			m <sup>3</sup>

A partir daí, para o dimensionamento completo, basta definir a largura e o comprimento, por conveniência, e calcular a altura resultante.

$$H = \left( \frac{V_{descarte}}{C * L} \right)$$

No exemplo, a altura tomada pra o orifício do reservatório de autolimpeza foi de metade da altura total, o tempo de esvaziamento foi definido de 5 minutos e o

coeficiente de descarga, segundo [4], de 0,62. Daí, tira-se a vazão resultante e calcula-se o diâmetro do orifício.

$$A = \frac{Q}{C_d * \sqrt{g * H}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Sendo  $g$  a gravidade.

Como esse dispositivo tem dimensionamento constante devido à independência de características, ele foi fixado com as seguintes características:

- $V_{descarte} = 1,04 \text{ m}^3$
- $C = 1 \text{ m}$
- $L = 1 \text{ m}$
- $H = 1,04 \text{ m}$
- $Q = 3,45 \text{ l/s}$
- $A = 17,43 \text{ cm}^2$
- $D = 4,8 \text{ cm}$

Os valores podem ser calculados pela planilha a seguir, com as unidades indicadas.

**Tabela 7: Parâmetros para o dimensionamento do dispositivo de First Flush**

Dimensionamento do First Flush - Aproveitamento de Águas Pluviais			
Volume total útil			m <sup>3</sup>
Comprimento			m
Largura			m
Altura de água			m
Volume adotado			m <sup>3</sup>
Tempo de esvaziamento			min
Altura do orifício			m
Coefficiente de descarga			
Vazão de saída			m <sup>3</sup> /s
Área do orifício			m <sup>2</sup>
Diâmetro do orifício calculado			m
Diâmetro do orifício adotado			cm

#### 4.5.1.2 Filtro de areia

Para o dimensionamento do filtro de areia é necessário tomar uma quantidade de chuva determinada de modo a dar segurança sem exagerar no porte do filtro.

Para o edifício padrão, foi utilizada uma função do Microsoft Excel 2010 chamada percentil, que fornece um valor tal que certa porcentagem dos dados esteja com valor menor do que este. O valor escolhido foi de 90%, ou seja, foi tomado um

valor de precipitação a partir dos dados meteorológicos obtidos no item 4.4.1.3, de tal forma que 6575 dos 7305 valores de entrada de precipitação sejam inferiores a ele. Esse método fica a favor da segurança em relação ao método da chuva de projeto sugerido em [12], que prega uma chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos para coberturas.

Logo a vazão que atravessa o filtro de areia pode ser determinada pelas características do telhado e por essa precipitação definida.

$$Q = \left( \frac{P_{90\%} - P_{FF}}{1000} \right) * Coef_{Run} * A_{disponível}$$

A partir daí, é essencial definir alguns parâmetros de funcionamento do filtro como a taxa de filtração e o número de horas diárias de filtração à taxa definida. Para esse caso foram definidos:

- $t = 0,1$  m/h, recomendado por [3]
- $a = 8$  h

Com isso, basta calcular a área de funcionamento do filtro:

$$A = \frac{Q}{a * t}$$

O filtro de areia para esse caso foi escolhido com base retangular com o comprimento 2 vezes maior que a largura.

Determinada a geometria da base, ainda é necessário definir a altura do filtro. Segundo [10], os materiais presentes devem ser areia, pedra britada ou pedregulho. Já de acordo com [3] temos os seguintes intervalos de altura para os componentes do filtro:

Partes do filtro lento de areia	Mínimo (m)	Máximo (m)
Lâmina de água	0,15	1,50
Camada de areia	0,60	0,90
Camada suporte	0,30	0,40
Sistema drenante	0,15	0,30
Borda livre	0,25	0,25
Total	1,45	3,35

Figura 42: Parâmetros geométricos das partes do filtro lento de areia [3]

Para o filtro de areia do edifício em questão, foram arbitradas as medidas:

- $H_{LA} = 0,25$  m
- $H_{CA} = 0,6$  m
- $H_{CS} = 0,3$  m, sendo 0,1 m de brita e 0,2 m de pedregulho

- $H_{SD} = 0,15 \text{ m}$
- $H_{BL} = 0,25 \text{ m}$

Logo, a altura total do filtro foi definida como 1,55 m.

O volume do filtro fica determinado como:

$$V_{Filtro} = A * H_{Total}$$

Um detalhe a se observar é que segundo Hespanhol (1987), o número de filtros deve ser:

$$N = 0,051 * \sqrt{Q}$$

Sendo  $N \geq 2$ , com Q em m<sup>3</sup>/dia. Esse número advém da necessidade de haver alternância no uso para haver digestão no material retido e remoção do excesso de sólidos na superfície de acordo com [10].

Os valores podem ser calculados pela planilha a seguir, com as unidades indicadas.

**Tabela 8: Parâmetros para o dimensionamento do Filtro de Areia**

Dimensionamento do Filtro de Areia - Aproveitamento de Águas Pluviais			
Volume tratado			m <sup>3</sup> /dia
Taxa de operação			m/h
Tempo de funcionamento			h
Área do filtro calculada			m <sup>2</sup>
Razão Comprimento/Largura			
Largura calculada			m
Largura adotada			m
Comprimento adotado			m
Área do filtro adotada			m <sup>2</sup>
Lâmina de água			m
Camada de areia			m
Camada suporte (0,1 m de brita e 0,2 m de pedregulho)			m
Sistema drenante			m
Borda livre			m
Altura total			m
Volume de água no reservatório			m <sup>3</sup>
Volume do filtro de areia			m <sup>3</sup>
Número de filtros			

#### 4.5.2 Reúso de Águas Cinza

Como explicado no item 4.3, o subsistema de reúso de águas cinza consiste em um sistema de tubulações que separam os fluxos de esgoto sanitário, sendo posteriormente uma bomba responsável pela elevação de uma parte da demanda para as unidades de tratamento. Estas, por sua vez, contêm um reator UASB, seguido de filtro anaeróbio e vala de filtração. Após esse processo, as águas são encaminhadas para a cisterna.

Conforme o mesmo item, a cisterna tem uso previsto conjunto, ou seja, para o sistema isolado de reúso de águas cinza são dimensionados o reator UASB, o filtro anaeróbio, vala de filtração, bomba centrífuga e o lodo produzido.

#### 4.5.2.1 Reator UASB

O que determina as dimensões do reator UASB é primariamente a quantidade de esgoto a ser tratada pelo subsistema de reúso de águas cinza. Essa quantidade depende da porcentagem resultante da otimização gerada pelo software. A partir desse volume diário recalculado pode se obter a vazão média diária.

O reator calculado para o edifício consiste de 2 compartimentos sendo um digestor propriamente dito e um decantador, sendo que eles apresentam o tempo de detenção hidráulica diferenciados. Esse conceito se refere à relação entre o volume útil do reator e a volume afluente tratado.

Para o digestor, [15] indica os seguintes tempos de detenção hidráulica dependentes da temperatura média do esgoto no mês mais frio para a vazão média:

- 6 h, para temperaturas maiores do que 25 °C
- 7 h, para temperaturas entre 22 e 25 °C
- 8 h, para temperaturas entre 18 e 21 °C
- 10 h, para temperaturas entre 15 e 17 °C

Porém, essas indicações são dadas para esgoto bruto, o que não é o caso nesse trabalho. Por isso, optou-se por seguir a ideia adotada por [6], onde é tratado exaustivamente o reúso de águas cinza. Nessa tese, ficou determinado que o reator anaeróbio deve ter 12 h de tempo de detenção hidráulica, já que o esgoto tratado é bem menos biodegradável que o bruto. Como o trabalho foi realizado na cidade de Vitória-ES, cuja temperatura média do mês mais frio é de 22,5°C, é necessário adequar para uma dada cidade qualquer, utilizando uma interpolação linear com as informações da norma. Com isso, os tempos de detenção hidráulica adotados foram:

- $TDH = \frac{6 \cdot 12}{7} \cong 10,29 \text{ h}$ , para temperaturas maiores do que 25 °C
- $TDH = 12 \text{ h}$ , para temperaturas entre 22 e 25 °C
- $TDH = \frac{8 \cdot 12}{7} \cong 13,71 \text{ h}$ , para temperaturas entre 18 e 21 °C
- $TDH = \frac{10 \cdot 12}{7} \cong 17,14 \text{ h}$ , para temperaturas entre 15 e 17 °C

Tendo o volume diário e o tempo de detenção hidráulica referente às condições de determinada cidade, é possível obter o volume do digestor.

$$V_{digestor} = TDH * V_{\% \text{ do reuso}}$$

Com o volume do compartimento de digestão medido e sabendo que segundo [9], a altura útil de um reator de manta de lodo deve variar de 4 a 5 m, sendo de 2,5 a 3,5 m para o digestor e 1,5 a 2 m para o decantador, torna-se possível a determinação das dimensões restantes.

No reator sugerido para o edifício, adotou-se altura de 2,5 m para o compartimento de digestão e 1,5 m para o de decantação, perfazendo 4 m de altura total útil. Nesse trabalho também ficou determinada uma proporção de 2 para 1 entre comprimento e largura do reator, que possui base retangular. A área útil é dada por:

$$A_{\text{útil}} = \frac{V_{digestor}}{4}$$

Outro fator a se destacar é verificar a velocidade ascensional no compartimento de digestão. Quando calculada a partir da vazão média, não deve exceder 0,7 m/h [15].

$$V_{ascensional} = \frac{Q_{\text{média}}}{A_{\text{útil}}}$$

Por fim, ainda é possível calcular a vazão máxima afluyente com base nos coeficientes de consumo máximo diário ( $k_1 = 1,2$ ) e consumo máximo horário ( $k_2 = 1,5$ ), conforme a NBR 9649/1986.

$$Q_{\text{máxima}} = Q_{\text{média}} * k_1 * k_2$$

De um modo geral, a velocidade ascensional não deve superar 1,2 m/h para essa vazão.

Alguns autores também apresentam restrições quanto ao tempo de detenção hidráulica para essa vazão, como [16], que sugere, para o esgoto bruto:

- 4 h ou mais para esgotos brutos com temperatura maior que 26 °C
- 4 a 6 h para esgotos brutos com temperatura entre 20 e 26 °C
- 7 a 9 h para esgotos brutos com temperatura entre 16 e 19 °C

Sendo que o prolongamento máximo deve ser de 4 a 6 h para os picos de vazão máxima.

O campo da espessura das paredes será mais bem detalhado no item 4.6, mas ficou determinado de 40 cm. O perigo de dano às estruturas de digestores devido à agressividade do seu conteúdo é real e tem sido observado na prática, como no caso de um reator em Cali, na Colômbia, em que houve dissolução de 10 mm das paredes do

reator durante os primeiros 4 anos de operação (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Os valores podem ser calculados pela planilha a seguir, com as unidades indicadas.

**Tabela 9: Parâmetros para o dimensionamento do reator UASB**

Dimensionamento do reator UASB - Reuso de Águas Cinza			
População do edifício			
Vazão de consumo per capita por dia			m <sup>3</sup> /pes/dia
k1			
k2			
Vazão média			l/s
Vazão máxima			l/s
Temperatura média do mês mais frio			°C
Tempo de detenção hidráulica para a vazão média			h
Tempo de detenção hidráulica para a vazão máxima			h
Altura adotada da ETAC-Digestão			m
Altura adotada da ETAC-Decantação			m
Volume calculado do reator			m <sup>3</sup>
Razão comprimento/largura			
Largura calculada do reator			m
Largura adotada do reator			m
Comprimento adotado do reator			m
Volume final de digestão			m <sup>3</sup>
Volume final de decantação			m <sup>3</sup>
Volume final do reator			m <sup>3</sup>
Velocidade ascensional da digestão			m/h
Espessura das paredes			m

#### 4.5.2.2 Filtro anaeróbio

Para o dimensionamento do filtro anaeróbio, é necessário lançar mão de [10]. Inicialmente, algumas medidas devem ser impostas. A altura útil foi adotada como 1,8 m, já contabilizando o fundo falso, e segundo Chernicharo (2001) o tempo de detenção hidráulica para filtros anaeróbios como pós-tratamento de reatores UASB foi definido como na figura 43.

Critério ou parâmetro de projeto	Faixa de valores, em função da vazão		
	Vazão média	Vazão máxima diária	Vazão máxima horária
Meio suporte	pedra	pedra	pedra
Profundidade do meio suporte (m)	0,8 a 3,0	0,8 a 3,0	0,8 a 3,0
Tempo de detenção hidráulica (h)	5 a 10	4 a 8	3 a 6
Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	6 a 10	8 a 12	10 a 15
Carga orgânica (kg DBO/m <sup>3</sup> .d)	0,15 a 0,50	0,15 a 0,50	0,15 a 0,50
Carga orgânica no meio suporte (kg DBO/m <sup>3</sup> .d)	0,25 a 0,75	0,25 a 0,75	0,25 a 0,75

**Figura 43: Tempo de detenção hidráulica para filtro anaeróbio como pós-tratamento de reatores UASB (CHERNICHARO, 2001)**

No caso desse trabalho, como se trata apenas de águas cinza, optou-se por estimar o tempo de detenção hidráulica como 10 h para a vazão média, a favor da segurança, devido à busca por melhor eficiência no tratamento de afluentes pouco biodegradáveis.

No exemplo em questão, o filtro anaeróbio foi dividido em 2 câmaras de mesmo tamanho e o volume total foi estimado utilizando [10], que diz que:

$$V_{util} = 1,6 NCT$$

Em que N é o número de contribuintes, C é a contribuição diária de esgoto por dia e por habitante e T é o tempo de detenção hidráulica.

A largura do filtro foi adotada de 0,5 m e a base, como retangular, calculando-se assim o comprimento.

Os valores podem ser obtidos pela planilha a seguir, com as unidades indicadas.

