

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELA CHEMIN

CONCEPÇÃO DE ALTERNATIVA PARA O USO DE ÁGUA CINZA EM PRÉDIOS
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO

CURITIBA 2014

ISABELA CHEMIN

CONCEPÇÃO DE ALTERNATIVA PARA O USO DE ÁGUA CINZA EM PRÉDIOS
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO

Trabalho de graduação apresentado à disciplina
Projeto Final de Engenharia Ambiental II, do curso
de Engenharia Ambiental, setor de exatas da
Universidade Federal do Paraná

Orientador: Daniel da Costa dos Santos

Curitiba

2014

RESUMO

A busca por soluções sustentáveis aos problemas cotidianos está se tornando cada vez mais comum com a conscientização das pessoas quanto à importância do meio ambiente. A água é o recurso natural da Terra mais importante, sendo responsável pela sobrevivência de todas as espécies. O seu mal aproveitamento tem tornado imprescindível a necessidade de novas tecnologias que reduzam seu consumo, e uma dessas tecnologias é o uso da água cinza, ou seja, reaproveitamento da água utilizada pelos chuveiros, pias, lavatórios e máquinas de lavar. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um estudo de concepção de um sistema de uso de águas cinzas em uma edificação residencial localizada na cidade de Curitiba, avaliando as potencialidades e dificuldades de implantação. Para o tratamento da água cinza foram escolhidos os tratamentos por meio de gradeamento, tanque séptico, biofiltro aerado submerso e desinfecção por pastilhas de cloro. O custo de implantação desse sistema apresentou um valor alto, porém comparando-se com o custo da obra torna-se um valor relativamente baixo. A falta de legislações e normas específicas para uso da água cinza é um dos empecilhos desse tipo de estudo, tornando-o mais caro e restringindo-o muitas vezes. A ausência de incentivos governamentais também prejudica essa prática, tornando-a desconhecida pela maioria da população.

Palavras-chave: água cinza, biofiltro aerado submerso, economia de água, reúso de água, tanque séptico, tratamento de água

ABSTRACT

The search for sustainable solutions to everyday problems is becoming increasingly common with the awareness of people about the importance of the environment. Water is earth's most important natural resource, being responsible for the survival of all species. Your bad utilization made the need for new technologies essential to reduce their consumption. One of these technologies is the use of greywater, as known as, the reuse of water used from showers, sinks, wash basins and washing machines. This paper aims to develop a design study of a greywater system in a residential building located in the city of Curitiba, evaluating the potential and implementation difficulties. For the gray water the treatments chosen were grating, septic tank, submerged aerated biofilter and disinfection with chlorine tablets. The implementation cost of this system showed a high value, but comparing with the cost of the construction, it becomes a relatively low value. The lack of specific laws and regulations for the use of gray water is one of the obstacles of this type of study, making it more expensive and restricting it often. The absence of government incentives also affect the practice, making it unknown to the majority of population.

Key-words: greywater, septic tank, submerged aerated biofilter, water reuse, water savings, water treatment

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DISCREPÂNCIA ENTRE A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DOCE NO MUNDO (WRSC, 2000).....	10
FIGURA 2 - RELAÇÃO ENTRE A DEMANDA E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DOCE NO BRASIL (ANA, 2014).....	12
FIGURA 3 - SUGESTÕES DE REÚSO DA ÁGUA (HESPANHOL, 2002).....	16
FIGURA 4 - CLORADOR DE PASTILHA (HIDROSUL, 2014).....	28
FIGURA 5 - CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA CINZA (AUTORA, 2014)	36
FIGURA 6 - FILTRO UTILIZADO COMO GRADEAMENTO (3P TECHNIK, 2014).....	47
FIGURA 7 - CONFIGURAÇÃO DO TANQUE SÉPTICO (AUTORA, 2014)	48
FIGURA 8 - CONFIGURAÇÃO DO BIOFILTRO AERADO SUBMERSO (ADAPTADO NBR 13.969/1997, AUTORA, 2014)	49
FIGURA 9 - SOPRADOR DE AR, MODELO GF-180 (AQUASET, 2014).....	50
FIGURA 10 - DIFUSOR DE AR, MODELO TUBULA DE AÇO INOXIDÁVEL BOLHA GROSSA (B&F DIAS, 2014).....	50
FIGURA 11 – BOMBA BC-98 (SCHNEIDER, 2014).....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DA ÁGUA.....	11
TABELA 2 - CONSUMO DE ÁGUA POR APARELHO EM EDIFICAÇÃO POPULAR	14
TABELA 3 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA	19
TABELA 4 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA	20
TABELA 5 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE PARA REÚSO DA ÁGUA.....	21
TABELA 6 - PERCENTUAL APROXIMADO DE ESGOTO BRUTO E ÁGUA CINZA GERADOS EM UMA HABITAÇÃO.....	22
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DE ÁGUA CINZA ORIGINADAS DE DIFERENTES FONTES.....	22
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA CINZA.....	23
TABELA 9 - TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS POR DIVERSOS AUTORES.....	29
TABELA 10 - CONCENTRAÇÕES MÉDIA DA ÁGUA CINZA	34
TABELA 11 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA	34
TABELA 12 - VALORES OBTIDOS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA CINZA	52
TABELA 13 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE USO DA ÁGUA CINZA	56

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CO₂ – Dióxido de Carbono

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DEP – Department of Environmental Protection

DN – Diâmetro Nominal

DQO – Demanda Química de Oxigênio

IWMI – International Water Management Institute

LABPOL – Laboratório de Controle da Poluição das Águas

NSWHEALTH – New South Wales Health

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

UHC – Unidade Hunter de Contribuição

WRSC – World Resources Sim Center

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	PANORAMA DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA.....	9
2.1.1	Panorama da Disponibilidade de Água no Mundo	9
2.1.2	Panorama da Disponibilidade de Água no Brasil	11
2.2	ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	13
2.2.1	Conceito	13
2.2.2	Classificação	13
2.2.3	Parametrização do Consumo Residencial da Água.....	14
2.2.4	Caracterização das Águas Residuais: Parâmetros Físicos	14
2.2.5	Caracterização das Águas Residuais: Parâmetros Químicos.....	15
2.2.6	Caracterização da Água Residual: Parâmetros Microbiológicos	15
2.3	REÚSO DE ÁGUA.....	15
2.3.1	Tipos de Reúso da Água	16
2.3.2	Aplicação de Água de Reúso	16
2.3.3	Requisitos Qualitativos para Usos Não Potáveis	17
2.3.4	Crterios Qualitativos para Usos Não Potáveis	18
2.4	ÁGUA CINZA	21
2.4.1	Parametrização da Geração Residencial da Água Cinza: Abordagem Quantitativa.....	21
2.4.2	Caracterização da Água Cinza: Abordagem Qualitativa	22
2.4.3	Sistemas de Uso de Água Cinza	23
2.4.4	Etapas do Tratamento da Água Cinza	25
2.4.5	Tecnologias de Tratamento da Água Cinza	28
2.5	NORMATIZAÇÃO.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	LOCAL DE ESTUDO	31
3.2	AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E POTENCIALIDADES.....	31
3.2.1	Geração de Água Cinza	31

3.2.2	Consumo de Água Cinza.....	32
3.3	CONCEPÇÃO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA CINZA	33
3.3.1	Qualidade da Água Cinza	33
3.3.2	Critérios Quantitativos.....	34
3.3.3	Critérios Qualitativos	34
3.3.4	Definição dos Tratamentos	35
3.3.5	Configuração do Sistema de Aproveitamento da Água Cinza	35
3.4	ESTUDO DE CONCEPÇÃO.....	37
3.4.1	Coleta das Águas Cinzas	37
3.4.2	Sistema de Tratamento das Águas Cinzas	38
3.4.3	Dimensionamento.....	38
4	RESULTADOS	45
4.1	BALANÇO HÍDRICO.....	45
4.1.1	Geração de Água Cinza	45
4.1.2	Consumo de Água Cinza.....	45
4.2	ECONOMIA DE ÁGUA	46
4.3	DIMENSIONAMENTO	46
4.3.1	Dimensionamento das Grades.....	46
4.3.2	Dimensionamento do Tanque Séptico	47
4.3.3	Dimensionamento do Biofiltro Aerado Submerso.....	48
4.3.4	Dimensionamento do Reservatório Inferior e Superior	50
4.4	DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS	50
4.5	AVALIAÇÃO DOS CUSTOS.....	52
5	DISCUSSÃO	57
6	COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

Além de constituir a maior parte do corpo do ser humano e ser responsável por funções vitais como hidratação, transporte de oxigênio, alimentos e sais minerais, a água tem um papel fundamental para a vida. O planeta Terra é composto em sua maioria por água, porém a quantidade de água doce existente nele é baixíssima, ou seja, a água apropriada para o consumo, irrigação, pecuária e outros, encontra-se limitada. Além disso, as atividades antrópicas tem tornado a água cada vez mais escassa.

Os principais fatores responsáveis por essa escassez são o crescimento desenfreado da população e o uso excessivo de água em algumas regiões. Embora durante décadas não houvesse nenhuma preocupação quanto ao seu uso consciente, hoje em dia a questão do uso dos recursos naturais vêm se tornando mais relevante, principalmente pelo fato de que muitas populações já sofrem consequências pela falta dos mesmos.

No caso específico da crescente demanda por água doce relativa ao crescimento populacional cabe destacar a significativa geração dos efluentes doméstico e industrial. Esses efluentes demandam grandes gastos para tratá-los e quando não são tratados, como ocorre em algumas regiões, comprometem a qualidade da água na qual é lançado.

Em decorrência desses fatores, a demanda por um uso mais eficiente da água e por fontes alternativas de água estão sendo cada vez mais imprescindíveis. As questões ambientais também vêm tomando destaque, fazendo com que a sociedade mude seus hábitos e prefira sistemas e produtos sustentáveis aos comuns. Uma alternativa que visa a redução do consumo de água e ao mesmo tempo é sustentável, é o uso de água cinza, uma técnica viável, porém pouco comum no Brasil.

1.1 OBJETIVO

Considerando a necessidade de implantar novas tecnologias que visem a redução do consumo de água, o presente trabalho tem por objetivo o estudo de

concepção de uma alternativa para o uso de água cinza em prédios residenciais no Brasil .

Os objetivos específicos desse projeto estão associados às atividades listadas abaixo.

- Avaliação das potencialidades e dificuldades deste tipo de sistema no Brasil.
- Concepção e dimensionamento de um sistema de uso de água cinza para edificações residenciais.
- Estudo de caso na cidade de Curitiba, Paraná.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi organizada em três seções conforme segue:

- Panorama da disponibilidade de Água Potável no mundo e no Brasil
- Águas Residuárias
- Normas e Legislações

Estes temas serão apresentados a seguir.

2.1 PANORAMA DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Esta seção apresenta um panorama geral da situação de disponibilidade de água no mundo e no Brasil.

2.1.1 Panorama da Disponibilidade de Água no Mundo

De acordo com o relatório *Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2012* (ONU, 2013), a população mundial em 2012 era de 7,2 bilhões e a previsão é de que em 2050 a população seja de 9,6 bilhões, gerando grandes preocupações em relação a demanda de água.