**Tabela 10: Parâmetros para o dimensionamento do Filtro Anaeróbio**

Dimensionamento do Filtro Anaeróbio - Reuso de Águas Cinza			
Altura útil			m
Altura do leito filtrante			m
Tempo de detenção			h
Número de câmaras			
Volume útil			m <sup>3</sup>
Largura adotada			m
Comprimento calculado			m
Comprimento adotado			m
<b>Volume útil final do filtro anaeróbio</b>			<b>m<sup>3</sup></b>
Volume útil da câmaras			m <sup>3</sup>

#### 4.5.2.3 Vala de filtração

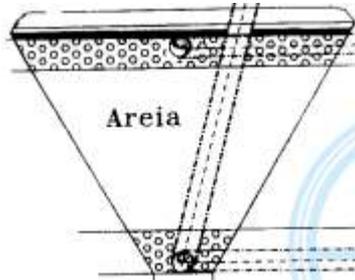
Para a vala de filtração, [10] determina uma taxa de aplicação de 100 L/m<sup>2</sup>/dia para efluentes diretos de fossa séptica, o que pode ser estendido para reator UASB. Logo, para o correto dimensionamento, basta tomar o volume total tratado pelo subsistema de reúso de águas cinza e calcular a área necessária.

$$A_{util} = \frac{V_{tratado}}{T_{aplicação}}$$

Nesse trabalho, foi adotado que as áreas do jardim deveriam servir como via de passagem da água de reúso para a vala de filtração. Ou seja, eles serviam de cobertura vegetal, sendo inseridos outros materiais filtrantes.

Ficou determinado um total de no mínimo de 2 valas de filtração com operação alternada para permitir a digestão aeróbia de material retido na vala de filtração e desobstrução dos poros do meio filtrante [10].

As valas foram adaptadas para os jardins de modo que tenham formato trapezoidal em corte, com inclinação das paredes de 45°, com uma camada de areia intercalando duas de brita. As medidas adotadas podem ser vista a seguir.



**Figura 44: Corte transversal de uma vala de filtração típica [10]**

- $H_{1^{\text{a}} \text{ camada de brita}} = 0,2 \text{ m}$
- $H_{\text{camada de areia}} = 0,7 \text{ m}$
- $H_{2^{\text{a}} \text{ camada de brita}} = 0,2 \text{ m}$
- $C = 8,87 \text{ m}$
- $B = 2,8 \text{ m}$
- $b = 0,6 \text{ m}$

É importante observar que a área dedicada às valas de filtração deve ser no mínimo igual à de jardins. Caso haja regiões em excesso de gramados, deve haver a alternância entre as linhas de fluxo.

Nesse caso, portanto, para cada vala de filtração:

$$V_{\text{util}} = 16,59 \text{ m}^3$$

Utilizando a planilha:

**Tabela 11: Parâmetros para o dimensionamento da Vala de Filtração**

Dimensionamento da Vala de Filtração - Reuso de Águas Cinza				
Volume tratado			m <sup>3</sup> /dia	
Taxa de aplicação			m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia	
Área do filtro calculada			m <sup>2</sup>	
Área de jardins			m <sup>2</sup>	OK
Comprimento da vala			m	
Largura máxima da vala			m	
Largura mínima da vala			m	
Altura da areia			m	
Altura da 1ª camada de brita			m	
Altura da 2ª camada de brita			m	
Volume total			m <sup>3</sup>	
Número de valas				

#### 4.5.2.4 Bomba

O dimensionamento da bomba depende do volume de águas cinza recalado até a ETAC. As horas de funcionamento são determinadas pela demanda. Isto é, se todo o volume de águas cinza produzido pelo edifício for tratado pelo subsistema de águas cinza, ela trabalha durante 12 h. Já se o volume for de metade a bomba trabalharia o seu mínimo de 6 h, sendo, portanto, o número de horas proporcional ao volume requerido.

Há de se considerar uma altura manométrica, mas já que o escopo do trabalho não contempla o dimensionamento de tubulações, com as respectivas perdas de carga, e a introdução de perdas localizadas, optou-se apenas por uma estimativa em cada caso.

Com o volume total tratado e o tempo de funcionamento adequado, é simples o cálculo da vazão da bomba:

$$Q = \frac{V_{tratado}}{T_{funcionamento}}$$

Como evidentemente a bomba dimensionada será de pequenas dimensões, ela foi considerada com rendimento de 60%, de acordo com Macintyre (1997).

Logo, a sua potência pode ser determinada por:

$$P_{el} = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{\eta}$$

Independente da cidade escolhida, como será visto nos tópicos posteriores, a bomba terá uma pequena potência, já que a demanda não é tão grande. Posto isso, a bomba escolhida será de 0,5 CV. Além disso, segundo a NBR 12214/1992 determina a utilização de no mínimo 2 bombas, para haver o revezamento, evitar o desgaste excessivo e impedir a parada do subsistema em caso de falhas.

Na planilha, há os seguintes campos a serem preenchidos:

**Tabela 12: Parâmetros para o dimensionamento da Bomba do subsistema de Reúso de Águas Cinza**

Dimensionamento da Bomba - Reuso de Águas Cinza			
Volume de água não potável diário recalado			m <sup>3</sup> /dia
Horas de funcionamento da bomba			h
Altura manométrica			m
Vazão da bomba calculada			m <sup>3</sup> /h
Rendimento			
Potência da bomba calculada em W			W
Potência da bomba calculada em HP			HP
Potência da bomba escolhida			CV
Número de bombas			

#### 4.5.2.5 Lodo

A produção de lodo é um dos fatores a se levar em consideração em qualquer tratamento biológico de esgoto. Tomando como base [16] e [6], o cálculo do volume gerado pelo reator UASB usa os seguintes parâmetros:

- Coeficiente de produção de sólidos do esgoto bruto a 23°C

Para o exemplo em questão, foi utilizado  $Y_{bruto} = 0,18 \text{ kgSST/kgDQO}_{apl}$  [16].

- Coeficientes de desoxigenação do esgoto bruto, das águas providas dos lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar

Segundo [6], quanto menor o valor desse coeficiente menor é a velocidade de decomposição daquela parcela do esgoto.

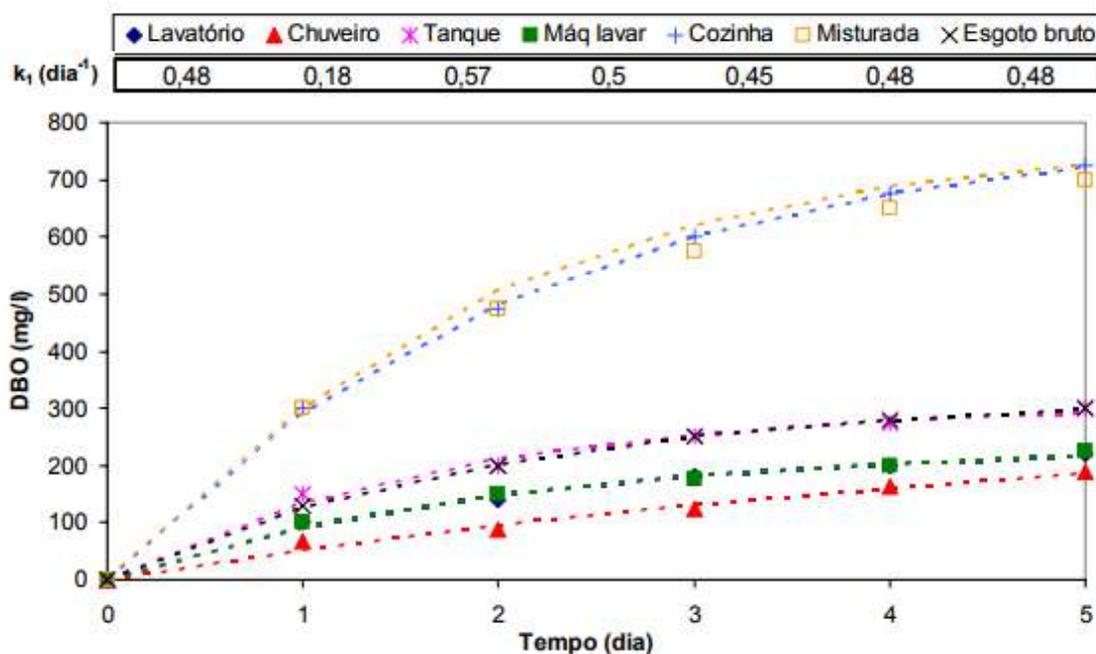


Figura 45: Curvas de biodegradabilidade de águas cinza e de esgoto bruto [6]

Pela figura, podem-se obter os coeficientes de interesse para cada uma das fontes de águas cinza do edifício:  $k_{1-bruto} = 0,48$ ;  $k_{1-chuv} = 0,18$ ;  $k_{1-lav} = 0,48$ ;  $k_{1-máq. lav} = 0,5$ .

Tendo esses parâmetros, optou-se por se fazer uma média ponderada da produção de águas cinza do edifício por cada fonte, para só então calcular o coeficiente de produção de sólidos equivalente.

Logo, tem-se:

$$k_{1-mix} = \frac{V_{chuv}k_{1-chuv} + V_{lav}k_{1-lav} + V_{máq. lav}k_{1-máq. lav}}{V_{chuv} + V_{lav} + V_{máq. lav}}$$

$$Y_{mix} = \frac{Y_{bruto}k_{1-mix}}{k_{1-bruto}}$$

Ainda de acordo com [16], pode-se estimar a DQO afluente como 600 mg/L de esgoto bruto. Tendo o volume total tratado pelo reator UASB, é possível calcular a carga afluente média de DQO:

$$DQO_{diária} = DQO_{afluente} V_{\text{águas cinza}}$$

A produção total de lodo é dada por:

$$P_{lodo} = Y_{mix} DQO_{diária}$$

O volume total é obtido sabendo que a densidade do lodo é de  $\gamma_{lodo} = 1020 \text{ kg/m}^3$ , que a concentração esperada para o lodo de descarte é de  $C = 4\%$  e usando:

$$V_{lodo-23^{\circ}C} = \frac{P_{lodo}}{\gamma_{lodo} * C}$$

Porém, esse valor foi calculado para uma temperatura de 23°C. Sendo assim, deve-se utilizar um artifício por meio de [11], que trata da taxa de acumulação de lodo para um determinado intervalo de limpeza de fossa séptica e para uma dada temperatura média do mês mais frio.

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

**Figura 46: Taxa de acumulação total de lodo K, em dias, para intervalo de 1 ano de limpeza e temperatura do mês mais frio [11]**

Estendendo esse conceito para o reator UASB e considerando limpeza anual, pode-se fazer o seguinte ajuste em função da temperatura:

- Se  $T \leq 10^{\circ}C$ ,  $I = \frac{94}{57} \cong 1,65$
- Se  $10^{\circ}C < T \leq 20^{\circ}C$ ,  $I = \frac{65}{57} \cong 1,14$

- Se  $T > 20^{\circ}\text{C}$ ,  $I = 1$

Por fim, basta corrigir o valor obtido de volume de lodo por esse índice.

$$V_{\text{lodo-T}} = V_{\text{lodo-23}^{\circ}\text{C}} * I$$

Na tabela a seguir todos os valores podem ser preenchidos de acordo com o que foi explanado.

**Tabela 13: Parâmetros para o dimensionamento da produção de Lodo**

Dimensionamento do Lodo - Reuso de Águas Cinza			
Coefficiente de produção de sólidos do esgoto bruto (T=23°C)			kgSST/kgDQO
Coefficiente de desoxigenação do esgoto bruto			1/dia
Coefficiente de desoxigenação dos lavatórios			1/dia
Coefficiente de desoxigenação dos chuveiros			1/dia
Coefficiente de desoxigenação das máquinas de lavar			1/dia
Vazão de águas cinza dos lavatórios			l/dia
Vazão de águas cinza dos chuveiros			l/dia
Vazão de águas cinza das máquinas de lavar			l/dia
Coefficiente de desoxigenação do mix de águas cinza			1/dia
Coefficiente de produção de sólidos do mix de águas cinza			kgSST/kgDQO
Vazão afluyente de águas cinza			m <sup>3</sup> /dia
DQO afluyente			kg/m <sup>3</sup>
Carga afluyente média de DQO			kgDQO/dia
Produção de lodo			kgSST/dia
Densidade do lodo			kg/m <sup>3</sup>
Concentração esperada para o lodo de descarte			
Volume de lodo inicial			m <sup>3</sup> /dia
Temperatura média do mês mais frio			°C
Índice de ajuste pela temperatura			
Volume de lodo final			m <sup>3</sup> /dia

### 4.5.3 Sistema em comum

#### 4.5.3.1 Reservatório de armazenamento

O objetivo desse trabalho de graduação está intimamente conectado à ideia de uso simultâneo da cisterna, de modo a aproveitar duas fontes alternativas para a água fornecida pela concessionária. O modo como ele foi dimensionado leva em consideração o volume requerido por cada um dos subsistemas supracitados para o abastecimento dos habitantes do prédio.

- Aproveitamento de Águas Pluviais

Para o cálculo do volume referente ao reservatório de águas pluviais, é necessário inicialmente escolher o método de cálculo. No exemplo tratado, foi utilizado para o dimensionamento final o Método da Simulação, explicado no item 3.2.4 desse relatório. Em nível de comparação, foram utilizados o Método de Azevedo Neto e o Método de Rippl.

O Método da Simulação foi adotado por levar em conta a confiabilidade dos dados de chuva e por evitar a antieconomia ou a falta de segurança geradas pelos outros métodos. Devido ao teor mais recursivo do método de cálculo (que será mais bem explicado no item 4.7) há uma adaptação de forma que o reservatório não precise ser definido de antemão, sempre buscando a otimização. Isso já tira a aleatoriedade do método e a necessidade de o reservatório estar cheio, além de permitir flexibilizar o uso conjunto com o reúso de águas cinza.

De modo mais detalhado, pode-se dizer que foram utilizados dados de séries históricas de precipitação de 20 anos para cada cidade testada, como já explicado no item 4.4.1.3. Isso evita arbitrariedades e permite um cálculo mais confiável. Na planilha, os dados de entrada se referem aos seguintes campos:

- Demanda diária: esse item leva em conta toda a demanda de água não potável do edifício que o método determina que deva ser proveniente do sistema de captação de águas pluviais.
- Área disponível do telhado
- Volume de chuva diário: nesse item basta multiplicar a precipitação pela área do telhado e retirar o volume a ser descartado no first flush, sendo, obviamente, nulo o valor mínimo a ser aproveitado.
- Volume do reservatório: esse é o valor de retorno e faz parte do cálculo recursivo a ser destrinchado no item 4.7.
- Nível anterior e posterior do reservatório: esses campos fazem parte do Método da Simulação, utilizados para verificar o nível d'água.
- Overflow e suprimento: apenas mostram o valor a ser descartado por excesso ou a quantidade a ser suplementada por outra fonte, no caso, o reúso de águas cinza.
- Atendimento do dia: essas células mostram se foi possível abastecer a demanda diária daquele dia ou se foi necessário suprimento externo.

Além desses pontos, é importante destacar que no presente projeto foi estabelecido um nível de confiabilidade de 75% tanto para a confiabilidade de atendimento diária, que trata da proporção de dias completamente atendidos pela chuva, como a confiabilidade volumétrica, que trata da porcentagem do volume a ser complementado. Esse nível, considerado confiável, pode ser maximizado, mas devido ao método ser uma estimativa geral de gastos, optou-se por ser mais conservador.

**Tabela 14: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método da Simulação**

Precipitações diárias		Método da Simulação						
Dias	Precipitação (mm)	Demanda diária (m³)	Área disponível do telhado (m²)	Volume de chuva diário (m³)			Confiabilidade (%)	
							Dias	Volumétrica
05/out/97								
06/out/97								
07/out/97								
08/out/97								
09/out/97								
10/out/97								
11/out/97								
12/out/97								
13/out/97								
14/out/97								
15/out/97								
16/out/97								
17/out/97								
18/out/97								
19/out/97								
20/out/97								
21/out/97								
22/out/97								
.								
.								
.								
.								

Para efeito de comparação, como dito, foram calculados os volumes dos reservatórios de acordo com os outros dois métodos.

Para o Método de Azevedo Neto, tem-se a seguinte fórmula segundo [17]:

$$V_{reservatório} = 0,042 * P * A * T$$

Em que:

- P é a precipitação média anual em mm
- A é área de coleta em projeção em m<sup>2</sup>
- T é o número de meses de pouca chuva ou seca
- $V_{reservatório}$  é o volume do reservatório dado em L

Para o edifício analisado, os dias de cada ano foram separados em períodos de 30 dias, e considerou-se um mês com pouca chuva caso 25 ou mais desses dias não tivessem chuva a se aproveitar. Após isso, tomou-se a média dos meses com pouca chuva dos 20 anos, sempre arredondando para cima, a favor da segurança. O resultado pode ser preenchido na planilha.

**Tabela 15: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método de Azevedo Neto**

Método prático de Azevedo Neto			
Número médio de dias do ano sem chuva	N		
Meses sem chuva	M		
Precipitação média anual para 20 anos	P <sub>média</sub>		mm
Área disponível do telhado	A		m <sup>2</sup>
<b>Volume do reservatório</b>	<b>V<sub>1</sub></b>		<b>m<sup>3</sup></b>

Na utilização do Método de Rippl para o edifício, alguns campos foram considerados:

- Demanda diária
- Área disponível do telhado
- Volume de chuva diário
- Diferença entre demanda e oferta: subtração entre o primeiro e terceiro campos, dia a dia
- Diferença acumulada: esse campo mostra a variação do nível de água no reservatório de acordo com o item anterior, dia a dia.

Assim para determinar o volume do reservatório, basta tomar o maior valor da coluna das diferenças acumuladas.

Os dados podem ser obtidos pela planilha a seguir:

**Tabela 16: Dimensionamento do reservatório de AAP com os parâmetros referentes ao Método de Rippl**

Precipitações diárias		Método de Rippl				
Dias	Precipitação (mm)	Demanda diária (m <sup>3</sup> )	Área disponível do telhado (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva diário (m <sup>3</sup> )	Diferença entre demanda e oferta(m <sup>3</sup> )	Diferença Acumulada (m <sup>3</sup> )
05/out/97						
06/out/97						
07/out/97						
08/out/97						
09/out/97						
10/out/97						
11/out/97						
12/out/97						
.						
.						
.						
.						
.						

Tendo calculado o volume necessário de reservatório pelos 3 métodos, pode-se obter a planilha com os resultados finais. É digno de nota o campo que mostra o volume efetivamente tratado. Isso se refere à quantidade que não pode ser suprida pelas chuvas, ou seja, tem que provir do reúso de águas cinza.

Tabela 17: Seleção do volume de cálculo do reservatório para o AAP e volume efetivamente tratado

Volume escolhido			
Volume pelo Método Azevedo Neto			m <sup>3</sup>
Volume pelo Método de Rippl			m <sup>3</sup>
Volume pelo Método da Simulação			m <sup>3</sup>
<b>Volume calculado do reservatório</b>			<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Volume efetivamente tratado</b>			<b>m<sup>3</sup>/mês</b>

- Reúso de Águas Cinza

A NBR 5626/1998 dá a liberdade de determinar as proporções entre o volume dos reservatórios superior e inferior de modo mais adequado a uma situação específica, desde que se seja criterioso. No prédio tratado, ficou determinado que o volume necessário para os reservatórios devido ao reúso de águas cinza seria dividido na proporção de 40% e 60%, para os reservatórios superior e inferior, respectivamente, considerando a obrigação de abastecer o consumo de água não potável de 2 dias, na quantidade referente a esse subsistema. Logo, para a ETAC utilizada o volume do reservatório inferior dá-se por:

$$V_{\text{reservatório}} = 1,2 * C_{\text{diário}}$$

Na planilha:

Tabela 18: Parâmetros para o dimensionamento do reservatório de Reúso

Dimensionamento do Reservatório - Reuso de Águas Cinza			
Volume de água não potável diário recalcado			m <sup>3</sup> /dia
Tempo de reservação			dia
<b>Volume calculado do reservatório</b>			<b>m<sup>3</sup></b>

Com os volumes dimensionados individualmente, procede-se com o dimensionamento do reservatório em comum. Para isso, somam-se os volumes requeridos pelos 2 subsistemas para se obter um valor total. Esse último passo está a favor da segurança considerando que já deveria haver um reservatório para a água potável que estaria sendo reduzido, não necessitando, portanto, acrescer o volume do reservatório de reúso de águas cinza.

Para a determinação final das medidas e por necessidades construtivas, adotou-se a altura de 1 ou 2 m, dependendo do volume. Também foi imposta uma razão de 1,5 para comprimento e largura e que espessura da parede do reservatório seria de 15 cm.

Pode-se fazer o cálculo com a planilha a seguir:

**Tabela 19: Parâmetros para o dimensionamento da Cisterna**

Dimensionamento da Cisterna - Sistema em comum			
Volume total calculado			m <sup>3</sup>
Altura escolhida			m
Razão comprimento/largura			
Largura calculada			m
Largura adotada			m
Comprimento calculado			m
Comprimento adotado			m
Espessura da parede			m
Volume total adotado			m <sup>3</sup>

#### 4.5.3.2 Bomba

Para o dimensionamento da bomba do subsistema comum, é necessário somar os volumes dos outros dois subsistemas, o que totaliza a demanda diária da vila.

Segundo Macintyre (1997), essas bombas colocadas em apartamentos têm funcionamento previsto de 3 períodos de 1,5 h, em um total de 4,5 h por dia. Com isso, é de fácil determinação a vazão diária de recalque:

$$Q_{diária} = \frac{V_{diário}}{4,5}$$

Ainda pela arquitetura, pode-se estimar uma altura manométrica, apenas para efeito de cálculo, desprezando-se as perdas de carga. A potência pode ser determinada como no item 4.5.2.4.

De qualquer forma, verifica-se que uma bomba de 0,5 CV é suficiente já que a vazão predial de água não potável não é tão substancial. Como previsto em norma, 2 bombas devem ser adquiridas, para se evitar problemas.

Na planilha, há as seguintes células a serem preenchidas:

**Tabela 20: Parâmetros para o dimensionamento da Bomba do subsistema Comum**

Dimensionamento da Bomba - Sistema em comum			
Volume diário afluyente			m <sup>3</sup> /dia
Horas de funcionamento da bomba			h
Vazão de projeto			m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica			m
Potência da bomba calculada em W			W
Rendimento			
Potência da bomba calculada em HP			HP
Potência da bomba escolhida			CV
Número de bombas			

#### 4.5.3.3 Reservatório de distribuição

Respaldado pela NBR 5626/1998, determinou-se que o reservatório superior deve ter capacidade suficiente para suprir 40% do consumo da população do prédio em 2 dias sem abastecimento. Logo:

$$V_{\text{reservatório}} = 0,8 * C_{\text{diário}}$$

No caso desse estudo, foram adotadas caixas d'água de 5000 litros de fibra de vidro.

Os valores podem ser obtidos pela planilha a seguir:

**Tabela 21: Parâmetros para o dimensionamento do Reservatório Superior**

Dimensionamento do Reservatório Superior - Sistema em comum			
Consumo diário de águas não potáveis			m <sup>3</sup> /dia
Tempo de reservação			dia
Volume do reservatório superior			l
Caixa d'água adotada			l

#### 4.5.3.4 Desinfecção

Como já foi mencionado acima, a desinfecção das águas aproveitáveis, tanto provindas do aproveitamento de águas pluviais como do reúso de águas cinza, devem sofrer algum processo adicional de eliminação de patógenos. No caso em estudo, foi escolhida a desinfecção por cloro, na forma de solução de hipoclorito de sódio, que pode ser dosado por uma unidade de desinfecção à medida que haja o recalque da demanda.

Para o correto dimensionamento da quantidade adequada de solução a se utilizar, tem-se que tomar o volume tratado por dia e dividir pelas horas de funcionamento. Como mostrado no item 4.5.3.2, a bomba funciona durante 4,5 h por dia. Portanto, pode-se calcular a vazão diária tratada.

$$Q_{\text{tratada}} = \frac{V_{\text{tratado}}}{4,5}$$

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os efluentes anaeróbios requerem uma dosagem de 6 a 13 mg/l de hipoclorito. No nosso caso, foi aplicada uma dosagem de 10 mg/L. Com a já obtida vazão, basta calcular a quantidade de cloro a se aplicar por tempo de funcionamento.

$$D_{\text{cloro}} = Q_{\text{tratada}} * 10$$

Por fim, considerou-se uma solução de 10% de hipoclorito de sódio, ou seja, de 0,1 g/mL. Daí, basta calcular o volume de solução por dia:

$$V_{\text{solução}} = \frac{D_{\text{cloro}}}{0,1}$$

A tabela a seguir auxilia nos cálculos:

**Tabela 22: Parâmetros para o dimensionamento da Desinfecção**

Dimensionamento da Desinfecção - Sistema em comum			
Volume mensal tratado			m <sup>3</sup> /mês
Horas de funcionamento da bomba			h
Vazão diária tratada			l/h
Concentração adotada de cloro ativo			mg/l
Dosagem por hora			mg/h
Dosagem por dia			g/dia
Concentração da solução de hipoclorito de sódio			g/ml
Volume da solução			ml/dia

## 4.6 Custos

O cálculo de custos é um dos pontos centrais desse relatório. Ele se relaciona intrinsecamente com todos os tópicos abordados anteriormente, já que leva em consideração o contexto de cada localidade, o funcionamento geral do sistema e o dimensionamento de cada componente. Foi feito um estudo metódico para determinar os custos associados a cada subsistema de modo a formular um raciocínio que pudesse clarificar qual a melhor alternativa de fonte de água não potável.

No método adotado, optou-se por fazer a análise da vida útil para o sistema proposto com a intenção de compará-lo com o abastecimento externo. Considerou-se uma maneira de cálculo mais confiável e palpável, já que mostra a diferença de investimentos ao longo do tempo. A otimização, portanto, de forma resumida, consiste em determinar qual combinação de uso dos subsistemas gera menor custo no ciclo de vida.

Esses custos relativos foram divididos em custo imediatos, que são aqueles que ocorrem na implantação, e custo contínuos, que podem ser ainda subdivididos em valores presentes simples, que são aqueles que são pontuais no tempo, e valores presentes uniformes, que são aqueles que acontecem periodicamente, no caso, anualmente.

As formas de se obter esses custos são diversas. No presente trabalho, adotaram-se as planilhas de setembro de 2017 fornecidas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, SINAPI, que estabelece regras e critérios para a elaboração do orçamento de obras e serviços de engenharia e é vastamente utilizado para referências de custo. As planilhas utilizadas foram de 2 tipos, sendo ambas desoneradas, que são passíveis de recolhimento de cerca de 1% a 2% da receita bruta da empresa para as contribuições previdenciárias:

- Preço dos insumos, que abrange o custo das matérias-primas e equipamentos em si.
- Preço das composições sintéticas, que abrange as atividades envolvidas na realização de um serviço, incluindo materiais.

Esse sistema possibilita tomar preços nos 26 estados e no Distrito Federal, logo ele permite um cálculo mais realista de custos, já que se baseia, em diversos casos, nas condições locais de estabelecimento de preços.

Ainda há de se destacar o uso dos Benefícios e Despesas Indiretas, BDI, que é um elemento orçamentário que ajuda o profissional responsável pelos orçamentos da Construção Civil a compor o preço de venda adequado levando em conta os custos indiretos, sendo considerado o valor de 30% nesse trabalho sobre todos os materiais e serviços relacionados à obra, já que o SINAPI não considera esse percentual de acréscimo.

Apesar das inúmeras possibilidades de utilização de materiais e métodos construtivos, alguns comentários pertinentes devem ser feitos para a completa compreensão dos resultados posteriores, já que a totalização desses custos para o aproveitamento de águas pluviais, reúso de águas cinza e sistema em comum dará a dimensão do montante exigido no longo prazo para implantar essa técnica ainda inovadora.

#### **4.6.1 Aproveitamento de Águas Pluviais**

Os custos considerados para o subsistema de aproveitamento de águas pluviais foram todos de caráter imediato:

- Cisterna
- Filtros de areia

O primeiro, na verdade, precisa ser ponderado pela porcentagem do volume total de construção que é demandado apenas por esse subsistema. Isto é, como o sistema prevê a implantação de uma cisterna de uso comum, apenas uma parte do custo dela é alusiva a esse tipo de aproveitamento. Esse custo será esmiuçado no item 4.6.3.

O segundo leva em consideração apenas os materiais mais importantes para compor o filtro de areia, atentando-se ao fato do filtro estar enterrado e necessitar de

alguns procedimentos construtivos. Dito isso, seguem simplificada e os fatores analisados:

- Areia, pedra britada, pedregulho, escavação mecanizada de vala e escoramento de vala

Os filtros de areia têm os seus materiais indicados em [10]. Nesse caso estudado, foram utilizadas camadas de brita nº1, de areia e de pedregulho, todos os materiais tomados pelas tabelas SINAPI específicas de cada capital.

A escavação e escoramento dependem da altura e da largura da vala, pois pode haver forte variação entre os preços unitários dependendo do dimensionamento feito em cada cidade.