Em diversas regiões do mundo já existem datas previstas para a escassez total de água. Na Índia, por exemplo, um a cada três indianos estará passando por situações de escassez total de água no ano de 2025 (IWMI, 2000). De acordo com o *Human Development Report* (ONU, 2006) até 2025 mais de três bilhões de pessoas estarão vivendo em países com grande escassez de água.

Além do aumento mundial da população, outro fator importante que contribuí para o aumento do consumo de água é o seu uso exagerado, principalmente em países desenvolvidos. De acordo com o *Department of Environmental Protection of New York* (DEP, 2014), a média residencial gasta por um cidadão por dia em Nova York é de 60 a 70 galões, correspondendo a aproximadamente 246 litros.

A discrepância entre a disponibilidade de água doce no mundo pode ser analisada na FIGURA 1. No Oriente Médio e na África podemos notar que a disponibilidade de água é bem menor do que nas outras regiões do mundo, fator que leva a sérios problemas nessa região, principalmente ligados a desnutrição.

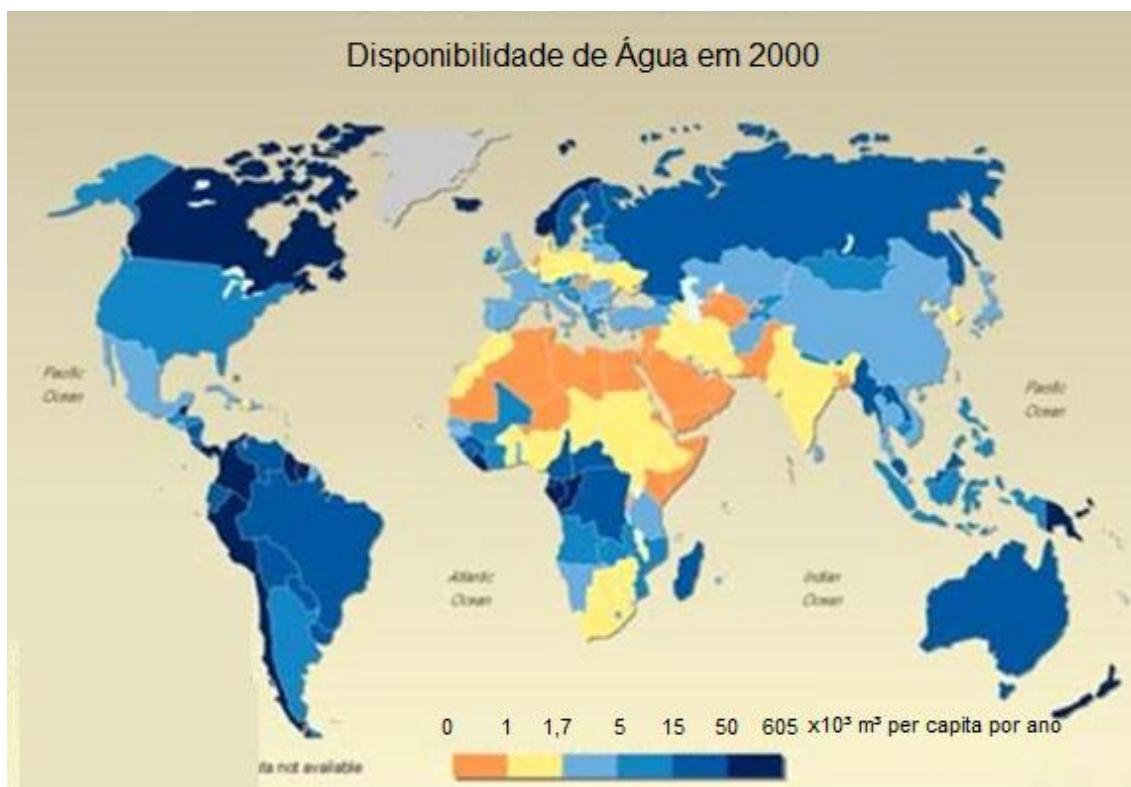


FIGURA 1 - DISCREPÂNCIA ENTRE A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DOCE NO MUNDO (WRSC, 2000).

De acordo com o *Millenium Development Goals Report* (ONU, 2012), 783 milhões de pessoas, o equivalente a 11% da população mundial, continuam sem acesso a uma fonte adequada de água potável. Ainda de acordo com o relatório, cerca de 40% de toda a população da África subsaariana vive sem água potável.

Uma estimativa da distribuição global da água é apresentada na TABELA 1 (Gleick, 1993).

TABELA 1 - ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DA ÁGUA

Fonte de Água	Volume de Água (km ³)	Porcentagem de Água Doce	Porcentagem Total de Água
Oceanos e mares	1.338.000.000	--	96,54
Geleiras	24.064.000	68,7	1,74
Águas Subterrâneas	23.400.000	--	1,69
Umidade nos Solos	16.500	0,05	0,001
Gelo nos Solos	300.000	0,86	0,022
Lagos	176.400	--	0,013
Atmosfera	12.900	0,04	0,001
Água de Pântano	11.470	0,03	0,0008
Rios	2.120	0,006	0,0002
Água Biológica	1.120	0,003	0,0001

FONTE: GLEICK (1993).

Do total de água apresentado na TABELA 1 vemos que menos de 4% são de água doce, ou seja, além da água disponível para consumo do ser humano existir em pouca quantidade, ela têm se tornado cada vez mais escassa devido às atividades antrópicas.

2.1.2 Panorama da Disponibilidade de Água no Brasil

O Brasil é um país com uma grande disponibilidade e abundância de água, mas, mesmo assim, o uso desse bem deve ser realizado de forma racional e consciente. Além disso, deve-se levar em conta que o país está em constante crescimento e a falta de fiscalização quanto ao uso dos recursos hídricos agrava ainda mais os problemas relacionados à disponibilidade de água.

De acordo com a Lei das Águas (1997) o Brasil possui 12% de toda a água doce do planeta, tendo o volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela ONU de 1.700 m³ por habitante por ano.

Embora o país possua uma grande quantidade de água disponível como um todo, cada divisão regional apresenta uma característica diferente quanto à disponibilidade de água. A região Nordeste, por exemplo, apresenta uma disponibilidade hídrica per capita insuficiente para atender a sua demanda necessária. O contrário ocorre na região Norte, visto que o volume de água doce disponível é alto e a densidade demográfica é baixa. A FIGURA 2 mostra a relação entre a demanda e a disponibilidade de água doce no Brasil conforme o Atlas Geográfico Digital de Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2014).

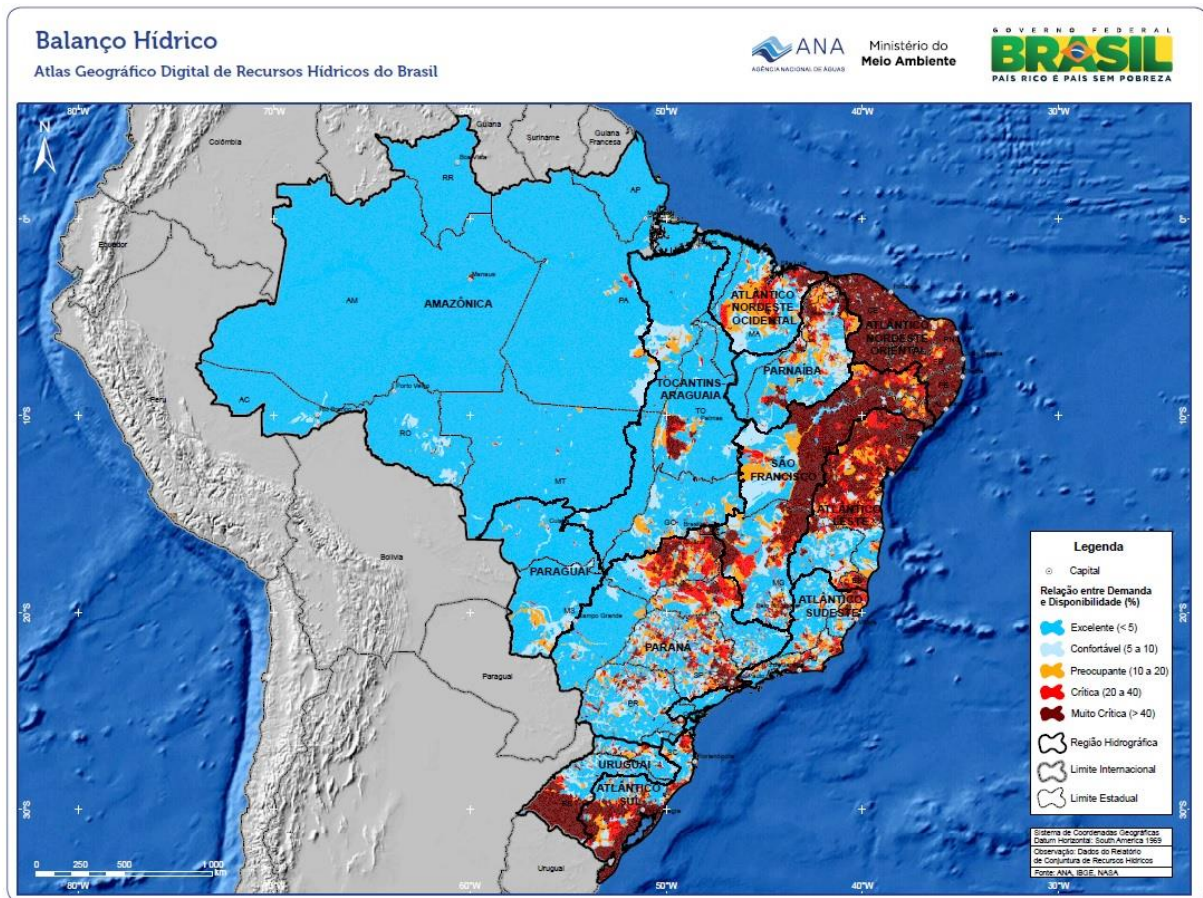


FIGURA 2 - RELAÇÃO ENTRE A DEMANDA E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DOCE NO BRASIL (ANA, 2014)

No geral, comparando-se a outros países, o Brasil possui uma boa disponibilidade hídrica. O que diferencia muitas vezes a água disponível no Brasil com a de outros países, principalmente os desenvolvidos, é sua qualidade. No Brasil ainda há pouca fiscalização quanto ao uso dos recursos hídricos e quanto à poluição sobre esses recursos, comprometendo sua qualidade.

As principais fontes responsáveis por essa poluição são as indústrias, as residências, a agricultura e a mineração, que muitas vezes não fazem o despejo de seus efluentes de forma adequada. Em muitos locais em que não há fiscalização as indústrias despejam diretamente nos rios seu esgoto, sem que os mesmos possuam qualquer tipo de tratamento. Dependendo do tipo de indústria as substâncias eliminadas no esgoto podem comprometer totalmente a qualidade da água, podendo gerar consequências na saúde de quem fizer seu uso. O mesmo ocorre em residências localizadas em regiões sem rede de

esgoto.