Como explicado, há uma infinidade de informações que podem ser obtidas nas planilhas do SINAPI. Cada situação tem um custo diferente e que varia de cidade para cidade, sendo essencial ser o mais preciso possível em seguir as descrições lá presentes e equipará-las com o que foi definido.

No item 5.1 poderá ser visto de uma forma mais detalhada cada parâmetro, já que não faz sentido generalizar, visto que a análise deve ser direcionada para cada região.

Os resultados podem ser obtidos com as seguintes tabelas, por quesito e no total, respectivamente:

**Tabela 23: Custos imediatos do subsistema de AAP**

Custos imediatos - Aproveitamento de Águas Pluviais				
Composição de custos pelo SINAPI				Código
BDI				
Cistema			R\$	
Porcentagem do volume				
Filtro de areia			R\$	
Areia			R\$/m³	
Brita			R\$/m³	
Pedregulho			R\$/m³	
Escavação			R\$/m³	
Escoramento			R\$/m²	
Número de filtros				

**Tabela 24: Custos totais do subsistema de AAP**

Custo total referente somente ao Aproveitamento de Águas Pluviais para o projeto (Opção 1)				
Custos imediatos totais				R\$
Custo				R\$

#### 4.6.2 Reúso de Águas Cinza

Os custos de caráter imediato considerados para o subsistema de reúso de águas cinza foram:

- UASB
- Filtro anaeróbio
- Valas de filtração
- Bombas
- Poço de visita
- Cisterna

O reator UASB, o filtro anaeróbio e as valas de filtração contabilizam todos os materiais e técnicas importantes para a sua construção e para o preenchimento do seu leito funcional.

As considerações se encontram respectivamente abaixo:

- Concreto, armadura, formas, impermeabilização, escavação mecanizada de vala e escoramento de vala
- Brita, escavação mecanizada de vala e escoramento de vala
- Areia, 1ª camada de brita, 2ª camada de brita, escavação mecanizada de vala e escoramento de vala

Para o reator UASB, optou-se por utilizar concreto C50, pois segundo a NBR 8953/1992 e NBR 6118/2003, as condições de elevada agressividade ambiental as quais se submete a estrutura desse reator exige materiais de maiores resistências e maiores espessuras para as paredes. Para a armadura foi utilizado aço CA-50, sendo que a proporção em volume foi considerada de 4%. O espaçamento das barras ficou atrelado à dimensão do reator, ou seja, quanto maior, mais barras foram colocadas, variando a bitola de 8 a 20 mm, aumentando a densidade, por segurança. As formas são de chapas de madeira compensada e a impermeabilização é feita com tinta asfáltica.

O filtro anaeróbio, baseado em [10], utiliza brita nº4 como meio filtrante exatamente devido ao ambiente desgastante.

As valas de filtração se assemelham aos filtros de areia nos materiais, porém, por necessidades construtivas relacionadas à posição da tubulação de distribuição de esgoto, segundo [10], é ideal que a primeira camada seja de brita nº4, diferente da camada basal que é de brita nº1, separadas por um volume de areia.

Para as bombas só se leva em conta o número de bombas e o tipo escolhido. Já para o poço de visita se contabiliza o custo unitário do tipo escolhido, sendo de 2 metros de profundidade nesse edifício e feito de concreto, e a escavação necessária.

A cisterna, como explicado analogamente no item anterior, custa proporcionalmente à porcentagem de volume requerido pelo subsistema de reúso de águas cinza. Logo, a soma desse valor com o obtido no de aproveitamento de águas pluviais resultam no seu custo total.

Obviamente, para todos os parâmetros relacionados às obras, foi acrescentado o BDI.

A planilha tem os seguintes campos:

**Tabela 25: Custos imediatos do subsistema de Reúso de Águas Cinza**

Custos imediatos - Reuso de Águas Cinzas				
Composição de custos pelo SINAPI				Código
BDI				
<b>UASB</b>			<b>R\$</b>	
Concreto			R\$/m <sup>3</sup>	
Armadura			R\$/kg	
Formas			R\$/m <sup>2</sup>	
Impermeabilização			R\$/m <sup>2</sup>	
Escavação			R\$/m <sup>3</sup>	
Escoramento			R\$/m <sup>2</sup>	
<b>Filtro anaeróbio</b>			<b>R\$</b>	
Brita			R\$/m <sup>2</sup>	
Escavação			R\$/m <sup>3</sup>	
Escoramento			R\$/m <sup>2</sup>	
<b>Vala de filtração</b>			<b>R\$</b>	
Areia			R\$/m <sup>3</sup>	
1ª camada de brita			R\$/m <sup>3</sup>	
2ª camada de brita			R\$/m <sup>3</sup>	
Escavação			R\$/m <sup>3</sup>	
Escoramento			R\$/m <sup>2</sup>	
Número de valas				
<b>Bombas</b>			<b>R\$</b>	
Número de bombas				
Custo unitário			R\$	
<b>Poço de visita</b>			<b>R\$</b>	
Custo unitário			R\$	
Escavação			R\$/m <sup>3</sup>	
<b>Cisterna</b>			<b>R\$</b>	
Porcentagem do volume				

Os custos de caráter contínuo considerados para o subsistema de reúso de águas cinza foram:

- Energia
- Troca de bombas
- Lodo

O cálculo da energia se deve ao uso das bombas que recalcam as águas cinza do coletor para a estação de tratamento.

$$E_{cons} = Pot * T_{func}$$

$$C_{energia} = E_{cons} * Tar_{energia}$$

As trocas de bombas ocorrem a cada 5 anos nesse exemplo e se devem à necessidade de manter a performance do subsistema.

Já a produção de lodo pelo reator UASB requer uma limpeza anual por caminhões limpa-fossa para se manter o funcionamento normal da ETAC.

Aqui é importante ressaltar que o preço do caminhão limpa-fossa foi obtido de [14], que dizia que esse veículo removia 1 m<sup>3</sup> de lodo a R\$ 45,00. Esse valor foi corrigido para 2017 pelo IGP-M acumulado, que é o Índice Geral de Preços do Mercado e que mostra a variação de preços de serviços. Segundo a calculadora do Banco Central do Brasil, o índice de reajuste é de 93,67%, o que nos leva a um valor de R\$ 87,15 por m<sup>3</sup> de lodo captado.

É importante também citar que o cálculo desses custos contínuos foi explicado no item 3.2.4.

A planilha a seguir mostra os campos relacionados.

**Tabela 26: Custos contínuos do subsistema de Reúso de Águas Cinza**

Custos contínuos - Reuso de Águas Cinzas			
Composição de custos pelo SINAPI			
<b>Energia</b>			<b>R\$</b>
Quantidade anual			kWh
Tarifa de energia			R\$/kWh
<b>Troca de bombas (5 em 5 anos)</b>			<b>R\$</b>
<b>Lodo</b>			<b>R\$</b>
Quantidade anual de lodo produzida			m <sup>3</sup>
Custo do caminhão limpa-fossa - 2006			R\$/m <sup>3</sup>
Correção pelo IGP-M			
Custo do caminhão limpa-fossa - 2017			R\$/m <sup>3</sup>

Com a soma dos custos imediatos e dos custos contínuos, é possível obter o custo total do subsistema de reúso de águas cinza, considerando o valor presente de cada componente através do uso da taxa de juros anual de julho de 2017, que foi de 3,71% segundo a Infinity Asset Management.

**Tabela 27: Custos totais do subsistema de Reúso de Águas Cinza**

Custo total referente somente ao Reuso de Águas Cinzas para o projeto (Opção 2)			
<b>Custos imediatos totais</b>			<b>R\$</b>
<b>Custos contínuos totais</b>			<b>R\$</b>
Taxa de juros real anual-Julho 2017			
Números de anos de uso			
<b>Custo</b>			<b>R\$</b>

Nos item 5.1 poderá ser visto de uma forma mais detalhada cada parâmetro.

### 4.6.3 Sistema em comum

Os custos de caráter imediato considerados para o subsistema comum foram:

- Bombas
- Reservatório superior

Os gastos com as bombas se dão apenas pela quantidade que se decide comprar e pelo seu tipo. Já o reservatório superior engloba apenas o gasto com as caixas d'água.

É importante dizer que o custo da cisterna, apesar desta fazer parte do subsistema comum, já foi considerado nos outros dois subsistemas. De qualquer forma esses são os materiais e técnicas levados em conta:

- Concreto, armadura, formas, impermeabilização, escavação mecanizada de vala e escoramento de vala

O concreto utilizado na cisterna é o C25 devido à suavidade das pós-tratamento e por comparação com outros projetos. O aço é o CA-50 e a porcentagem adotada foi de 1% em volume. Os demais itens são idênticos aos apresentados no reator UASB.

Verificam-se os gastos imediatos na tabela a seguir.

**Tabela 28: Custos imediatos do subsistema Comum**

Custo imediatos - Sistema em comum				
Composição de custos pelo SINAPI				Código
BDI				
Bombas			R\$	
Número de bombas				
Custo unitário			R\$	
Reservatório superior			R\$	
Cistema (computado individualmente)			R\$	
Concreto			R\$/m <sup>3</sup>	
Armadura			R\$/kg	
Formas			R\$/m <sup>2</sup>	
Impermeabilização			R\$/m <sup>2</sup>	
Escavação			R\$/m <sup>3</sup>	
Escoramento			R\$/m <sup>2</sup>	

Os custos de caráter contínuo considerados para o subsistema comum foram:

- Troca de bombas
- Energia
- Análises físico-químicas
- Desinfecção
- Uso do esgoto público
- Uso de água potável da concessionária

O gasto com as trocas de bombas já foi explicado no item anterior. A energia consumida está relacionada com a utilização das bombas para recalcar a demanda diária da cisterna para o reservatório superior.

As análises físico-químicas são realizadas também anualmente para se verificar parâmetros de qualidade da água como, por exemplo, coliformes totais. Considerando que [17] sugere cerca de 50 testes anuais, uma cotação estimada pelo fornecedor **Lojalab** é de que cada ano sejam gastos R\$ 621,00, na cidade de Piracicaba. Para cada localidade, então, foi adicionado um frete correspondente.

Os custos com desinfecção se devem à compra de soluções de hipoclorito de sódio regularmente. Ele foi escolhido em função do baixo custo e da melhor operacionalidade em sistemas de menor vazão. A cotação obtida do produto é da empresa **Flaire**, com locação em Juiz de Fora, em que a solução correspondente da marca Estrela custa R\$ 9,00 por L. Também foi adicionado um frete para cada cidade analisada.

O uso de esgoto público se refere à quantidade de efluentes que vão para os coletores públicos. Para isso, é calculada a conta de esgoto total a pagar pelos moradores do prédio. No Brasil, os valores do coeficiente de retorno usualmente adotados em projetos, variam entre 0,75 e 0,85, podendo ser adotado outros valores, quando se dispõe de indicadores mais precisos (JORDÃO & PESSÔA, 2005). Optou-se por considerar o consumo de esgoto como 80% do consumo de água potável adquirido pelas residências, procedimento comum por parte das concessionárias. Esse consumo, evidentemente, desconsidera o uso não potável, completamente suprido pelo sistema híbrido.

O uso da água fornecida pela concessionária leva em conta tudo que é consumido pelos moradores da residência e que não pode ser suprido pelo sistema, ou seja, todo o volume que não seja utilizado nos consumos não potáveis considerados.

É importante citar que o cálculo desses custos contínuos foi explicado no item 3.2.4.

A planilha a seguir resume os custos contínuos.

Tabela 29: Custos contínuos do subsistema Comum

Custo contínuos - Sistema em comum			
Composição de custos pelo SINAPI			
Troca de bombas (5 em 5 anos)			R\$
Energia			R\$
Quantidade anual			kWh
Tarifa			R\$/kWh
Analises físico-química do reservatório			R\$
Custo base anual para Piracicaba			R\$
Frete			R\$
Desinfecção			R\$
Custo do garrafão			R\$/l
Quantidade por ano			l
Frete			R\$
Uso do esgoto público			R\$
Quantidade de água potável requerida			m <sup>3</sup>
Quantidade mensal de esgoto estimada para cada apartamento			m <sup>3</sup>
Tarifa de esgoto			R\$/m <sup>3</sup>
Uso de água potável da concessionária			R\$
Quantidade de água potável requerida			m <sup>3</sup>
Tarifa de água			R\$/m <sup>3</sup>

Com a soma dos custos imediatos e dos custos contínuos, é possível obter o custo total do subsistema comum, considerando o valor presente de cada componente.

Tabela 30: Custos totais do subsistema Comum

Custo total referente somente ao Sistema em comum			
Custos imediatos totais			R\$
Custos contínuos totais			R\$
Taxa de juros real anual-Julho 2017			
Números de anos de uso			
Custo			R\$

Nos item 5.1 poderá ser visto de uma forma mais detalhada cada parâmetro.

#### 4.6.4 Sistema híbrido completo

Finalmente, com o cálculo dos custos dos subsistemas, é possível calcular o custo do sistema híbrido como um todo, já que este se dá pela soma daqueles. A tabela a seguir mostra essa informação.

Tabela 31: Custos totais do Sistema Híbrido

Custo total do Sistema Híbrido			
Custo total referente somente ao Aproveitamento de Águas Pluviais para o projeto (Opção 1)			R\$
Custo total referente somente ao Reuso de Águas Cinzas para o projeto (Opção 2)			R\$
Custo total referente somente ao Sistema em comum			R\$
Custo			R\$

#### 4.6.5 Comparação com o abastecimento público

Os custos considerados para o caso de abastecimento público foram apenas os contínuos para adquirir água potável e pelo esgoto despejado nos coletores públicos.

Esses custos, portanto, foram referentes aos 20 anos considerados pelo sistema híbrido para efeito de comparação entre as duas opções pelo método da Análise da Vida Útil. Aqui também foi considerado que o volume de esgoto é de 80% do que foi consumido de água potável em cada apartamento. Além disso, todos os custos externos ao apartamento têm de ser computados na conta de cada condômino, pois se supõe que não há outra fonte para esses usos. Adicionalmente, calculou-se também o payback, sendo ambos os modos destacados no item 3.2.4.

**Tabela 32: Custos totais do abastecimento pela concessionária**

Custo total do Abastecimento pela concessionária			
<b>Custo anual com abastecimento de água</b>			<b>R\$</b>
Quantidade mensal para cada apartamento			m <sup>3</sup>
Tarifa de água			R\$/m <sup>3</sup>
<b>Custo anual com a rede de esgoto</b>			<b>R\$</b>
Quantidade mensal para cada apartamento			m <sup>3</sup>
Tarifa de esgoto			R\$/m <sup>3</sup>
Taxa de juros real anual-Julho 2017			
Números de anos de uso			
<b>Custo</b>			<b>R\$</b>

**Tabela 33: Tempo de retorno do projeto pelo método do Payback**

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido			R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária			R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária			R\$
Benefício total anual			R\$
<i>Payback</i>			anos
<i>Payback</i> em meses			meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			

## 4.7 Formulação de cálculo

A formulação parte do princípio que se busca adquirir uma alternativa viável economicamente para o consumo de água potável e que diminua impactos ambientais, por conseguinte.

Para a resolução do problema em busca da proporção ótima entre os subsistemas de águas pluviais e reúso de águas cinza foi utilizado o software Microsoft Excel 2010, por meio da ferramenta Solver. Ele tem como métodos de busca, além de outros mais simples, alguns algoritmos de busca não linear. Por ele, é possível obter máximos, mínimos e um valor determinado para uma célula de interesse com a aplicação de uma

série de restrições pertinentes e com algumas células como variáveis, proporcionando uma varredura do algoritmo interno de acordo com a precisão requerida.

Para o edifício analisado, a célula objetivo é a de custo total obtido no item 4.6.4 e busca-se minimizar o seu valor, levando em consideração as seguintes restrições:

- Confiabilidade dos dados de chuva obtidos no item 4.4.1.3 maior que 75%
- Porcentagem da vazão total exigida do subsistema de reúso de águas cinza não deve ser menor que 50% do consumo diário, devido à necessidade de manter a matéria orgânica ativa no leito, o que é fundamental para o funcionamento do reator UASB. Esse controle é feito por extravasores no reservatório e na ETAC.

Já as células variáveis são apenas duas:

- Volume do reservatório dimensionado para as águas pluviais
- Porcentagem da demanda total que é abastecida pelo subsistema de aproveitamento de águas pluviais

No caso estudado devido aos muitos custos associados e as diversas formas de calculá-los, o problema adquire um caráter muito não linear, o que exige a utilização do método Evolutionary que é sugerido para problemas não suaves como este, evitando o engano por um mínimo local.

Com essas operações, pode-se estimar, fundamentado em todas as análises feitas, a proporção perfeita de divisão entre os subsistemas.

## **5 Resultados e Discussões**

### **5.1 Resultados**

Para a completa validação da metodologia apresentada, é importante tomar algumas cidades brasileiras como referência e aplicar os parâmetros específicos, de modo a observar as muitas variações de resultados e de que forma as variáveis podem afetá-los.

Buscou-se nesse trabalho uma escolha de capitais de tal forma que houvesse grande variedade de parâmetros tanto naturais como socioeconômicos. Evidentemente,

é possível aplicar a metodologia para quaisquer cidades, porém, deseja-se mostrar diferentes resultados de forma sucinta e, selecionando uma capital de cada região, acredita-se que isso se torne viável.

Nos itens a seguir, optou-se por mostrar os custos e demais resultados para a situação ótima de cada localidade, inclusive comparando com a alternativa de obtenção de água diretamente da concessionária local. Todas as avaliações mais prolongadas e minuciosas foram feitas baseadas nesse resultado.

Para efeito de comparação e posterior discussão, foram determinados também os custos para cada capital variando-se a porcentagem da demanda total a ser suprida pelo subsistema de águas pluviais de 0 a 50%, que é o máximo determinado no item 4.7, a cada 10%. Com isso, será possível ver até que ponto esse subsistema é interessante de ser utilizado ou se ele é impróprio.

Como mostrado no item 4.1, as cidades analisadas serão: Manaus, Recife, Brasília, São Paulo e Porto Alegre.

Além das células recorrentes para cada cidade, relacionadas com as características do edifício padrão estudado ou resultados já calculados no item 4.5, é necessário o preenchimento de alguns dados de entrada (inputs) que dependem das condições locais:

- **Dados de precipitação diários**
- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**
- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**
- **Temperatura média do mês mais frio**
- **Tarifa de energia**
- **Custo das análises físico-químicas**
- **Custo da desinfecção**
- **Tarifas de água e esgoto**

Esses fatores afetam de forma importante os dimensionamentos e consequentemente os custos envolvidos como explicado nos itens 4.5 e 4.6.

A solução ótima obtida deve ser tratada de forma mais detalhada por se tratar do objetivo desse relatório. Sendo assim, todos os parâmetros relevantes serão mostrados nesse item.

Para contrapor o método, é interessante observar se a opção pelo Sistema Híbrido realmente vale a pena, já que além de investimento iniciais altos, ela demanda

obras e outros inconvenientes. Logo, nos itens a seguir também estarão expostos os custos no horizonte de projeto da opção de atendimento pela concessionária local, que acaba sendo a mais prática e usual.

### 5.1.1 Manaus

A cidade de Manaus apresenta os seguintes parâmetros:

- **Dados de precipitação:**

A precipitação média anual é de 2325,1 mm no período analisado, sendo possível obter os dados diários utilizados nesse trabalho pelo INMET.

- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**

Os custos unitários dos insumos e composições utilizadas podem ser obtidos nas tabelas citadas no item 4.6.

- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**

O consumo per capita desse período foi de 5,17 m<sup>3</sup> por mês.

- **Temperatura média do mês mais frio**

A temperatura média de janeiro, segundo o Climate-Data, é de 26,9 °C.

- **Tarifa de energia**

A tarifa de energia pode ser obtida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Nesse caso, a energia é fornecida pela Amazonas Energia e custa R\$ 0,604 por kWh, com regulamentação datada de 01 de novembro de 2017.

- **Custo das análises físico-químicas**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para as análises físico-químicas do reservatório é de R\$ 34,00 por compra.

- **Custo da desinfecção**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para a desinfecção da água não potável é de R\$ 80,90 por compra.

- **Tarifas de água e esgoto**

Para o consumo residencial, temos os seguintes valores fornecidos pela Agência Reguladora dos Serviços Públicos Concedidos do Estado do Amazonas, a ARSAM, vigente desde 27 de janeiro de 2017:

- Até 10 m<sup>3</sup>: R\$ 32,74
- Até 20 m<sup>3</sup>: R\$ 6,345 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 30 m<sup>3</sup>: R\$ 9,686 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 40 m<sup>3</sup>: R\$ 13,195 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 60 m<sup>3</sup>: R\$ 15,223 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Acima de 60 m<sup>3</sup>: R\$ 17,358 para cada m<sup>3</sup> excedente

Tendo como base esses valores e os demais apresentados até aqui, pode-se fazer as execuções do programa da maneira explicada.

#### 5.1.1.1 Testes padronizados

**Tabela 34: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Manaus**

Parâmetros mais importantes	Porcentagem total da demanda referente ao subsistema de Aproveitamento de Águas Pluviais					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Custo com o AAP	R\$ 0	R\$ 5.130,74	R\$ 7.029,74	R\$ 10.486,71	R\$ 16.887,62	R\$ 31.333,54
Custo com o Reúso	R\$ 73.522,25	R\$ 69.306,57	R\$ 61.878,31	R\$ 56.207,43	R\$ 51.807,41	R\$ 47.493,14
Custo com o comum	R\$ 119.695,89	R\$ 119.695,89	R\$ 119.695,89	R\$ 119.695,89	R\$ 119.695,89	R\$ 119.695,89
Custo total	R\$ 193.218,14	R\$ 194.133,21	R\$ 188.603,94	R\$ 186.390,04	R\$ 188.390,92	R\$ 198.522,58
-----						
Volume do Reservatório de Pluvial (m <sup>3</sup> )	0	3,214	5,709	11,436	24,530	61,305
Volume do Reator UASB (m <sup>3</sup> )	1,767	1,620	1,479	1,345	1,217	1,095

#### 5.1.1.2 Solução Ótima

Com tudo que foi mostrado nos itens 4.5 e 4.6, é possível resumi-los na tabela 35:

Tabela 35: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Manaus

Parâmetros	Porcentagem Ótima
	<b>32,98%</b>
<b>Consumo</b>	
Consumo mensal interno de água não potável (m <sup>3</sup> )	106,76
Consumo mensal externo de água não potável (m <sup>3</sup> )	15,12
Consumo mensal total de água não potável (m <sup>3</sup> )	121,88
<b>AAP</b>	
Volume requerido do AAP (m <sup>3</sup> )	40,20
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	30,89
Filtro de Areia (m <sup>3</sup> )	14,20
<b>Volume do Reservatório de Pluvial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>14,269</b>
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 9.979,21
Custo dos Filtros de Areia	R\$ 2.086,50
<b>Custo total do AAP</b>	<b>R\$ 12.065,72</b>
<b>Reúso</b>	
Produção mensal de águas cinza (m <sup>3</sup> )	140,62
Volume requerido do Reúso (m <sup>3</sup> )	81,68
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	90,99
<b>Volume do Reator UASB (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,345</b>
Filtro Anaeróbio (m <sup>3</sup> )	2,03
Reservatório de Reúso (m <sup>3</sup> )	3,64
Lodo diário (L)	5,80
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 2.545,43
Custo do Reator UASB	R\$ 26.413,83
Custo do Filtro Anaeróbio	R\$ 405,17
Custo das Valas de Filtração	R\$ 5.105,93
Custo das Bombas	R\$ 1.257,58
Custo do Poço de Visita	R\$ 2.182,20
<b>Custos contínuos</b>	
Custo anual com Energia	R\$ 733,29
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.257,58
Custo anual com Lodo	R\$ 184,36
<b>Custo total do Reúso</b>	<b>R\$ 53.357,80</b>
<b>Sistema em comum</b>	
Reservatório de Distribuição (L)	3250,16
Cisterna (m <sup>3</sup> )	18,01
Solução de Cloro diária (ml)	406,27
<b>Custos imediatos</b>	
Custo das Bombas	R\$ 1.257,58
Custo do Reservatório Superior	R\$ 1.241,96
Custo total do Reservatório de Armazenamento	R\$ 12.524,65
<b>Custos contínuos</b>	
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.257,58
Custo anual com Energia	R\$ 366,65
Custo anual com Análises Físico-Químicas	R\$ 655,00
Custo anual com Desinfecção	R\$ 1.415,50
Custo anual com Esgoto Público	R\$ 2.549,17
Custo anual com Água Potável	R\$ 3.227,20
<b>Custo total do Sistema em comum</b>	<b>R\$ 119.695,89</b>
<b>Custo total do Sistema Híbrido</b>	<b>R\$ 185.119,41</b>

### 5.1.1.3 Atendimento pela Concessionária

Tabela 36: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Manaus

	Atendimento pela Concessionária
<b>Custos</b>	
Anual com Água Potável	R\$ 14.230,61
Anual com o Esgoto Público	R\$ 9.511,91
<b>Custo total da Concessionária</b>	<b>R\$ 331.115,46</b>

Tabela 37: Payback para Manaus

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido		R\$ 52.475,40	R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária		R\$ 11.003,41	R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária		R\$ 6.962,74	R\$
Benefício total anual		R\$ 17.966,16	R\$
<i>Payback</i>		2,92	anos
<i>Payback em meses</i>		35,05	meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			<b>OK</b>

### 5.1.2 Recife

A cidade de Recife apresenta os seguintes parâmetros:

- **Dados de precipitação:**

A precipitação média anual é de 2209,2 mm no período analisado, sendo possível obter os dados diários utilizados nesse trabalho pelo INMET.

- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**

Os custos unitários dos insumos e composições utilizadas podem ser obtidos nas tabelas citadas no item 4.6.

- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**

O consumo per capita desse período foi de 3,72 m<sup>3</sup> por mês.

- **Temperatura média do mês mais frio**

A temperatura média de julho, segundo o Climate-Data, é de 24,1 °C.

- **Tarifa de energia**

A tarifa de energia pode ser obtida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Nesse caso, a energia é fornecida pela Companhia Energética de Pernambuco e custa R\$ 0,480 por kWh, com regulamentação datada de 29 de abril de 2017.

- **Custo das análises físico-químicas**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para as análises físico-químicas do reservatório é de R\$ 44,07 por compra.

- **Custo da desinfecção**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para a desinfecção da água não potável é de R\$ 65,70 por compra.

- **Tarifas de água e esgoto**

Para o consumo residencial, temos os seguintes valores fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento, a COMPESA, vigente desde 18 de fevereiro de 2017:

- Até 10 m<sup>3</sup>: R\$ 40,18
- Até 20 m<sup>3</sup>: R\$ 4,61 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 30 m<sup>3</sup>: R\$ 5,48 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 50 m<sup>3</sup>: R\$ 7,54 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 90 m<sup>3</sup>: R\$ 8,93 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Acima de 90 m<sup>3</sup>: R\$ 17,17 para cada m<sup>3</sup> excedente

Tendo como base esses valores e os demais apresentados até aqui, pode-se fazer as execuções do programa da maneira explicada.