Os principais poluentes despejados pelas residências e que devem ser removidos para seu reúso são os patógenos, a matéria orgânica biodegradável, os nutrientes, compostos recalcitrantes, além de componentes tóxicos (Guimarães; Nour, 2001). Na agricultura as principais fontes de poluição hídrica são os despejos de herbicidas, inseticidas e fertilizantes. Na mineração diversos materiais tóxicos são produzidos e ao escoarem juntamente com a chuva ocasionam a contaminação dos cursos d'água.

2.2 ÁGUAS RESIDUÁRIAS

2.2.1 Conceito

As águas residuárias são os efluentes gerados por residências, empreendimentos comerciais, indústrias e pelo setor agrícola.

2.2.2 Classificação

As águas residuárias são classificadas da seguinte forma (Otterpohl, 2001 *apud* Bazzarella, 2005):

- Água Negra, também conhecida como *blackwater*, a qual é proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico;
- Água Cinza, também conhecida como *greywater*, a qual é derivada dos chuveiros, pias e máquinas de lavar;
- Água Amarela, a qual representa a urina;
- Água Marrom, a qual representa as fezes.

Cabe salientar que essa classificação pode variar conforme autor e região. Segundo o Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, 2005) a água proveniente da pia da cozinha não é classificada como água cinza no Brasil, visto que é comum jogar restos de alimentos pela pia gerando grandes concentrações de matéria orgânica nos efluentes.

2.2.3 Parametrização do Consumo Residencial da Água

A TABELA 2, apresentada a seguir, mostra uma estimativa do consumo médio de água por aparelho em uma residência popular (PNCDA DTA E1, 1998), pela qual é possível quantificar as contribuições de águas residuárias por fonte.

TABELA 2 - CONSUMO DE ÁGUA POR APARELHO EM EDIFICAÇÃO POPULAR

Fonte	Consumo diário por habitante (L/dia.hab)	Consumo (%)
Bacia Sanitária	24	5
Chuveiro	238	55
Lavadora de Roupas	48	11
Lavatório	36	8
Pia	80	18
Tanque	11	3
Consumo Total	437	100

FONTE: PNCDA DTA E1 (1998)

Assim, os equipamentos que mais contribuem para geração de efluentes domésticos são o chuveiro e a pia, totalizando um consumo de mais de 70%.

2.2.4 Caracterização das Águas Residuais: Parâmetros Físicos

Segundo Mahmoud (2011), as principais características físicas que devem ser analisadas se tratando de esgoto doméstico são os sólidos totais, os sólidos suspensos, os sólidos voláteis, o pH, a turbidez, a condutividade e a temperatura.

Altas temperaturas afetam as reações e as taxas das reações (Mahmoud, 2011). Além disso, influenciam no crescimento de microorganismos (Bazzarella, 2005). Segundo a autora os dados referentes a turbidez e aos sólidos são importantes, pois informam o conteúdo das partículas, assim como os colóides que podem causar entupimento durante o tratamento desse efluente. O pH afeta nas reações bioquímicas e nas atividades biológicas (Mahmoud, 2011). A condutividade é importante na quantificação de sal do efluente (Levlin, 2014).

2.2.5 Caracterização das Águas Residuais: Parâmetros Químicos

Mahmoud (2011) destaca como características químicas importantes a demanda química de oxigênio, a demanda bioquímica de oxigênio, o nitrogênio total, a amônia, o óxido nítrico, o fosfato e o sulfato.

Os parâmetros DBO e DQO são relevantes pois indicam a taxa de depleção do oxigênio e, por sua vez, a taxa de produção de sulfeto, o qual pode causar maus odores (Bazzarella, 2005). Segundo Khanijo (2014), os níveis dos compostos de fósforo e de nitrogênio podem causar complicações na saúde humana e, também, a eutrofização de corpos d'água.

2.2.6 Caracterização da Água Residual: Parâmetros Microbiológicos

Como característica microbiológica importante, Mahmoud (2011) menciona os coliformes, os quais tem suas principais conseqüências na saúde humana.

2.3 REÚSO DE ÁGUA

De acordo com Hespanhol (2002), o uso da água residuária depende das condições e fatores locais, como aspectos sociais, econômicos, legislações e outros. Ainda de acordo com o autor, os critérios de segurança, o tratamento necessário e os custos de capital, operação e manutenção serão estabelecidos conforme a qualidade inicial da água. Possibilidades de reúso da água são fornecidas pelo autor na FIGURA 3.

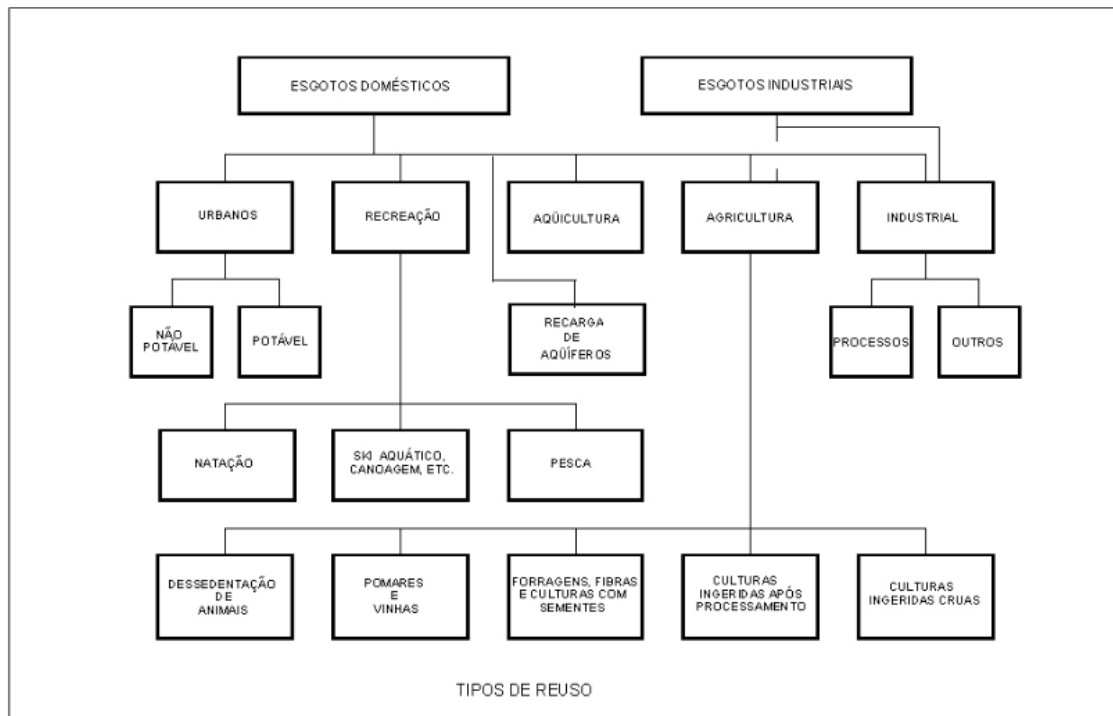


FIGURA 3 - SUGESTÕES DE REÚSO DA ÁGUA (HESPANHOL, 2002)

2.3.1 Tipos de Reúso da Água

Conforme já consenso no meio acadêmico e técnico a reutilização da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, e planejada ou não planejada. A classificação pode ser apresentada da seguinte maneira:

- Reúso indireto não planejado da água: nessa situação a água utilizada em alguma atividade antrópica é despejada sem controle no meio ambiente e, posteriormente, após sua diluição, é reutilizada por um novo indivíduo.
- Reúso indireto planejado da água: nesse caso a descarga de efluente no meio ambiente é devidamente controlada para então ser reutilizado.
- Reúso direto planejado das águas: nesse cenário o efluente é tratado para fins de reúso e é enviado diretamente ao seu local de reúso, não tendo, portanto, contato intermediário com o meio ambiente.

No presente estudo o reúso da água é o direto planejado, visto que o tratamento da água cinza e o uso da água tratada são feitos no próprio empreendimento.

2.3.2 Aplicação de Água de Reúso

Com relação a aplicação da água de reuso cabe observar que mesmo tratada a água residuária não possui características adequadas para consumo potável, devendo-se priorizar, portanto, os fins não potáveis. Desta forma, a CETESB (2014), sugere as seguintes possibilidades de reuso para água tratada:

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
- Irrigação de campos para cultivos: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo.
- Usos urbanos não-potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca.

Já conforme o capítulo 5.6 da NBR 13.969 de 1997 o reuso local deve ser feito em meios que não seja necessário água potável, como irrigação de jardins, lavagem de pisos e de veículos, descarga de vasos sanitários, dentre outros.

2.3.3 Requisitos Qualitativos para Usos Não Potáveis

A seguir são apresentadas as características de qualidade da água necessárias para reuso nos principais fins não potáveis em habitações conforme o Manual de Conservação de Água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água do PROSAB (2009).

2.3.3.1 *Bacia Sanitária*

- Ter aparência cristalina, incolor e não possuir cheiro;
- Ser sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos no usuário;
- Não permitir o crescimento de algas no biofilme nas paredes da bacia sanitária;
- Não dar origem à formação de espuma quando da descarga;
- Não conter materiais particulados em suspensão;
- Não provocar manchas, abrasão e corrosão na louça sanitária;

2.3.3.2 *Torneiras de Piso (lavagem de pisos e carros)*

- Não exalar odores objetáveis;
- Não conter materiais particulados em suspensão;
- Não provocar manchas, abrasão, incrustações e corrosão em metais sanitários
- Ser sanitariamente segura frente ao contato direto com o usuário e frente a ingestão;

2.3.3.3 *Torneira de Jardim (rega)*

- Não exalar odores objetáveis;
- Não conter substâncias danosas à vegetação sob rega e à fauna associada;
- Não conter substâncias que levem à poluição do solo;
- Ser sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos, contato com a pele dos usuários e ingestão;
- Não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários;

2.3.4 Critérios Qualitativos para Usos Não Potáveis

2.3.4.1 *Critérios Nacionais*

No Brasil não existem legislações específicas para uso da água cinza tratada, porém existem para o reúso da água de uma forma geral. A NBR 13.969 e o Manual de Conservação e Reúso da Água (ANA, 2005) são referências que classificam cada tipo de uso do efluente tratado e fornecem alguns parâmetros que devem ser atingidos para o reúso da água. A seguir encontram-se a TABELA 3 e a TABELA 4, correspondentes aos dados fornecidos pela NBR 13.969 e pela Agência Nacional das Águas, respectivamente. Em ambas as tabelas são apresentadas somente as classes referente ao tipo de uso residencial.

TABELA 3 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA

Classe	Tipo de uso	Turbidez	Coliforme fecal (NMP/100mL)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)
Classe 1	Lavagem de carros e usos de contato direto com o usuário	Inferior a 5	Inferior a 200	Inferior a 200	Entre 6 e 8	Entre 0,5 e 1,5
Classe 2	Lavagem de piso, calçadas e irrigação dos jardins	Inferior a 5	Inferior a 500	-	-	Superior a 0,5
Classe 3	Reúso nas descargas das bacias sanitárias	Inferior a 10	Inferior a 500	-	-	-

FONTE: ABNT, NBR 13.969/2007

TABELA 4 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA

CLASSE	TIPO DE USO	PARÂMETROS	CONCENTRAÇÕES	
Classe 1	Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos	Coliformes Fecais	Não Detectáveis	
		pH	Entre 6,0 e 9,0	
		Cor (UH)	Menor ou igual 10 UH	
		Turbidez (UT)	Menor ou igual a 2 UT	
		Odor e Aparência	Não desagradáveis	
		Óleos e Graxas (mg/L)	Menor ou igual a 1 mg/L	
		DBO (mg/L)	Menor ou igual a 10 mg/L	
		Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	
		Nitrato (mg/L)	Menor que 10 mg/L	
		Nitrogênio Amonical (mg/L)	Menor ou igual a 20 mg/L	
		Nitrito (mg/L)	Menor ou igual a 1 mg/L	
		Fósforo Total (mg/L)	Menor ou igual a 0,1 mg/L	
		Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Menor ou igual a 5 mg/L	
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	Menor ou igual a 500 mg/L			
Classe 3	Irrigação de áreas verdes e jardins (geral)	pH	Entre 6,0 e 9,0	
		Salinidade (mg/L)	Entre 450 e 1500 mg/L	
		Nitrogênio Total (mg/L)	Entre 5 e 30 mg/L	
		DBO (mg/L)	Menor que 20 mg/L	
		Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Menor que 20 mg/L	
		Turbidez (UT)	Menor que 5 UT	
		Cor Aparente (UH)	Menor que 30 UH	
		Coliformes Fecais (mL)	Menor ou igual a 200/100 mL	
		Irrigação superficial	Sódio	Entre 3 e 9
			Cloretos (mg/L)	Menor que 350 mg/L
	Cloro Residual (mg/L)		Menor ou igual a 1 mg/L	
	Irrigação com aspersores		Sódio	Maior ou igual a 3
			Cloretos (mg/L)	Menor que 100 mg/L
	Irrigação de culturas alimentícias	Cloro Residual (mg/L)	Menor que 1 mg/L	
		Boro (mg/L)	0,7 mg/L	
Regas de jardim	Boro (mg/L)	3,0 mg/L		

FONTE: ANA, 2005.

2.3.4.2 Critérios Internacionais

Em outros países, principalmente os europeus e norte americanos, existem diversas legislações referentes ao reúso da água. Ao contrário do que vemos no Brasil, até alguns estados dos Estados Unidos, por exemplo, existem legislações específicas quanto ao reúso.

ATABELA 5 apresenta critérios de qualidade e tipos de tratamento do efluente para diferentes tipos de reúso fornecidos pela Agência de Proteção do

Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA, 2012).

TABELA 5 - CRITÉRIOS DE QUALIDADE PARA REÚSO DA ÁGUA

Tipo de Reúso	Descrição	Tratamento	Parâmetros
Reúso Urbano	Irrestrito (uso residencial, incêndios e similares)	Secundário Filtração Desinfecção	$6 < \text{pH} < 9$ $\text{DBO} \leq 10 \text{ mg/L}$ $\text{Turbidez} \leq 2 \text{ NTU}$ Sem coliformes fecais/100 ml $\text{Cl}_2 \geq 1 \text{ mg/L}$
	Restrito (ambientes com acesso controlado)	Secundário Desinfecção	$6 < \text{pH} < 9$ $\text{DBO} \leq 30 \text{ mg/L}$ $\text{Sólidos suspensos totais} \leq 30 \text{ mg/L}$ $\text{Coliformes fecais/100 ml} \leq 200$ $\text{Cl}_2 \geq 1 \text{ mg/L}$

FONTE: EPA (2012)

2.4 ÁGUA CINZA

A água cinza é a água originada do uso de chuveiros, banheiras, pias de cozinhas, lavatórios, máquinas de lavar roupa e tanques (Jefferson *et al.*, 1999). Alguns autores descartam o uso da água proveniente de pias de cozinha e máquinas de lavar louça, pois possuem muitos óleos e gorduras (Nolde, 1999).

Embora o reúso da água da chuva seja mais comumente utilizado, em determinados casos o uso de água cinza apresenta maiores vantagens econômicas, especialmente em edifícios de grande porte (ALVES *et al.*, 2009 apud Sella, 2011).

2.4.1 Parametrização da Geração Residencial da Água Cinza: Abordagem Quantitativa

A TABELA 6 apresenta a quantidade aproximada de esgoto bruto e água cinza totais gerados em uma habitação (NSWHEALTH, 2000).

TABELA 6 - PERCENTUAL APROXIMADO DE ESGOTO BRUTO E ÁGUA CINZA GERADOS EM UMA HABITAÇÃO

Fonte	Esgoto Bruto Total		Água Cinza Total	
	%	L/dia	%	L/dia
Bacia Sanitária	32	186	-	-
Lavatório/Pia	5	28	7	28
Chuveiro	33	193	48	193
Cozinha	7	44	11	44
Lavanderia	23	135	34	135
Total	100	586	100	400

FONTE: (NSWHEALTH, 2000)

Conforme pode ser observado, a maior fonte de água cinza em uma habitação é o chuveiro, sendo responsável por quase 50% da geração.

2.4.2 Caracterização da Água Cinza: Abordagem Qualitativa

Como cada fonte de água cinza possui diferentes componentes, deve-se verificá-las segregadamente. Além disso, faz-se necessário levar em conta que muitas vezes a água cinza pode conter contaminantes devido a eventos não comuns, como por exemplo higienização no banho, lavagem de curativos, etc.

Na TABELA 7 são apresentadas as características da água cinza de cada fonte residencial (Siegrist et al., 1976; Christova-Boal et al., 1998; Almeida et al., 1999 apud Bazzarella, 2005).

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DE ÁGUA CINZA ORIGINADAS DE DIFERENTES FONTES

Parâmetros	Tipos de Água Cinza										
	Siegrist et al. (1976)					Christova-Boal et al. (1998)		Almeida et al. (1999)			
	CH/BA	PC	LL	LR	ER	BO	LA	BA	LV	CH	PC
<i>Físicos</i>	mg/L exceto onde indicado										
Temperatura (°C)	29	27	38	32	38						
Turbidez (NTU)						60-240	50-210				
ST	250	2410	1500	1340	410						
SST	120	720	440	280	120			54	181	200	235
<i>Químicos</i>	mg/L exceto onde indicado										
pH						6,5-8,1	9,3-10				
Condutividade (µS/cm)						82-250	190-1400				
Alcalinidade						24-43	83-200				
DBO5	170	1460	1040	380	150	76-200	48-290				
DQO								210	298	501	644
Óleos e Graxas						37-78	8-35				
Cloreto						9-18	9-88				
<i>Nutrientes</i>	mg/L exceto onde indicado										
N-total	17	74	40	21	6						
NTK						4,6-20	1-40				
NH4-N	2	6	4,5	0,7	0,4	<0,1 - 15	<0,1 - 1,9	1,1	0,3	1,2	0,3
NO3-N	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4			4,2	6	6,3	5,8
NO3 & NO2						<0	0,1 - 0,31				

P-total	2	74	68	57	21	0,11 - 1,8	0,062 - 42				
PO4-P	1	31	32	15	4			5,3	13,3	19,2	26
<i>Microbiológicos</i> Por 100 mL exceto quando indicado											
Coliformes Totais	70-8200			85- 8,9x10 ⁵	190- 1,5x10 ⁵	500 - 2,4x10 ⁷	2,3x10 ³ -3,3x10 ⁵				
Coliformes Fecais	1-2500			9- 1,6x10 ⁴	35-7,1x10 ³	170 - 3,3x10 ³	110-1,09x10 ³				
Criptosporidium						nd	nd				
Salmonela						nd					

FONTE: (BAZZARELLA, 2005)

NOTA: CH = Chuveiro; BA = Banheira; PC = Pia de Cozinha; LL = Lava Louça; LR = Lava Roupa; ER = Enxague Roupa; BO = Banheiro; LA = Lavanderia; LV = Lavatório;

Conforme visualizado na TABELA 7 as características referentes à água cinza variam muito de autor para autor, inclusive alguns parâmetros são estimados por uns, mas por outros não. A TABELA 8 mostra as características físicas, químicas e microbiológicas encontradas para a água cinza em um estudo realizado na Região Metropolitana de Curitiba (Borges, 2003).

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA CINZA

Parâmetro	Concentrações		
	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura (°C)	21,5	24,1	27
Cor (Hz)	9	52,3	300
Turbidez (NTU)	189	37,3	197
pH	6,7	7,2	8,5
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,67	4,62	5,9
Cloro Livre (mg/L)	0	0,32	0,8
Cloro Total (mg/L)	0	0,35	1
Fósforo Total (mg/L)	0,51	6,24	38,4
DBO (mg O ₂ /L)	16,67	96,53	286,9
Coliformes Totais (NMP)	5,1	9,42x10 ⁵	1,6x10 ⁸
Coliformes Fecais (NMP)	2	4x10 ²	1,6x10 ⁷

FONTE: (BORGES, 2003)

Na TABELA 8 os valores apresentados para os parâmetros físicos e químicos foram calculados por meio de uma média aritmética, enquanto que os parâmetros microbiológicos foram calculados por meio de uma média geométrica. As fontes de água cinza estudadas pela autora foram chuveiro, lavatório, bidê e banheira.

2.4.3 Sistemas de Uso de Água Cinza

2.4.3.1 Diretrizes para um Sistema Uso de Água Cinza

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (2009) sugere algumas atividades para implantar um sistema de reúso de água em um prédio, são elas:

- Levantamento das instalações que consomem água, além de dados quanto aos seus usos e consumo de água;
- Implantação do sistema de reúso de forma controlada e monitorada, com assistência dos moradores
- Elaboração de um sistema de gestão das águas do edifício;
- Treinamento aos moradores, funcionários e outros prestados de serviço para administrar o sistema;

Além do PROSAB, a ANA em seu Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (2005) também fornece algumas diretrizes para um projeto de reúso de águas cinzas, são elas:

- Determinação dos pontos de captação da água cinza e pontos de utilização da mesma tratada;
- Levantamento das vazões;
- Dimensionamento da rede coletora e transportadora das águas cinzas, assim como do reservatório em que a água cinza será armazenada;
- Definição dos critérios de qualidade da água a serem seguidos conforme o tipo de reúso da água;
- Verificação do tratamento da água cinza para atingir tais critérios;
- Dimensionamento da rede de distribuição da água cinza tratada.

Cade destacar que além das sugestões fornecidas pela ANA e pelo PROSAB, normas técnicas devem ser analisadas visando um melhor desempenho e garantindo a segurança do sistema e da qualidade final da água.

2.4.3.2 *Constituição do Sistema*

De acordo com Mayok (2009) um sistema de uso de água cinza em edifícios é constituído pelos seguintes itens:

- Coletores: utilizados para fazer o transporte da água cinza até o local de armazenamento;
- Reservatório: local em que a água cinza proveniente dos coletores ficará estocada;
- Sistema de Tratamento: varia de acordo com a qualidade da água cinza recebida e, também, para qual tipo de uso será destinada a água cinza tratada.