### 5.1.2.1 Testes padronizados

**Tabela 38: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Recife**

Parâmetros mais importantes	Porcentagem total da demanda referente ao subsistema de Aproveitamento de Águas Pluviais					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Custo com o AAP	R\$ 0	R\$ 3.907,35	R\$ 6.904,09	R\$ 12.212,97	R\$ 20.403,03	R\$ 30.387,12
Custo com o Reúso	R\$ 63.424,98	R\$ 61.095,86	R\$ 53.445,77	R\$ 48.518,10	R\$ 44.875,76	R\$ 41.408,31
Custo com o comum	R\$ 132.998,52	R\$ 132.998,52	R\$ 132.998,52	R\$ 132.998,52	R\$ 132.998,52	R\$ 132.998,52
Custo total	R\$ 196.423,51	R\$ 198.001,73	R\$ 193.348,38	R\$ 193.729,60	R\$ 198.277,32	R\$ 204.793,96
-----						
Volume do Reservatório de Pluvial (m <sup>3</sup> )	0	2,679	8,079	21,509	47,210	82,799
Volume do Reator UASB (m <sup>3</sup> )	1,693	1,549	1,411	1,280	1,155	1,037

### 5.1.2.2 Solução Ótima

Com tudo que foi mostrado nos itens 4.5 e 4.6, é possível resumi-los na tabela 39:

Tabela 39: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Recife

Parâmetros	Porcentagem Ótima
	<b>24,09%</b>
<b>Consumo</b>	
Consumo mensal interno de água não potável (m <sup>3</sup> )	83,11
Consumo mensal externo de água não potável (m <sup>3</sup> )	15,12
Consumo mensal total de água não potável (m <sup>3</sup> )	98,23
<b>AAP</b>	
Volume requerido do AAP (m <sup>3</sup> )	23,66
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	18,10
Filtro de Areia (m <sup>3</sup> )	11,67
<b>Volume do Reservatório de Pluvial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>12,521</b>
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 7.017,38
Custo dos Filtros de Areia	R\$ 1.799,67
<b>Custo total do AAP</b>	<b>R\$ 8.817,05</b>
<b>Reúso</b>	
Produção mensal de águas cinza (m <sup>3</sup> )	101,18
Volume requerido do Reúso (m <sup>3</sup> )	74,56
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	80,13
<b>Volume do Reator UASB (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1,345</b>
Filtro Anaeróbio (m <sup>3</sup> )	1,78
Reservatório de Reúso (m <sup>3</sup> )	3,21
Lodo diário (L)	5,10
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 1.796,21
Custo do Reator UASB	R\$ 23.699,44
Custo do Filtro Anaeróbio	R\$ 353,68
Custo das Valas de Filtração	R\$ 4.847,13
Custo das Bombas	R\$ 1.758,80
Custo do Poço de Visita	R\$ 1.947,49
<b>Custos contínuos</b>	
Custo anual com Energia	R\$ 644,30
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.758,80
Custo anual com Lodo	R\$ 162,35
<b>Custo total do Reúso</b>	<b>R\$ 49.358,47</b>
<b>Sistema em comum</b>	
Reservatório de Distribuição (L)	2619,41
Cisterna (m <sup>3</sup> )	15,73
Solução de Cloro diária (ml)	327,43
<b>Custos imediatos</b>	
Custo das Bombas	R\$ 1.758,80
Custo do Reservatório Superior	R\$ 1.469,22
Custo total do Reservatório de Armazenamento	R\$ 8.813,58
<b>Custos contínuos</b>	
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.758,80
Custo anual com Energia	R\$ 289,93
Custo anual com Análises Físico-Químicas	R\$ 665,07
Custo anual com Desinfecção	R\$ 1.141,30
Custo anual com Esgoto Público	R\$ 3.085,82
Custo anual com Água Potável	R\$ 3.857,28
<b>Custo total do Sistema em comum</b>	<b>R\$ 132.998,52</b>
<b>Custo total do Sistema Híbrido</b>	<b>R\$ 191.174,04</b>

### 5.1.2.3 Atendimento pela Concessionária

Tabela 40: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Recife

	Atendimento pela Concessionária
<b>Custos</b>	
Anual com Água Potável	R\$ 8.094,03
Anual com o Esgoto Público	R\$ 6.361,56
<b>Custo total da Concessionária</b>	<b>R\$ 201.598,96</b>

Tabela 41: Payback para Recife

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido		R\$ 46.447,81	R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária		R\$ 4.236,75	R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária		R\$ 3.275,74	R\$
Benefício total anual		R\$ 7.512,48	R\$
<i>Payback</i>		6,18	anos
<i>Payback em meses</i>		74,19	meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			<b>OK</b>

### 5.1.3 Brasília

A cidade de Brasília apresenta os seguintes parâmetros:

- **Dados de precipitação:**

A precipitação média anual é de 1458,4 mm no período analisado, sendo possível obter os dados diários utilizados nesse trabalho pelo INMET.

- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**

Os custos unitários dos insumos e composições utilizadas podem ser obtidos nas tabelas citadas no item 4.6.

- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**

O consumo per capita desse período foi de 5,38 m<sup>3</sup> por mês.

- **Temperatura média do mês mais frio**

A temperatura média de junho, segundo o Climate-Data, é de 18,9 °C.

- **Tarifa de energia**

A tarifa de energia pode ser obtida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Nesse caso, a energia é fornecida pela Companhia Energética de Brasília e custa R\$ 0,482 por kWh, com regulamentação datada de 22 de outubro de 2017.

- **Custo das análises físico-químicas**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para as análises físico-químicas do reservatório é de R\$ 33,57 por compra.

- **Custo da desinfecção**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para a desinfecção da água não potável é de R\$ 36,20 por compra.

- **Tarifas de água e esgoto**

Para o consumo residencial, temos os seguintes valores fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, a CAESB, vigente desde 01 de junho de 2017:

- Até 10 m<sup>3</sup>: R\$ 29,50
- Até 15 m<sup>3</sup>: R\$ 5,47 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 25 m<sup>3</sup>: R\$ 6,99 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 35 m<sup>3</sup>: R\$ 11,30 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 50 m<sup>3</sup>: R\$ 12,46 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Acima de 50 m<sup>3</sup>: R\$ 13,66 para cada m<sup>3</sup> excedente

Tendo como base esses valores e os demais apresentados até aqui, pode-se fazer as execuções do programa da maneira explicada.

### 5.1.3.1 Testes padronizados

**Tabela 42: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Brasília**

Parâmetros mais importantes	Porcentagem total da demanda referente ao subsistema de Aproveitamento de Águas Pluviais					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Custo com o AAP	R\$ 0	R\$ 10.772,39	R\$ 21.313,64	R\$ 33.195,08	R\$ 61.253,81	Impossível
Custo com o Reúso	R\$ 70.423,71	R\$ 66.954,05	R\$ 58.458,51	R\$ 53.240,61	R\$ 48.989,98	
Custo com o comum	R\$ 116.296,25	R\$ 116.296,25	R\$ 116.296,25	R\$ 116.296,25	R\$ 116.296,25	
Custo total	R\$ 186.719,96	R\$ 194.022,69	R\$ 196.068,40	R\$ 202.731,95	R\$ 226.540,04	
-----						
Volume do Reservatório de Pluvial (m <sup>3</sup> )	0	19,053	51,988	95,309	208,183	
Volume do Reator UASB (m <sup>3</sup> )	2,420	2,247	2,081	1,921	1,693	

### 5.1.3.2 Solução Ótima

Com tudo que foi mostrado nos itens 4.5 e 4.6, é possível resumi-los na tabela 43:

Tabela 43: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Brasília

Parâmetros	Porcentagem Ótima
	<b>0%</b>
<b>Consumo</b>	
Consumo mensal interno de água não potável (m <sup>3</sup> )	110,19
Consumo mensal externo de água não potável (m <sup>3</sup> )	15,12
Consumo mensal total de água não potável (m <sup>3</sup> )	125,31
<b>AAP</b>	
Volume requerido do AAP (m <sup>3</sup> )	0
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	0
Filtro de Areia (m <sup>3</sup> )	0
<b>Volume do Reservatório de Pluvial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>0</b>
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 0,00
Custo dos Filtros de Areia	R\$ 0,00
<b>Custo total do AAP</b>	<b>R\$ 0,00</b>
<b>Reúso</b>	
Produção mensal de águas cinza (m <sup>3</sup> )	146,33
Volume requerido do Reúso (m <sup>3</sup> )	125,31
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	125,31
<b>Volume do Reator UASB (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,420</b>
Filtro Anaeróbio (m <sup>3</sup> )	2,79
Reservatório de Reúso (m <sup>3</sup> )	5,01
Lodo diário (L)	9,10
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 4.380,54
Custo do Reator UASB	R\$ 38.275,09
Custo do Filtro Anaeróbio	R\$ 624,17
Custo das Valas de Filtração	R\$ 5.352,41
Custo das Bombas	R\$ 1.581,34
Custo do Poço de Visita	R\$ 2.012,73
<b>Custos contínuos</b>	
Custo anual com Energia	R\$ 776,38
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.581,34
Custo anual com Lodo	R\$ 289,53
<b>Custo total do Reúso</b>	<b>R\$ 70.423,71</b>
<b>Sistema em comum</b>	
Reservatório de Distribuição (L)	3341,51
Cisterna (m <sup>3</sup> )	5,07
Solução de Cloro diária (ml)	417,69
<b>Custos imediatos</b>	
Custo das Bombas	R\$ 1.581,34
Custo do Reservatório Superior	R\$ 1.696,49
Custo total do Reservatório de Armazenamento	R\$ 4.380,54
<b>Custos contínuos</b>	
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.581,34
Custo anual com Energia	R\$ 291,14
Custo anual com Análises Físico-Químicas	R\$ 654,57
Custo anual com Desinfecção	R\$ 1.408,31
Custo anual com Esgoto Público	R\$ 2.390,20
Custo anual com Água Potável	R\$ 3.120,80
<b>Custo total do Sistema em comum</b>	<b>R\$ 116.296,25</b>
<b>Custo total do Sistema Híbrido</b>	<b>R\$ 186.719,96</b>

### 5.1.3.3 Atendimento pela Concessionária

Tabela 44: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Brasília

	Atendimento pela Concessionária
<b>Custos</b>	
Anual com Água Potável	R\$ 13.484,16
Anual com o Esgoto Público	R\$ 9.464,13
<b>Custo total da Concessionária</b>	<b>R\$ 320.038,92</b>

Tabela 45: Payback para Brasília

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido		R\$ 55.504,11	R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária		R\$ 10.363,36	R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária		R\$ 7.073,93	R\$
Benefício total anual		R\$ 17.437,29	R\$
<i>Payback</i>		3,18	anos
<i>Payback em meses</i>		38,20	meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			<b>OK</b>

### 5.1.4 São Paulo

A cidade de São Paulo apresenta os seguintes parâmetros:

- **Dados de precipitação:**

A precipitação média anual é de 1644,1 mm no período analisado, sendo possível obter os dados diários utilizados nesse trabalho pelo INMET.

- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**

Os custos unitários dos insumos e composições utilizadas podem ser obtidos nas tabelas citadas no item 4.6.

- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**

O consumo per capita desse período foi de 5,21 m<sup>3</sup> por mês.

- **Temperatura média do mês mais frio**

A temperatura média de julho, segundo o Climate-Data, é de 15,4 °C.

- **Tarifa de energia**

A tarifa de energia pode ser obtida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Nesse caso, a energia é fornecida pela Eletropaulo Metropolitana Eletricidade e custa R\$ 0,420 por kWh, com regulamentação datada de 04 de julho de 2017.

- **Custo das análises físico-químicas**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para as análises físico-químicas do reservatório é de R\$ 28,47 por compra.

- **Custo da desinfecção**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para a desinfecção da água não potável é de R\$ 36,20 por compra.

- **Tarifas de água e esgoto**

Para o consumo residencial, temos os seguintes valores fornecidos pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, a SABESP, vigente desde 10 de novembro de 2017:

- Até 10 m<sup>3</sup>: R\$ 24,15
- Até 20 m<sup>3</sup>: R\$ 3,78 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 50 m<sup>3</sup>: R\$ 9,44 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Acima de 50 m<sup>3</sup>: R\$ 10,44 para cada m<sup>3</sup> excedente

Tendo como base esses valores e os demais apresentados até aqui, pode-se fazer as execuções do programa da maneira explicada.

#### 5.1.4.1 Testes padronizados

**Tabela 46: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de São Paulo**

Parâmetros mais importantes	Porcentagem total da demanda referente ao subsistema de Aproveitamento de Águas Pluviais					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Custo com o AAP	R\$ 0	R\$ 4.898,27	R\$ 8.653,01	R\$ 17.425,73	R\$ 30.832,37	Impossível
Custo com o Reúso	R\$ 69.529,11	R\$ 66.376,18	R\$ 57.609,27	R\$ 51.980,71	R\$ 47.611,76	
Custo com o comum	R\$ 98.371,01	R\$ 98.371,01	R\$ 98.371,01	R\$ 98.371,01	R\$ 98.371,01	
Custo total	R\$ 167.900,12	R\$ 169.645,46	R\$ 164.633,30	R\$ 167.777,45	R\$ 176.815,14	
-----						
Volume do Reservatório de Pluvial (m <sup>3</sup> )	0	5,091	14,145	43,263	96,819	
Volume do Reator UASB (m <sup>3</sup> )	2,977	2,691	2,509	2,333	2,081	

#### **5.1.4.2 Solução Ótima**

Com tudo que foi mostrado nos itens 4.5 e 4.6, é possível resumi-los na tabela 47:

Tabela 47: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de São Paulo

Parâmetros	Porcentagem Ótima
	<b>21,63%</b>
<b>Consumo</b>	
Consumo mensal interno de água não potável (m <sup>3</sup> )	107,41
Consumo mensal externo de água não potável (m <sup>3</sup> )	15,12
Consumo mensal total de água não potável (m <sup>3</sup> )	122,53
<b>AAP</b>	
Volume requerido do AAP (m <sup>3</sup> )	26,51
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	20,51
Filtro de Areia (m <sup>3</sup> )	10,16
<b>Volume do Reservatório de Pluvial (m<sup>3</sup>)</b>	<b>19,663</b>
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 8.676,11
Custo dos Filtros de Areia	R\$ 1.845,35
<b>Custo total do AAP</b>	<b>R\$ 10.521,47</b>
<b>Reúso</b>	
Produção mensal de águas cinza (m <sup>3</sup> )	141,71
Volume requerido do Reúso (m <sup>3</sup> )	96,03
Volume efetivamente tratado (m <sup>3</sup> )	102,02
<b>Volume do Reator UASB (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,509</b>
Filtro Anaeróbio (m <sup>3</sup> )	2,27
Reservatório de Reúso (m <sup>3</sup> )	4,08
Lodo diário (L)	7,41
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 1.800,68
Custo do Reator UASB	R\$ 27.317,90
Custo do Filtro Anaeróbio	R\$ 432,68
Custo das Valas de Filtração	R\$ 5.372,55
Custo das Bombas	R\$ 1.722,34
Custo do Poço de Visita	R\$ 1.978,27
<b>Custos contínuos</b>	
Custo anual com Energia	R\$ 563,76
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.722,34
Custo anual com Lodo	R\$ 235,73
<b>Custo total do Reúso</b>	<b>R\$ 53.403,56</b>
<b>Sistema em comum</b>	
Reservatório de Distribuição (L)	3267,56
Cisterna (m <sup>3</sup> )	23,86
Solução de Cloro diária (ml)	408,44
<b>Custos imediatos</b>	
Custo das Bombas	R\$ 1.722,34
Custo do Reservatório Superior	R\$ 1.351,75
Custo total do Reservatório de Armazenamento	R\$ 10.476,79
<b>Custos contínuos</b>	
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.722,34
Custo anual com Energia	R\$ 253,69
Custo anual com Análises Físico-Químicas	R\$ 649,47
Custo anual com Desinfecção	R\$ 1.377,94
Custo anual com Esgoto Público	R\$ 1.894,89
Custo anual com Água Potável	R\$ 2.397,00
<b>Custo total do Sistema em comum</b>	<b>R\$ 98.371,01</b>
<b>Custo total do Sistema Híbrido</b>	<b>R\$ 162.296,03</b>

### 5.1.4.3 Atendimento pela Concessionária

Tabela 48: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de São Paulo

	Atendimento pela Concessionária
<b>Custos</b>	
Anual com Água Potável	R\$ 10.961,68
Anual com o Esgoto Público	R\$ 6.333,82
<b>Custo total da Concessionária</b>	<b>R\$ 241.204,59</b>

Tabela 49: Payback para São Paulo

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido		R\$ 52.219,97	R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária		R\$ 8.564,68	R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária		R\$ 4.438,93	R\$
Benefício total anual		R\$ 13.003,60	R\$
<i>Payback</i>		4,02	anos
<i>Payback</i> em meses		48,19	meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			<b>OK</b>

### 5.1.5 Porto Alegre

A cidade de Porto Alegre apresenta os seguintes parâmetros:

- **Dados de precipitação:**

A precipitação média anual é de 1498,0 mm no período analisado, sendo possível obter os dados diários utilizados nesse trabalho pelo INMET.