2.4.3.3 *Sistema de Distribuição*

A legislação que providencia as recomendações necessárias para a distribuição de água fria em prédios é a NBR 5.626 (ABNT, 1996). A rotina que deve ser seguida para o dimensionamento das tubulações é descrita sucintamente a seguir (ABNT, 1996 *apud* Sella, 2011):

- Reconhecimento dos trechos da tubulação;
- Somatório da vazão total dos trechos;
- Cálculo do diâmetro do tubo, da velocidade da água e a perda de carga unitária;
- Análises das variações entre as cotas e da pressão disponível;
- Cálculo dos comprimentos reais e equivalentes da tubulação;
- Cálculo da perda de carga total nos trechos;
- Avaliação da pressão dinâmica disponível nos pontos de reúso da água.

2.4.3.4 *Sistema de Coleta*

O dimensionamento das tubulações responsáveis pela coleta da água cinza deve seguir a NBR 8.160 (ABNT, 1997). Assim sendo, duas opções de dimensionamento são possíveis: método hidráulico ou método das unidades de Hunter de contribuição.

2.4.4 Etapas do Tratamento da Água Cinza

O tratamento de efluentes geralmente é uma combinação entre processos químicos, físicos e biológicos (*Canadian Guideline, 2010*). No processo químico o tratamento ocorre por meio da adição de substâncias químicas, enquanto que no físico as substâncias sólidas do efluente são eliminadas por meio de alguma barreira. O tratamento biológico, por sua vez, utiliza microorganismos para eliminar matéria orgânica.

Além de classificados em função da sua natureza, os tratamentos também são classificados em níveis de tratamento, conforme explicados detalhadamente a seguir.

2.4.4.1 *Tratamento Preliminar*

Nessa etapa ocorre a remoção dos sólidos grosseiros por meio de grades e trituradores (Santos, 2012). As grades variam em seus tamanhos para reterem a maior quantidade de sólidos possíveis. Além das grades, esse tratamento possui uma caixa de areia e um medidor de vazão.

No tratamento da água cinza esse tipo de tratamento pode ser eliminado, visto que nesse efluente não existem sólidos de grande espessura, porém é importante acrescentar o medidor de vazão no tratamento primário para monitorar o sistema.

2.4.4.2 *Tratamento Primário*

Segundo o Manual do PROSAB, a primeira etapa a ser realizada no tratamento da água cinza deve ser a de separação sólido-líquida, ou seja, a remoção dos sólidos grosseiros como areia, cabelos, restos alimentícios e outros.

De acordo com Santos (2012) nessa etapa ocorre a sedimentação e a digestão da matéria orgânica. Como resultado dessa etapa, o volume da DBO, dos sólidos suspensos totais, das gorduras, óleos e graxas é reduzido (*Canadian Guideline, 2010*).

A fim de realizar esse tipo de tratamento um tanque de sedimentação pode ser utilizado, pois além de ser uma alternativa viável economicamente, ela

requer pouca manutenção e não depende de produtos químicos ou de energia elétrica para funcionar (*Department of Health of Australia, 2002*).

2.4.4.3 *Tratamento Secundário*

A principal finalidade do tratamento secundário é a remoção de compostos orgânicos solúveis. Os benefícios dessa etapa incluem a remoção do material particulado, de contaminantes inorgânicos e de patógenos (*Canadian Guideline, 2010*).

Esse tipo de tratamento inclui diversos processos biológicos e requer um ambiente com capacidade para rápido crescimento microbológico. Os processos desse tratamento podem ser anaeróbios, aeróbios ou facultativos (Santos, 2012). O processo mais comumente utilizado é o processo aeróbio, visto que é mais eficiente e mais rápido no tratamento da água cinza (*Canadian Guideline, 2010*).

Segundo o *Department of Health of Austrália (2002)* esse tipo de tratamento é mais caro devido aos custos iniciais de implantação e devido a maior necessidade de manutenção, porém o efluente tratado passa a gerar muito menos risco à saúde do ser humano.

Alguns documentos referentes a implantação de um sistema de reúso de água cinza sugerem um tratamento secundário avançado. Nesse tipo de tratamento um processo de filtração a mais é incluso, tendo como resultado valores de DBO₅ e sólidos suspensos totais menores que 10 mg/L (*Canadian Guideline, 2010*).

Um dos filtros aeróbios mais utilizados é o Biofiltro Aerado Submerso (BAS), pois além de necessitar uma área pequena em planta, ele possui uma alta eficiência de remoção de compostos orgânicos e sólidos suspensos (Jansen *et al*, 1993). Segundo Giustina (2009), esse filtro alcança os níveis terciários de tratamento, podendo descartar o tratamento secundário e ir direto para a etapa de desinfecção.

2.4.4.4 *Tratamento Terciário*

Este último tratamento consiste em um processo avançado com funções de remoção dos sólidos suspensos, colóides e nutrientes restantes, além da redução da concentração de DBO (Imhof *et al.* 2005) .

A desinfecção, por exemplo, é um tipo de tratamento terciário. Tal etapa é essencial no tratamento de água cinza, pois elimina ou inativa grande parte dos microorganismos.

Bazzarella (2005) destaca o clorador de pastilha (FIGURA 4) como uma opção de tratamento terciário. Esse sistema permite com que o cloro reaja gradativamente à medida que a pastilha é dissolvida com a passagem do efluente. Essa pastilha é composta de hipoclorito de cálcio.



FIGURA 4 - CLORADOR DE PASTILHA (HIDROSUL, 2014)

2.4.5 Tecnologias de Tratamento da Água Cinza

O Manual de Uso Racional de Água e Energia do PROSAB fornece uma tabela com os tipos de tratamento da água cinza elaborado por diversos autores em diferentes localidades do mundo (TABELA 9).

TABELA 9 - TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS POR DIVERSOS AUTORES

TECNOLOGIA	ESCALA VOLUME/VAZÃO
Biofiltro aerado + filtro lento	Moradia estudantil 40 pessoas
Ultrafiltração por membranas de fibras submersas	Piloto V=2,25 L
Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical	10 apartamentos residenciais + 1 escritório comercial Q = 4,8 m3.dia
Reator com membrana + desinfecção UV	100 apartamentos residenciais
Filtro anaeróbio + reator com membranas de fibra - aerado	Piloto V=1,6 L
Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Prédio multi-residencial
Filtro biológico vertical com recheio de brita e material plástico – com recirculação de efluente	Piloto V=35 L
Reator sequencial em batelada	Piloto V=11L
Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Residência 2 pessoas
Reator biológico com membranas	Piloto
Biodisco + decantação	14 apartamentos residenciais
Pré-cloração + filtro de areia + pós cloração	Hotel Q = 26,7 m3.dia
Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical - com recirculação de efluente horizontal	Piloto V = 1000 L
Coagulação química (cloreto férrico e sulfato de alumínio)	Piloto
Filtro anaeróbio + filtro de areia	Residência 3 pessoas
Reator anaeróbio compartimentado + biofiltro aerado submerso + cloração	Prédio multi-residencial

FONTE: PROSAB, 2009.

2.5 NORMATIZAÇÃO

Para a realização de obras civis algumas normas técnicas devem ser seguidas. Para o presente projeto as normas que serviram de apoio são:

- NBR 5.626/1998, a qual descreve as recomendações que devem ser

seguidas no projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria.

- NBR 7.229/1993, a qual provem as condições necessárias para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.
- NBR 8.160/1999, a qual determina as exigências e recomendações quanto ao projeto, à execução e a manutenção dos sistemas de esgoto sanitário, garantindo a higiene, segurança e o conforto aos usuários;
- NBR 13.969/1997, a qual fornece os procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho é um prédio residencial de médio padrão a ser construído na Avenida Marechal Floriano Peixoto, na cidade de Curitiba/PR.

O prédio conterà um total de nove pavimentos, sendo os dois primeiros exclusivos para garagem e o último exclusivo para as salas íntimas dos apartamentos do oitavo pavimento. Em cada pavimento existem quatro apartamentos com exceção do oitavo pavimento que possui dois apartamentos. Cada apartamento possui dois quartos, um banheiro, uma cozinha, uma sala e uma varanda, totalizando 97,2 m². Os apartamentos do oitavo andar possuem um quarto e duas salas a mais que os demais apartamentos, sendo cada um com uma área de 231,3 m².

3.2 AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E POTENCIALIDADES

A fim de obter um melhor aproveitamento da água cinza deve ser realizado o balanço hídrico, ou seja, verificar a geração de água cinza pelos chuveiros e compará-la à demanda de água pelas bacias sanitárias.

3.2.1 Geração de Água Cinza

Para o cálculo da geração de água cinza do prédio foi utilizada a equação 1, a qual representa a vazão média por habitante, e a equação 2, a qual calcula a vazão geral de água cinza gerada pelo prédio.

$$QG_{hab} = \frac{Q_{ch} \cdot N_b \cdot T_b \cdot 60}{1000} \quad (1)$$

sendo:

QG_{hab} é a vazão média gerada de água cinza ($m^3/dia/hab$);

Q_{ch} é a vazão de cada chuveiro (L/s);

N_b é o número médio de banhos por habitante (banho/hab/dia);

T_b é o tempo médio de banho por habitante (min/banho);

60 é o fator de conversão de minutos para segundo;

1000 é o fator de conversão da vazão de litros para m^3 ;

$$QG = QG_{hab} \cdot N_{hab} \cdot N_{apto} \quad (2)$$

sendo:

QG é a vazão média de água cinza gerada pelo prédio (m^3/dia);

N_{hab} é o número médio de habitantes por apartamento (hab/apto);

N_{apto} é o número de apartamentos total do prédio (apto);

3.2.2 Consumo de Água Cinza

Para o consumo de água cinza nas bacias sanitárias foi utilizada a equação 3 que calcula a vazão média de consumo de água cinza por habitante, e a equação 4, que calcula a vazão média de consumo de água cinza das bacias sanitárias em todo o prédio.

$$Q_{Chabbs} = \frac{Q_{bs} \cdot N_{uso}}{1000} \quad (3)$$

sendo:

Q_{Chabbs} é a vazão média de consumo de água cinza pelas bacias sanitárias ($m^3/dia/hab$);

Q_{bs} é a vazão de consumo da bacia sanitária (L/uso)

N_{uso} é o número médio de uso da bacia sanitária (uso/hab/dia);

1000 é o fator de conversão da vazão de litros para m^3 ;

$$QC = Q_{Chab} \cdot N_{hab} \cdot N_{apto} \quad (4)$$

sendo:

QC é a vazão média de água cinza consumida pelo prédio (m^3/dia);

$Nhab$ é o número médio de habitantes por apartamento ($hab/apto$);

$Napto$ é o número de apartamentos total do prédio ($apto$);

A vazão de consumo de água cinza da torneira do estacionamento foi calculada pela equação 5.

$$QChabte = \frac{Qte \cdot Nuso \cdot Huso \cdot 3600}{1000 \cdot 7} \quad (5)$$

sendo:

$QChabte$ é a vazão média de consumo de água cinza pela torneira do estacionamento (m^3/dia);

Qte é a vazão de consumo da torneira (L/s)

$Nuso$ é o número médio de uso da torneira ($uso/semana$);

$Huso$ é o número médio de horas de uso da torneira ($horas/uso$);

1000 é o fator de conversão da vazão de litros para m^3 ;

3600 é o fator de conversão de horas para segundos;

7 é o fator de conversão de semana para dias;

3.3 CONCEPÇÃO DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA CINZA

3.3.1 Qualidade da Água Cinza

As características físicas, químicas e microbiológicas da água cinza utilizadas nesse trabalho foram aquelas oriundas da caracterização da água cinza realizada por Borges (2003). A concentração dos valores médio desses parâmetros é apresentado na TABELA 10.

TABELA 10 - CONCENTRAÇÕES MÉDIA DA ÁGUA CINZA

Parâmetro	Concentrações Média
Temperatura (°C)	24,1
Cor (Hz)	52,3
Turbidez (NTU)	37,3
pH	7,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,6
Cloro Livre (mg/L)	0,32
Cloro Total (mg/L)	0,35
Fósforo Total (mg/L)	6,24
DBO (mg O ₂ /L)	96,5
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	9,42x10 ⁵
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	4x10 ²

FONTE: (BORGES, 2003)

3.3.2 Critérios Quantitativos

Considerando os valores obtidos para geração da água cinza será avaliado o potencial de reúso não somente para as bacias sanitárias, mas também na lavagem do estacionamento do prédio.

3.3.3 Critérios Qualitativos

Como critérios qualitativos foram adotados os dados TABELA 11 fornecidos pela NBR 13.969/2007, visto que ela é a mais recente dentre as três citadas neste capítulo.

TABELA 11 - PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA REÚSO DA ÁGUA

Classe	Tipo de uso	Turbidez	Coliforme fecal (NMP/100mL)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)
Classe 1	Lavagem de carros e usos de contato direto com o usuário	Inferior a 5	Inferior a 200	Inferior a 200	Entre 6 e 8	Entre 0,5 e 1,5
Classe 2	Lavagem de piso, calçadas e irrigação dos jardins	Inferior a 5	Inferior a 500	-	-	Superior a 0,5
Classe 3	Reúso nas descargas das bacias sanitárias	Inferior a 10	Inferior a 500	-	-	-

FONTE: ABNT, NBR 13.969/2007

Como esse trabalho se trata de um reúso residencial da água os parâmetros considerados foram o de uso irrestrito. Para esse tipo de reúso, os parâmetros de qualidade são muitos mais rígidos, visto que o ser humano pode ter contato com essa água.

Conforme a TABELA 10 e a TABELA 11, para que a água cinza possa ser reutilizada ela deve apresentar uma redução de aproximadamente 90% de DBO.

3.3.4 Definição dos Tratamentos

Para o tratamento da água cinza serão previstos um tanque de sedimentação, um biofiltro aerado e um reservatório inferior de armazenamento que servirá também para a desinfecção.

Conforme já comentado, a etapa de desinfecção ocorrerá no reservatório inferior por meio da inserção de pastilhas de cloro, as quais representam menor preocupação em nível operacional segundo a NBR 13.969 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007). Ainda de acordo com a norma, o tempo mínimo em que a pastilha deve ficar no reservatório é de 30 minutos para que haja suficiente desinfecção.

3.3.5 Configuração do Sistema de Aproveitamento da Água Cinza

Um esquema simples mostrando o projeto do sistema de água cinza é apresentado na FIGURA 5.

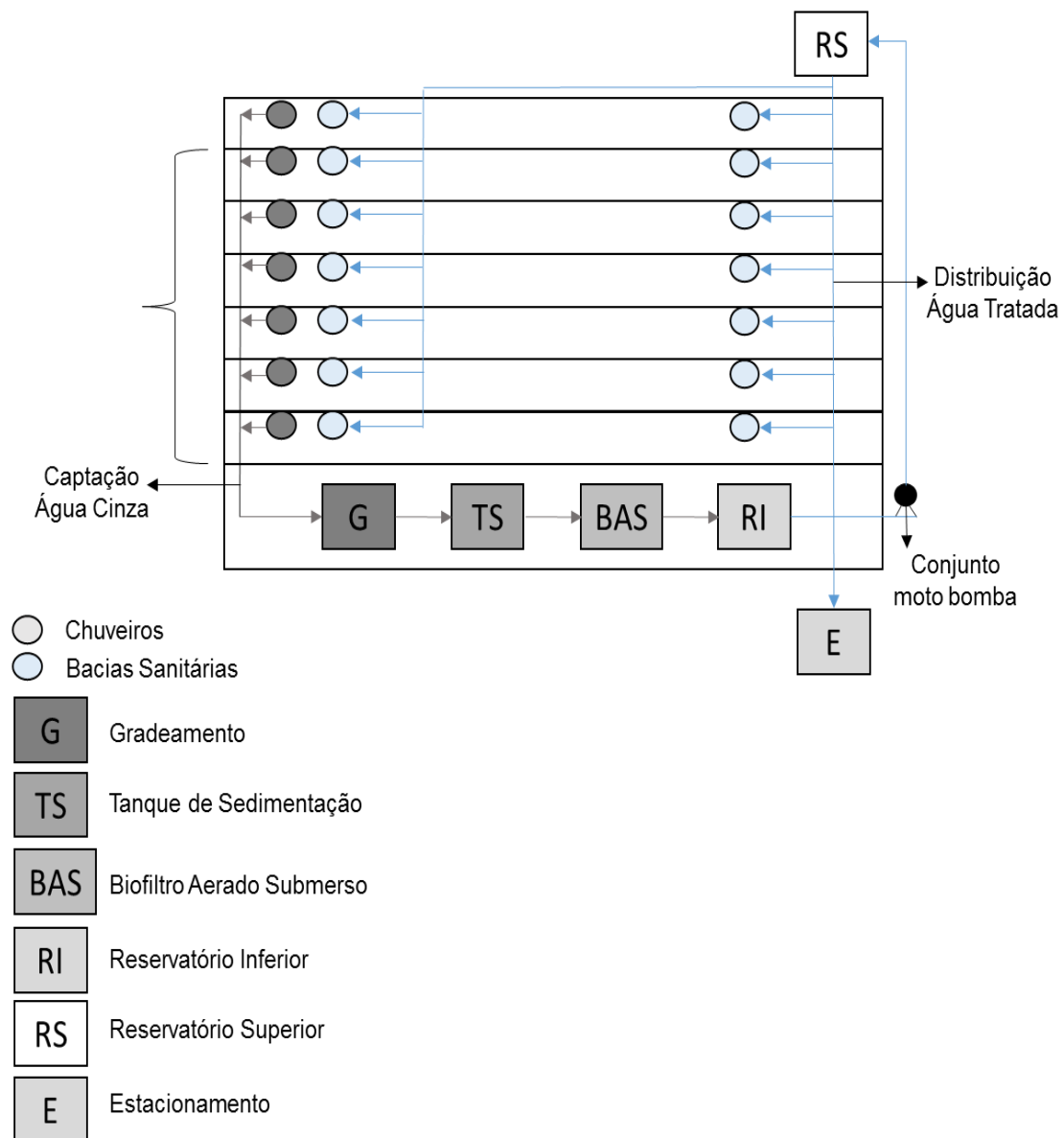


FIGURA 5 - CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA CINZA (AUTORA, 2014)

Conforme o desenho, a água cinza proveniente dos chuveiros é coletada por um tubo de queda e conduzida até o andar térreo. Essa água é na sequência tratada por grades, por um tanque de sedimentação e em seguida por um biofiltro aerado submerso. Após essas etapas a água segue para um tanque de armazenamento no piso inferior no qual ocorre a última etapa de tratamento, ou seja, a desinfecção. Por fim, essa água é bombeada até o último andar do prédio e distribuída novamente por gravidade para as bacias sanitárias dos apartamentos e para a torneira do estacionamento. Cabe destacar que esse

sistema deve ser instalado de modo que o caminhão limpa fossa possa remover o lodo gerado pelo tratamento.

3.4 ESTUDO DE CONCEPÇÃO

3.4.1 Coleta das Águas Cinzas

Para o estudo de concepção do sistema de uso das águas cinzas foram utilizadas as orientações fornecidas pela NBR 8.160 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1999).

A fim de dimensionar as tubulações primeiramente foi analisado o diâmetro nominal (DN), ou seja, o diâmetro interno das tubulações de água cinza. Além disso, para as estimativas dos diâmetros das tubulações foram consideradas as Unidades Hunter de Contribuição (UHC), as quais representam a contribuição de esgoto dos aparelhos sanitários em função da sua utilização habitual. De acordo com a NBR 8.160, o diâmetro nominal de um chuveiro é de 40 mm e sua unidade de Hunter de contribuição é de 2.

Após a verificação do diâmetro nominal e da unidade de Hunter de contribuição, foi dimensionado as caixas sifonadas. Conforme tal Norma, caixas sifonadas que apresentam menos de 6 UHC devem ter DN de 100 mm.

Em seguida foram analisadas as tubulações primárias que recebem os efluentes, chamadas de ramais de descarga e as declividades mínimas das tubulações. Portanto, de acordo com a NBR 8.160, para 2 UHC o diâmetro nominal das tubulações dos ramais de descarga deve ser de 40 mm e, para esse valor, a declividade mínima deve ser de 2% visto que o DN é inferior a 75 mm.

Após essa etapa, foi calculado o diâmetro dos tubos de queda de água cinza. Para esse cálculo foram analisadas as UHC para os seis apartamentos totalizando, então, 12 UHC. De acordo com a Tabela 06 da NBR 8.160, para as 12 UHC o tubo de queda deve ter 50 mm de diâmetro. Porém o diâmetro mínimo utilizado requerido é de 100 mm.

Por último foram dimensionados os coletores, que de acordo com a tabela 7 da NBR 8.160, devem ter no mínimo 100 mm de diâmetro.

3.4.2 Sistema de Tratamento das Águas Cinzas

Para o tratamento da água cinza foi escolhido como tratamento preliminar o gradeamento, seguido de um tanque de sedimentação como tratamento primário e de um biofiltro aerado submerso como tratamento secundário. Para a desinfecção foi escolhido o tratamento por meio de cloração a ser realizado no reservatório inferior.

3.4.3 Dimensionamento

3.4.3.1 Dimensionamento das Grades

Como a maior parte dos sólidos provenientes do chuveiro são finos, foi escolhido como pré-tratamento o gradeamento fino. As grades escolhidas devem ter um tamanho que se adapte ao diâmetro encontrado para os coletores.