- **Custo dos insumos e composições pelo SINAPI**

Os custos unitários dos insumos e composições utilizadas podem ser obtidos nas tabelas citadas no item 4.6.

- **Consumo per capita médio entre 2012 e 2015**

O consumo per capita desse período foi de 6,92 m<sup>3</sup> por mês.

- **Temperatura média do mês mais frio**

A temperatura média de junho, segundo o Climate-Data, é de 14,7 °C.

- **Tarifa de energia**

A tarifa de energia pode ser obtida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Nesse caso, a energia é fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica e custa R\$ 0,391 por kWh, com regulamentação datada de 01 de abril de 2017.

- **Custo das análises físico-químicas**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para as análises físico-químicas do reservatório é de R\$ 33,57 por compra.

- **Custo da desinfecção**

O frete a ser adicionado ao custo obtido no item 4.6.3 para os produtos requeridos para a desinfecção da água não potável é de R\$ 53,60 por compra.

- **Tarifas de água e esgoto**

Para o consumo residencial, temos os seguintes valores fornecidos pela Companhia Riograndense de Saneamento, a CORSAN, vigente desde 01 de julho de 2017:

Para a água:

- Até 10 m<sup>3</sup>: R\$ 75,19
- Até 20 m<sup>3</sup>: R\$ 5,1 para cada m<sup>3</sup> excedente
- Até 30 m<sup>3</sup>: R\$  $5,1 * V^{0,05}$  para cada m<sup>3</sup> excedente
- Acima de 30 m<sup>3</sup>: R\$  $5,1 * V^{0,09}$  para cada m<sup>3</sup> excedente

Para o esgoto:

- Até 8 m<sup>3</sup>: R\$ 48,96
- Acima de 8 m<sup>3</sup>: R\$ 6,12 para cada m<sup>3</sup> excedente

Tendo como base esses valores e os demais apresentados até aqui, pode-se fazer as execuções do programa da maneira explicada.

### 5.1.5.1 Testes padronizados

**Tabela 50: Parâmetros mais importantes dos testes padronizados para a cidade de Porto Alegre**

Parâmetros mais importantes	Porcentagem total da demanda referente ao subsistema de Aproveitamento de Águas Pluviais					
	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Custo com o AAP	R\$ 0	R\$ 5.025,73	R\$ 8.398,13	R\$ 18.382,02	Impossível	Impossível
Custo com o Reúso	R\$ 72.932,19	R\$ 68.840,67	R\$ 60.835,83	R\$ 54.714,99		
Custo com o comum	R\$ 256.500,62	R\$ 256.500,62	R\$ 256.500,62	R\$ 256.500,62		
Custo total	R\$ 329.432,81	R\$ 330.367,03	R\$ 325.734,58	R\$ 329.597,63		
-----						
Volume do Reservatório de Pluvial (m <sup>3</sup> )	0	5,789	13,074	42,190		
Volume do Reator UASB (m <sup>3</sup> )	3,591	3,277	3,075	2,785		

### 5.1.5.2 Solução Ótima

Com tudo que foi mostrado nos itens 4.5 e 4.6, é possível resumi-los na tabela 51:

Tabela 51: Parâmetros mais importantes para a solução ótima da cidade de Porto Alegre

Parâmetros	Porcentagem Ótima
	<b>20,11%</b>
<b>Consumo</b>	
Consumo mensal interno de água não potável (m³)	135,31
Consumo mensal externo de água não potável (m³)	15,12
Consumo mensal total de água não potável (m³)	150,43
<b>AAP</b>	
Volume requerido do AAP (m³)	30,25
Volume efetivamente tratado (m³)	23,68
Filtro de Areia (m³)	8,75
<b>Volume do Reservatório de Pluvial (m³)</b>	<b>13,535</b>
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 7.299,86
Custo dos Filtros de Areia	R\$ 1.320,92
<b>Custo total do AAP</b>	<b>R\$ 8.620,77</b>
<b>Reúso</b>	
Produção mensal de águas cinza (m³)	188,22
Volume requerido do Reúso (m³)	120,18
Volume efetivamente tratado (m³)	126,75
<b>Volume do Reator UASB (m³)</b>	<b>3,075</b>
Filtro Anaeróbio (m³)	2,82
Reservatório de Reúso (m³)	5,07
Lodo diário (L)	9,21
<b>Custos imediatos</b>	
Custo referente do Reservatório de Armazenamento	R\$ 2.734,27
Custo do Reator UASB	R\$ 30.789,18
Custo do Filtro Anaeróbio	R\$ 504,20
Custo das Valas de Filtração	R\$ 4.600,33
Custo das Bombas	R\$ 1.612,98
Custo do Poço de Visita	R\$ 2.073,53
<b>Custos contínuos</b>	
Custo anual com Energia	R\$ 577,32
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.612,98
Custo anual com Lodo	R\$ 292,85
<b>Custo total do Reúso</b>	<b>R\$ 57.848,87</b>
<b>Sistema em comum</b>	
Reservatório de Distribuição (L)	4011,40
Cisterna (m³)	18,75
Solução de Cloro diária (ml)	501,42
<b>Custos imediatos</b>	
Custo das Bombas	R\$ 1.612,98
Custo do Reservatório Superior	R\$ 1.357,19
Custo total do Reservatório de Armazenamento	R\$ 10.034,13
<b>Custos contínuos</b>	
Custo a cada 5 anos com troca de Bombas	R\$ 1.612,98
Custo anual com Energia	R\$ 236,18
Custo anual com Análises Físico-Químicas	R\$ 654,57
Custo anual com Desinfecção	R\$ 1.700,78
Custo anual com Esgoto Público	R\$ 6.378,04
Custo anual com Água Potável	R\$ 8.966,04
<b>Custo total do Sistema em comum</b>	<b>R\$ 256.500,62</b>
<b>Custo total do Sistema Híbrido</b>	<b>R\$ 322.970,26</b>

### 5.1.5.3 Atendimento pela Concessionária

Tabela 52: Parâmetros mais importantes para o atendimento pela concessionária de Porto Alegre

	Atendimento pela Concessionária
<b>Custos</b>	
Anual com Água Potável	R\$ 18.863,59
Anual com o Esgoto Público	R\$ 15.215,96
<b>Custo total da Concessionária</b>	<b>R\$ 475.276,48</b>

Tabela 53: Payback para Porto Alegre

Método de avaliação			
<i>Payback</i>			
Custo de implantação do Sistema Híbrido		R\$ 53.905,45	R\$
Custo anual com abastecimento de água pela concessionária		R\$ 9.897,55	R\$
Custo anual com a rede de esgoto da concessionária		R\$ 8.837,91	R\$
Benefício total anual		R\$ 18.735,47	R\$
<i>Payback</i>		2,88	anos
<i>Payback em meses</i>		34,53	meses
<b>Avaliação (OK ou Inadequado)</b>			<b>OK</b>

### 5.1.6 Síntese dos resultados

Tendo os resultados de todas as capitais, é possível comparar o ganho em relação à opção da concessionária.

Tabela 54: Ganho percentual da solução ótima em relação à concessionária no horizonte de projeto

	Capitais				
	Manaus	Recife	São Paulo	Brasília	Porto Alegre
Proporção AAP	<b>32,98%</b>	<b>24,09%</b>	<b>21,63%</b>	<b>0,00%</b>	<b>20,11%</b>
<b>Custos</b>					
AAP	R\$ 12.065,72	R\$ 8.817,05	R\$ 10.521,47	R\$ 0,00	R\$ 8.620,77
Reúso	R\$ 53.357,80	R\$ 49.358,47	R\$ 53.403,56	R\$ 70.423,71	R\$ 57.848,87
Comum	R\$ 119.695,89	R\$ 132.998,52	R\$ 98.371,01	R\$ 116.296,25	R\$ 256.500,62
Total	<b>R\$ 185.119,41</b>	<b>R\$ 191.174,04</b>	<b>R\$ 162.296,03</b>	<b>R\$ 186.719,96</b>	<b>R\$ 322.970,26</b>
Concessionária	<b>R\$ 331.115,46</b>	<b>R\$ 201.598,96</b>	<b>R\$ 241.204,59</b>	<b>R\$ 320.038,92</b>	<b>R\$ 475.276,48</b>
Ganho	<b>44,09%</b>	<b>5,17%</b>	<b>32,71%</b>	<b>41,66%</b>	<b>32,05%</b>

Por fim, pode se fazer um resumo discriminatório para todas as capitais dos custos da Cisterna e do reator UASB, maiores custos associados aos subsistemas de AAP e Reúso de Águas Cinza, respectivamente.

**Tabela 55: Resumo dos custos dos componentes do reator UASB e da Cisterna**

Distribuição de preços para o reator UASB e Cisterna para a solução ótima respectiva												
Norte, Nordeste e Centro-Oeste	Cidades											
	Manaus				Brasília				Recife			
	UASB		Cisterna		UASB		Cisterna		UASB		Cisterna	
Concreto	R\$ 4.768,74	23,47%	R\$ 2.936,74	30,48%	R\$ 4.031,76	13,69%	R\$ 910,69	27,03%	R\$ 3.465,99	19,01%	R\$ 1.949,84	28,76%
Armadura	R\$ 13.876,16	68,29%	R\$ 2.805,84	29,12%	R\$ 23.916,88	81,23%	R\$ 1.159,13	34,40%	R\$ 13.622,95	74,73%	R\$ 2.302,16	33,96%
Formas	R\$ 1.534,63	7,55%	R\$ 3.209,54	33,31%	R\$ 1.201,74	4,08%	R\$ 969,47	28,77%	R\$ 989,11	5,43%	R\$ 1.898,63	28,00%
Impermeabilização	R\$ 102,19	0,50%	R\$ 374,14	3,88%	R\$ 154,37	0,52%	R\$ 180,44	5,35%	R\$ 108,98	0,60%	R\$ 363,15	5,36%
Escavação	R\$ 4,55	0,02%	R\$ 57,08	0,59%	R\$ 8,32	0,03%	R\$ 23,37	0,69%	R\$ 4,91	0,03%	R\$ 53,80	0,79%
Escoramento	R\$ 32,06	0,16%	R\$ 250,99	2,61%	R\$ 129,31	0,44%	R\$ 126,54	3,76%	R\$ 38,40	0,21%	R\$ 212,10	3,13%
Total sem BDI	R\$ 20.318,33	100,00%	R\$ 9.634,34	100,00%	R\$ 29.442,38	100,00%	R\$ 3.369,64	100,00%	R\$ 18.230,34	100,00%	R\$ 6.779,68	100,00%
Total com BDI	R\$ 26.413,83		R\$ 12.524,65		R\$ 38.275,09		R\$ 4.380,54		R\$ 23.699,44		R\$ 8.813,58	
Sudeste e Sul	São Paulo				Porto Alegre							
	UASB		Cisterna		UASB		Cisterna					
Concreto	R\$ 3.730,92	17,75%	R\$ 2.240,92	27,81%	R\$ 4.975,55	21,01%	R\$ 2.344,92	30,38%				
Armadura	R\$ 15.959,54	75,95%	R\$ 2.797,61	34,71%	R\$ 17.036,23	71,93%	R\$ 2.405,85	31,17%				
Formas	R\$ 1.049,07	4,99%	R\$ 2.140,08	26,55%	R\$ 1.400,35	5,91%	R\$ 2.269,04	29,40%				
Impermeabilização	R\$ 159,28	0,76%	R\$ 518,20	6,43%	R\$ 151,33	0,64%	R\$ 373,03	4,83%				
Escavação	R\$ 8,98	0,04%	R\$ 80,16	0,99%	R\$ 10,09	0,04%	R\$ 57,56	0,75%				
Escoramento	R\$ 105,98	0,50%	R\$ 282,10	3,50%	R\$ 110,45	0,47%	R\$ 268,16	3,47%				
Total sem BDI	R\$ 21.013,77	100,00%	R\$ 8.059,07	100,00%	R\$ 23.683,99	100,00%	R\$ 7.718,56	100,00%				
Total com BDI	R\$ 27.317,90		R\$ 10.476,79		R\$ 30.789,18		R\$ 10.034,13					

## 5.2 Discussões

Alguns comentários de caráter geral são possíveis de ser extraídos dos cálculos realizados:

- ✓ A confiabilidade do subsistema de águas pluviais é um fator muito importante em todas as capitais. Dependendo do índice escolhido, pode ser ou não que a pluviosidade local dê conta, sendo todo o suprimento feito pelo subsistema de reúso de águas cinza. Logo, os resultados poderiam ser diferentes, dada outra escolha, sendo, muitas vezes, impossível o atendimento de 90% da demanda apenas pela chuva.
- ✓ Apesar de apenas 5 cidades terem sido testadas, fica evidenciado que os índices pluviométricos juntamente com a demanda da população são muito relevantes para se garantir o nível de confiabilidade. Tomando outros dados do SNIS, fica claro que as maiores pluviosidades se encontram no Norte e Nordeste, regiões com os menores consumos per capita. Brasília, São Paulo e Porto Alegre não puderam suprir as condições de demanda com a chuva para alguns índices.