3.4.3.2 Dimensionamento do Tanque de Sedimentação

O dimensionamento do tanque séptico foi baseado na Norma Brasileira da ABNT 7.229/93. Essa equação foi adaptada, visto que, para o presente trabalho somente serão reaproveitados os efluentes gerados pelo chuveiro. A Equação 6 apresentada abaixo fornece o volume total do tanque séptico para tratar os efluentes provenientes do chuveiro.

$$V_{ts} = 1000 + N(CT + KLf) \quad (6)$$

sendo:

V_{ts} é o volume total do tanque séptico (L);

N é o número de pessoas ou unidades de contribuição;

C é a contribuição de despejos do chuveiro (L/pessoa.dia)

T é o período de detenção (dias);

K é a taxa de acumulação de lodo digerido (dias);

L_f é a contribuição de lodo fresco (L/pessoa.dia);

3.4.3.3 Dimensionamento do Biofiltro Aerado Submerso

O dimensionamento do BAS, ou seja, do biofiltro aerado submerso foi feito por meio na norma brasileira da ABNT 13.969/1997. Segundo a norma o BAS deve ser separado em duas câmaras, uma de reação e outra de sedimentação. A equação 7 e a equação 8 calculam os volumes dessas câmaras, sendo a 7 para a de reação e a 8 para a de sedimentação.

$$V_{ur} = 400 + 0,25NC \quad (7)$$

$$V_{us} = 150 + 0,20NC \quad (8)$$

sendo:

V_{ur} é o volume útil da câmara de reação (L);

V_{us} é o volume útil da câmara de sedimentação (L);

N é o número de contribuintes à unidade;

C é o volume de esgoto (L/pessoa.dia)

A área superficial da câmara de sedimentação pode ser calculada por meio da equação 9.

$$A_s = 0,07 + \frac{NC}{15} \quad (9)$$

sendo:

A_s é a área superficial da câmara de sedimentação (m²);

N é o número de contribuintes à unidade;

C é o volume de esgoto (m³/pessoa.dia)

O material de sedimentação deve ser escolhido baseado em sua resistência, não sofrendo deformações durante seu uso. Além disso, devem possuir um fácil manuseio para remoção, substituição ou lavagem.

A abertura inferior da parede que separa as câmaras de reação e sedimentação deve ter 0,15m, enquanto que a abertura para o efluente na câmara de sedimentação deve ser de 0,05m. As paredes da câmara devem ter inclinação de no mínimo 60° com a horizontal, para que os sólidos sedimentados retornem por meio da gravitação para a câmara de reação.

A vazão de ar necessária pode ser calculada por meio da equação 10.

$$Q_{ar} = \frac{30NC}{1440} \quad (10)$$

sendo:

Q_{ar} é a vazão de ar necessárias para o filtro aeróbio submerso (L/min);

N é o número de contribuintes à unidade;

C é o volume de esgoto (L/pessoa.dia)

3.4.3.4 Dimensionamento do Reservatório Inferior e Superior

O reservatório inferior e o superior devem possuir, respectivamente, um volume correspondente a 60% e a 40% do volume de água cinza total gerada pelos chuveiros (Creder, 1995).

3.4.4 Distribuição das Águas Cinzas Tratadas

Para o dimensionamento das tubulações de distribuição de água cinza tratada foram utilizadas as recomendações da NBR 5.626 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996) e da Apostila de Saneamento Ambiental (Santos, 2011).

Segundo a Norma, para estimar a vazão da tubulação deve ser utilizada a equação 11.

$$Q = 0,3\sqrt{\sum P} \quad (11)$$

sendo:

Q é a vazão da tubulação de distribuição da água cinza tratada (L/s);
 P é a soma dos pesos relativos de todas as peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada

Após o cálculo da vazão da tubulação foi calculado o diâmetro da tubulação de recalque pela equação 12.

$$Dr = K(Q)^{0,5} \quad (12)$$

sendo:

Dr é o diâmetro interno do tubo de recalque (m);

K é uma constante de valor 1,2;

Q é a vazão estimada na seção considerada (L/s);

Após essa etapa foram calculadas a área da seção transversal da tubulação pela equação 13 e em seguida a velocidade pela equação 14.

$$Ar = \frac{\pi Dr^2}{4} \quad (13)$$

sendo:

Ar é a área da seção transversal (m²);

π é uma contante de valor aproximado 3,14;

$$vr = \frac{Q}{Ar} \quad (14)$$

sendo:

vr é a velocidade do efluente na tubulação de recalque (m/s);

Em seguida foram calculadas as perdas de carga pelo recalque. A perda de carga unitária é representada pela equação 15, enquanto que a perda de carga contínua e localizada pela equação 16 e 17, respectivamente.

$$Jr = \left[\frac{Q}{0,279CDr^{2,63}} \right]^{(1/0,54)} \quad (15)$$

sendo:

Jr é a perda de carga unitária (mca/m);

Dr é o diâmetro interno do tubo (m);

C é uma constante de valor 130;

$$h_{pcr} = JrLr \quad (16)$$

sendo:

h_{pcr} é a perda de carga contínua (m);

Lr é o comprimento da tubulação de recalque (m);

$$h_{plr} = 10vr^2/(2g) \quad (17)$$

sendo:

h_{plr} é a perda de carga localizada (m);

g é a constante gravitacional de valor 9,81 m/s²;

Após o cálculo das perdas foi calculado a altura manométrica do recalque por meio da equação 18.

$$H_{manr} = h_{gr} + h_{ptr} \quad (18)$$

sendo:

H_{manr} é altura manométrica da tubulação (m);

h_{gr} é o desnível geométrico do recalque (m);

h_{ptr} é a soma das perdas de carga (m);

Depois de calculados todos os dados referentes a tubulação de recalque, foram calculados os dados para a tubulação de sucção. O valor adotado para o diâmetro da tubulação de sucção é o valor comercial acima do diâmetro de recalque.

Para o cálculo da área da tubulação e da velocidade do fluido foram utilizados a equação 19 e a equação 20, respectivamente.

$$A_s = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (19)$$

sendo:

A_s é a área da seção transversal (m²);

π é uma constante de valor aproximado 3,14;

$$v_s = \frac{Q}{A_s} \quad (20)$$

sendo:

v_s é a velocidade do efluente na tubulação de sucção (m/s);

Em seguida foram calculadas as perdas de carga pela sucção. A perda de carga unitária é representada pela equação 21, enquanto que a perda de carga contínua e localizada pela equação 22 e 23, respectivamente.

$$J_s = \left[\frac{Q}{0,279 C D_s^{2,63}} \right]^{(1/0,54)} \quad (21)$$

sendo:

J_s é a perda de carga unitária (mca/m);

D_s é o diâmetro interno do tubo (m);

C é uma constante de valor 130;

$$h_{pcs} = J_s L_s \quad (22)$$

sendo:

h_{pcs} é a perda de carga contínua (m);

L é o comprimento da tubulação de sucção (m);

$$h_{pls} = 10 v_s^2 / (2g) \quad (23)$$

sendo:

h_{pls} é a perda de carga localizada (m);

g é a constante gravitacional de valor 9,81 m/s²;

Após o cálculo das perdas foi calculado a altura manométrica da sucção por meio da equação 24.

$$H_{mans} = h_{gs} + h_{pts} \quad (24)$$

sendo:

H_{mans} é altura manométrica da tubulação de sucção (m);

h_{gs} é o desnível geométrico da sucção (m);

h_{pts} é a soma das perdas de carga (m);

Com a altura manométrica total da tubulação de recalque e de sucção obtemos a altura manométrica total para o conjunto de distribuição por meio da equação 25.

$$H_{mant} = H_{manr} + H_{mans} \quad (25)$$

sendo:

H_{mant} é altura manométrica total do conjunto recalque-sucção (m);

A potência da bomba necessária para o conjunto recalque-sucção funcionar é fornecida pela equação 26.

$$(26)$$

$$P_b = (QH_{mant}) / (75\eta_b)$$

sendo:

P_b é potência da bomba (CV);

η_b é a eficiência da bomba;

4 RESULTADOS

4.1 BALANÇO HÍDRICO

4.1.1 Geração de Água Cinza

Para o cálculo da vazão de água cinza gerada algumas hipóteses devem ser consideradas, são elas:

- Média de dez minutos de duração de banho;
- Média de um banho por habitante por dia;
- Média de quatro habitantes por apartamento;
- Vazão do chuveiro de 0,20 L/s;

Utilizando a equação 1 e 2, o resultado obtido para a vazão de água cinza do prédio foi de 10,56 m³/dia, ou seja, cada coluna do prédio gera 2,88 m³/dia, cada apartamento gera 0,48 m³/dia de água cinza e, portanto, cada habitante gera em média 120 L/dia.

4.1.2 Consumo de Água Cinza

Para o cálculo do consumo de água cinza pelas bacias sanitárias algumas hipóteses devem ser consideradas, são elas:

- Número médio de uso da bacia sanitária de 4 usos por habitante por dia;
- Vazão de consumo da bacia sanitária com caixa acoplada de 6 L/s;

Utilizando a equação 3 e 4, o resultado obtido para o consumo de água cinza pelas bacias sanitárias do prédio foi de 2,112 m³/dia, ou seja, cada apartamento consome em média 0,096 m³/dia de água cinza.

Para o cálculo do consumo de água cinza da torneira do estacionamento as seguintes hipóteses foram consideradas:

- Número médio de uso da torneira do estacionamento de 1 uso por semana;
- Vazão de consumo da torneira do estacionamento de 0,3 L/s;
- Número médio de horas para lavagem do estacionamento de 2 horas;

Por meio da equação 5 a vazão de consumo de água pela torneira do estacionamento foi de 0,309 m³/dia;

Portanto, o consumo de água cinza é, em média, de 2,421 m³/dia para todo o prédio, ou seja, a geração de água cinza de cada apartamento tipo por andar é capaz de suprir a demanda de água cinza do prédio inteiro.

4.2 ECONOMIA DE ÁGUA

A quantidade de água economizada pode ser comparada ao valor de água reutilizada, ou seja, ao valor do consumo de água cinza calculada no item anterior, equivalente a 2,421 m³/dia para todo o prédio e 0,11 m³/dia por apartamento.

Assumindo os valores da TABELA 2 para consumo de água em uma residência, temos 437 L/dia.hab de consumo total, ou seja, 1748 L/dia por apartamento no presente estudo. Reduzindo desse valor a água cinza reutilizada, temos o equivalente a 1637 L/dia de consumo total e, portanto, uma redução de 6,3% no consumo de água diariamente.

Sabendo que o litro da água custa em média R\$6,43/m³ para consumos mensais maiores que 30m³ (Sanepar, 2014), tem-se uma redução, portanto, de R\$ 21,4 mensais por apartamento e R\$ 642,36 mensais para a edificação.

4.3 DIMENSIONAMENTO

4.3.1 Dimensionamento das Grades

A fim de cobrir o diâmetro dos coletores de 100 mm foi escolhido o filtro de água da chuva Rainus da empresa 3P Technik mostrado na FIGURA 6. Conforme os dados técnicos da empresa, o filtro tem altura de 50,5 cm, largura de 17 cm e profundidade de 22 cm. Sua malha é de 0,7 x 1,7 mm e seu peso é de 2kg.