- ✓ As menores temperaturas médias do mês mais frio também ocorrem nessa parte do território, já que apresentam maior oscilação térmica. Isso favorece o AAP em detrimento do Reúso de Águas Cinza, pois há menor digestão da matéria orgânica, sendo necessário maior tempo de detenção hidráulica e gerando mais lodo.
- ✓ Apesar da grande não linearidade envolvida nos problemas, fica claro que o reservatório de água pluvial e o reator UASB são os componentes mais dispendiosos, como dito anteriormente, pois envolvem a parte estrutural mais importante de cada subsistema.
- ✓ Um fato relativamente previsível é que, para os parâmetros adotados, o reservatório de pluvial cresce de forma muito mais rápida do que o decréscimo do reator UASB, à medida que se aumentam as porcentagens. Isso se deve ao subsistema de AAP ter que armazenar para dias em que não ocorre chuva, ao contrário do subsistema de reúso de águas cinza, que tem muita disponibilidade, tendo inclusive uma oferta maior que a demanda para a conformação estabelecida.

Cabem também outras discussões mais específicas acerca dos resultados:

- Manaus é a capital que apresenta a maior tarifa de energia, sendo 26% maior que a de Brasília e 55,2 % que a de Porto Alegre. Isso desfavorece um pouco o reúso de águas cinza devido aos custos com energia nos 20 anos analisados, já que mesmo as bombas sendo utilizadas durante apenas 9 horas por dia, o montante desse item corresponde a 19,1 % dos gastos contínuos na solução ótima.
- Percebe-se que pela variância na quantidade de chuvas, o reservatório cresce de forma diferente nas cidades, mesmo mantendo o nível de confiabilidade do subsistema. Para 30% de AAP a razão entre os volume de reservatório de pluvial e reservatório de reúso necessários é de 8,5 vezes. Porto Alegre, por exemplo, a segunda menor, é de 15,2 vezes, mostrando a relatividade entre os custos.
- Outro dado curioso, é que observando Manaus e Porto Alegre, percebe-se que para os custos entre o subsistema de reúso e AAP terem razão de 3, basta na primeira o reservatório de pluvial ser cerca de 20 vezes maior que o reator UASB, enquanto na segunda essa razão é de apenas 15. Logo, em Manaus, é possível aproveitar bem mais chuva com a mesma razão de preços.
- Para Porto Alegre, vemos que o custo da energia é muito pequeno, de apenas R\$ 0,391 por kWh, porém, pela solução, vemos que o fato do reator UASB ficar muito

grande, evidentemente torna sua parte estrutural mais preponderante, já que o software ainda indica parcialmente o subsistema de AAP.

- São Paulo assim como Porto Alegre apresentam temperaturas do mês mais frio menores que 17 °C. Porém, além da precipitação ser maior na primeira, a demanda também é menor, o que permite maior utilização do AAP, já que o nível de confiabilidade pode ser atingido de forma viável.
- Se tomarmos o preço médio do m<sup>3</sup> de cisterna para Manaus, que é de R\$ 695,52, vemos que ele é o maior dentre todas as cidades. Isso é balanceado pelo preço unitário do reator UASB, que é de R\$ 19641,46, também o maior dentre todas.
- Recife apresentou pequena variabilidade de custos totais, sendo a solução ótima apenas 5,4% melhor financeiramente que a opção de obter água potável pela concessionária, havendo inclusive soluções viáveis piores, o que não ocorre nos outros casos, mostrando que talvez nem seja adequado utilizar o sistema híbrido dependendo de outras análises profissionais. Porto Alegre, com 47,1%, apresenta o segundo percentual, enquanto que Manaus apresenta um ganho de 78,9%. Pelo Payback, porém, Porto Alegre oferece o menor tempo de retorno, quase idêntico ao de Manaus, enquanto Recife tem o maior, sendo 54% maior que São Paulo.
- Esse último ponto também está atrelado à baixíssima demanda da capital pernambucana. Sendo uma capital relativamente chuvosa, ela é facilmente atendida por reservatórios menores. Além disso, os custos com esgoto e água pela concessionária são reduzidos.
- Porto Alegre apresentou custos sensivelmente superiores para todos os casos. Isso está fortemente ligado a duas causas: ao valor das contas do edifício para abastecimento de água potável e coleta e tratamento de esgoto pela concessionária e à demanda altíssima, 28,6% maior que em Brasília. Como dados ilustrativos, é possível notar que 79,4 % dos gastos com o sistema híbrido são por meio do subsistema comum, ao passo que as outras 4 capitais estão na faixa de 60 a 70%. Ainda em valores absolutos para a solução ótima, vemos que em Porto Alegre se gasta quase duas vezes mais no subsistema comum que em Recife, o segundo nessa escala.
- Por outro lado, as tarifas baixas de água e esgoto em São Paulo permitiu que essa cidade apresenta-se o menor custo geral, cerca de 12 % do que em Manaus, que vem em segundo lugar.

- As altas temperaturas de Manaus e Recife reduzem o tamanho necessário do reator UASB, porém a variação é de no máximo 10 % ao longo dos testes, o que não impacta tão fortemente nos custos.
- É interessante notar que apesar de Brasília e Porto Alegre terem pluviosidade parecida, o fato da temperatura da segunda ser menor aumenta o tempo de retenção hidráulica e conseqüentemente o volume do reator UASB, o que viabiliza o aproveitamento de águas pluviais parcialmente.
- A inviabilidade da utilização do subsistema de AAP em Brasília já fica latente quando se observa a variação total do custo quando se varia de 0 para 10 % a porcentagem da demanda requerida para ele. Enquanto na capital nacional esse índice é de 3,91%, em São Paulo, segundo maior, é de apenas 1,04%.
- Em Manaus, a diferença entre os custos com o concreto faz uma grande diferença, pois o C50 do UASB é cerca de R\$ 200,00 mais caro que o C25 da cisterna, enquanto em Brasília essa diferença é de apenas R\$ 137,00. Como a parte estrutural influencia significativamente, esses valores estão de acordo com os resultados ótimos obtidos. As formas por outro lado são 55,2 % mais caras que em Brasília, o que afetaria mais o AAP, já que o reservatório de pluvial é bem maior. Os resultados mostram a notável superposição da parte estrutural, portanto.
- Em Porto Alegre, os preços unitários para cada bitola das armaduras tem menor variação de preço sendo, no máximo, de R\$ 2,83, enquanto em Manaus pode chegar a R\$ 3,19. Isso implica em uma razão de custos menor entre o reator e o reservatório de água pluvial, principais componentes do subsistema, dadas condições idênticas, já que o aço é o item de maior custo unitário.

## 6 Conclusão

Dado tudo o que foi mostrado, é possível tirar algumas conclusões e indicar algumas diretrizes para a melhoria desse trabalho ou para a sua utilização como base de outros.

De um modo geral, é perceptível que o reservatório cresce numa proporção bem maior que o reator UASB para a maioria das cidades. Isso implica em dois fatores preponderantes para a utilização do sistema híbrido: grandes quantidades de chuva ou que, no mínimo, possam suprir as demandas ou temperaturas mais baixas devido ao funcionamento da manta de lodo da ETAC, que é fortemente depreciado pela baixa

digestão imposta em ambientes frios. Caso contrário, a tendência é que haja soluções bem melhores tanto econômica como ambientalmente do que adquirir água potável pela concessionária, mas estas possivelmente não utilizariam o AAP.

Nesse contexto, a princípio, algumas cidades da região Norte e Nordeste, com precipitações regulares e de grande magnitude, estações secas bem definidas e curtas ou inexistentes e sem variação térmica significativa durante os meses, seriam perfeitas, sendo muito beneficiadas por esse método, principalmente em regiões de baixa renda, desde que houvesse aporte inicial. Além destas, é de se esperar que cidades com clima temperado da região Sudeste e Sul também tenham benefícios em aderir ao modelo, pois teriam gastos muito expressivos com o reúso, se o utilizassem isoladamente. Baseado também nessa pequena amostra acredita-se que, no Centro-Oeste, utilizar o AAP não seria proveitoso, pois o volume de chuvas não é atraente e pode-se gastar menos utilizando apenas o Reúso de Águas Cinza.

Claro que há dependência com fatores como energia, custo dos materiais e tipo de montagem dos subsistemas, algo não discutido aqui, e que podem afetar sobremaneira os preços tanto contínuos como imediatos. Apesar disso, há de se levar em consideração que esse trabalho foi direcionado para um edifício com pequena quantidade de pessoas e que os custos, numa escala maior, poderiam mudar consideravelmente.

Na verdade, apesar de não fazer parte do escopo desse modelo, é necessário, para um refinamento e aprofundamento, considerar muitos outros custos associados, análises de especialistas quanto à viabilidade e adequação do projeto e sobre a sua implantação e efeitos sobre o meio biótico, além de se obter mais informações técnicas sobre os materiais, ferramentas e equipamentos fornecidos pelas empresas. No tocante à manutenção, que foi abordado de modo mais superficial, é importante introduzir prazos e custos realistas para a troca de peças e materiais. A utilização do SINAPI, apesar de gerar excelentes resultados no trabalho, apenas serve como base, já que o ideal seria uma pesquisa sobre os produtos e serviços que fazem parte do Sistema Híbrido, inclusive com uma melhor estimativa de BDI. O consumo de água e esgoto pode ainda ser feito de maneira mais precisa para cada núcleo estudado, no caso de um projeto, com o auxílio de hidrômetros, já que a padronização acaba enviesando um pouco o resultado.

Os resultados obtidos deixam claro que realmente o reator UASB reduz o volume significativamente do subsistema de Reúso de Águas Cinza e que,

invariavelmente, o método utilizando o Solver nos indicou um reservatório bem mais econômico que os outros dois métodos, o de Azevedo Neto e o de Rippl. Isso ocorre porque ele prescinde de “chute” inicial para o volume, sendo o software, e somente ele, responsável pelos cálculos. É importante ressaltar que, para se evitar aleatoriedades e falta eventual de dados, a alternativa de utilização de dados diários se mostrou adequada. Outra observação importante é que a não linearidade entre as proporções entre os subsistemas se deve a escolha de materiais, às variações de porte entre os componentes, à diferença entre os custos contínuos de energia, lodo, troca de bombas, dentre outros, algo que pode ser acentuado pela melhor estimativa sugerida anteriormente, tornando o método ainda mais imprevisível e apropriado.

Destaca-se que a metodologia se mostrou eficiente e, além de indicar a melhor opção economicamente, demonstra a sua vantagem sobre a obtenção de água pela concessionária. Partindo do que foi proposto, novos trabalhos podem, para cada localidade de interesse, estabelecer a partir de que nível pluviométrico o Sistema Híbrido passa a ser interessante ou se apenas uma das opções é preferível.

Por fim, esse trabalho, sintetizado nesse relatório, se mostrou uma ferramenta de apoio crucial para o desenvolvimento do uso de fontes alternativas de água, contribuindo para a sustentabilidade e economicidade do meio de interesse.

## 7 Referências Bibliográficas

- [1] DANIEL, L.A.(Coord.). **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. 1.ed. São Carlos, 2001. 139 p.
- [2] GONÇALVES, R.F.(Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. 1.ed. Vitória, 2009. 352 p.
- [3] **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. TOMAZ, P. Disponível em:<[www.pliniotomaz.com.br](http://www.pliniotomaz.com.br)>. Acesso em 10 set.2017.
- [4] PIMENTEL, Marcio Antonio da Silva. **Águas Pluviais**. Notas de aula. 2016.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. et al. **Conservação e Reúso da água em Edificações**. São Paulo, 2005. 151 p.
- [6] BAZZARELLA, B.B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- [7] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. et al. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Brasília, 2009. 288 p.
- [8] FLORENCIO, L.(Coord.); BASTOS, R. K. X.(Coord.); AISSE, M.M.(Coord.). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. 1.ed. Recife, 2006. 427 p.
- [9] CAMPOS, J.R.(Coord.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1.ed. Rio de Janeiro, 1999. 464 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- [13] GONÇALVES, R.F.(Coord.). **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. 1.ed. Vitória, 2003. 438 p.

- [14] GONÇALVES, R.F.(Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. 1.ed. Vitória, 2006. 352 p.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- [16] CHERNICHARO, C.A de L. **Reatores anaeróbios**. 1.ed. Belo Horizonte, 1997. v.5, 245 p.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em área urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- [18] JÚNIOR, W.C de S.(Ed.); RIBEIRO, E.N.(Ed.). **Uso Eficiente da Água em Aeroportos**. 1.ed. São Carlos, 2011. 318 p.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 27 de novembro de 2017	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-157/2017	4. N° DE PÁGINAS 135
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Otimização de sistema híbrido para aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza.			
6. AUTOR(ES): <b>Iury Pinheiro Freire Ximenes</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Otimização de custos 2. Águas Pluviais 3. Águas Cinza 4. Sistema Híbrido 5. Análise Comparativa 6. Sustentabilidade 7. Economicidade.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Recursos hídricos; Análise comparativa; Otimização; Desenvolvimento sustentável; Economia de consumo; Engenharia sanitária.			
10. APRESENTAÇÃO: <b>X Nacional</b> <b>Internacional</b> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Ten Cel Eng Marcio Antônio da Silva Pimentel. Publicado em 2017.			
11. RESUMO: Devido ao aumento da demanda por recursos hídricos, no Brasil e no mundo, é necessária a busca por fontes alternativas que permitam o consumo sustentável. Por outro lado, isso não seria viável caso os custos fossem exorbitantes. Esse trabalho, portanto, se propõe a encontrar, pelo menos a nível doméstico, que representa uma das maiores demandas de recursos hídricos, uma solução que permita o consumo consciente e obedeça à legislação brasileira, com o menor custo possível, por meio de uma otimização teórica de sistema de uso conjunto, aqui chamado de híbrido, para o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza. As ideias concebidas nesse relatório, mesmo que com uma amostra pequena, têm como objetivo encontrar soluções particulares para cada localidade de interesse, visto que as condições nos aspectos cultural, econômica, climático, social e político são muito diferentes. Destaca-se que apesar de haver estudos incipientes sobre esse tema, esse trabalho trata de modo mais direto a formulação matemática e dá alternativas sólidas e baratas para projetos futuros. Por fim, acredita-se que, apesar de estar longe de esgotar o tema, esse trabalho possa ajudar a difundir conhecimento técnico e mostrar que a realidade exige mudança de atitude por parte das pessoas para a preservação do planeta.			
12. GRAU DE SIGILO: <b>(X) OSTENSIVO</b> <b>( ) RESERVADO</b> <b>( ) SECRETO</b>			