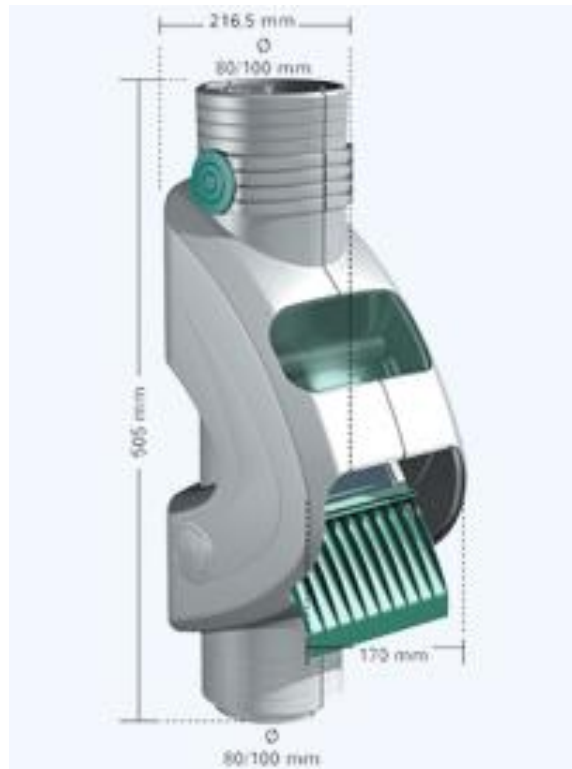


FIGURA 6 - FILTRO UTILIZADO COMO GRADEAMENTO (3P TECHNIK, 2014)

4.3.2 Dimensionamento do Tanque Séptico

Para o cálculo do volume do tanque séptico as seguintes considerações foram feitas:

- Número médio de habitantes do prédio: 88 habitantes;
- Prédio de médio padrão;
- Intervalo entre as limpezas do tanque de 1 ano;
- Temperatura ambiente variando de 10 a 20°C;
- Tanque cilíndrico;

Na tentativa de obtenção de um valor mais preciso da contribuição do lodo fresco foi realizada uma regra de três utilizando os dados da tabela 1 da Norma 7.229 e a vazão de geração de água cinza por habitante. De acordo com a tabela 1 da Norma 7.229, para 130 L/habitante.dia a contribuição de lodo é de 1 L/habitante.dia, portanto, para uma geração de água cinza de 120 L/habitante.dia, a contribuição de lodo é de 0,92 L/habitante.dia.

O período de detenção foi obtido por meio da tabela 2 e equivale a 01 dia, visto que a contribuição é menor que 1.500 L. Para obter o valor da taxa de acumulação do lodo, foi analisado a tabela 3 da norma, a qual fornece que K é de 65 dias.

Por meio dos valores obtidos anteriormente obteve-se o volume do tanque séptico na ordem de 16.822,4 L.

As medidas do tanque séptico devem ser, seguindo a norma 7.229 de no mínimo 1,10 m de diâmetro interno, profundidade útil mínima de 1,80 m, profundidade útil máxima de 2,80 m e bordo livre de 0,3 m. A FIGURA 7 apresenta a configuração do tanque séptico com as medidas encontradas para o volume de água cinza gerado.

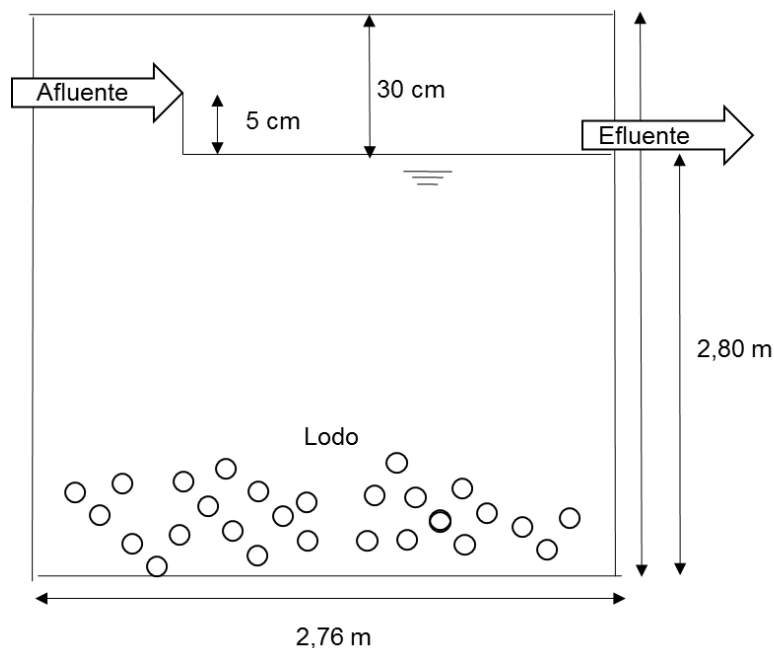


FIGURA 7 - CONFIGURAÇÃO DO TANQUE SÉPTICO (AUTORA, 2014)

4.3.3 Dimensionamento do Biofiltro Aerado Submerso

De acordo com o item 4.1.1, a contribuição de esgoto para uma residência de classe média é de 120 L/pessoa.dia. Além disso, conforme visto anteriormente, o número de contribuintes é de 88 pessoas e, portanto, para esses valores temos que os volumes da câmara de reação e de sedimentação são, respectivamente 2.980 L e 2.214 L.

Utilizando novamente os dados obtidos no item 4.1.1, temos que a área superficial do tanque de sedimentação é de 0,758 m² e que a vazão de ar necessária para o filtro aeróbio submerso é de 215 L/min.

Por meio dos dados de vazão, no projeto executivo deverão ser especificados as características do soprador.

A FIGURA 8 apresenta a configuração de perfil do BAS. Para o presente trabalho o tanque de reação foi subdividido em duas partes e foi preenchido com cerca de 2,70 m de brita n.º.4. Para a aeração do tanque de reação foram adicionados dois sopradores da marca Aquaset modelo Resun GF-180 (FIGURA 9) e 1 difusor tubular em aço inoxidável de bolha grossa da empresa B&F DIAS (FIGURA 10).

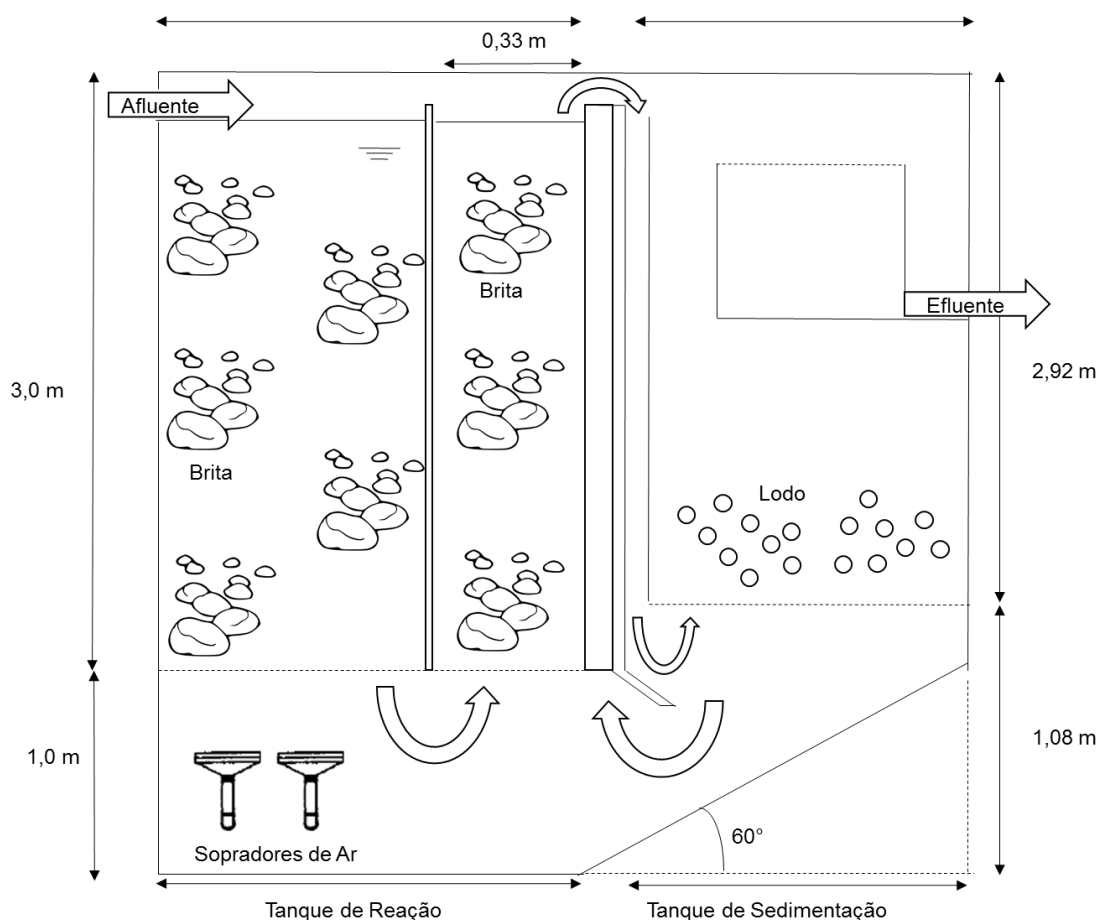


FIGURA 8 - CONFIGURAÇÃO DO BIOFILTRO AERADO SUBMERSO (ADAPTADO NBR 13.969/1997, AUTORA, 2014)



FIGURA 9 - SOPRADOR DE AR, MODELO GF-180 (AQUASET, 2014)



FIGURA 10 - DIFUSOR DE AR, MODELO TUBULA DE AÇO INOXIDÁVEL BOLHA GROSSA (B&F DIAS, 2014)

4.3.4 Dimensionamento do Reservatório Inferior e Superior

O volume do reservatório inferior para o volume de água cinza gerada pelos chuveiros do prédio foi de 6.336 litros, enquanto que o volume do reservatório superior foi de 4.224 litros.

4.4 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS TRATADAS

Conforme a tabela 1 da NBR 5.626, o peso relativo a bacia sanitária é de 0,3 e, portanto, para todo o prédio o peso relativo a todas as bacias sanitárias é de 6,6. A vazão da tubulação de distribuição da água cinza tratada é, então, de 0,77 L/s.

A partir dessa vazão foi obtido o valor de 0,033m para o diâmetro da tubulação de recalque, em seguida o valor 0,00086m² para a área da seção

transversal da tubulação e então, o valor de 0,895m/s para a velocidade do efluente na tubulação.

A perda de carga unitária, de carga contínua e de carga localizada resultaram em, 0,036 mca/m, 1,44 mca/m e 0,408 mca/m, respectivamente. Portanto, a perda de carga total foi de 1,85 mca/m e a altura manométrica do recalque resultou em 31,85 m. Para o cálculo da perda de carga contínua foi utilizado o comprimento de recalque equivalente a 40 m, enquanto que para o cálculo da altura manométrica foi utilizado o valor de 30 m para o desnível geométrico.

O diâmetro, a área e a velocidade da tubulação de sucção resultaram em, 0,040 m, 0,00126 m² e 0,611 m/s, respectivamente.

As perdas da tubulação de sucção foram de 0,014 mca/m, 0,07 mca/m e 0,190 mca/m, sendo o primeiro valor referente a carga unitária, o segundo referente a carga contínua e o terceiro referente a carga localizada. Para o cálculo da perda de carga contínua foi assumido o comprimento da tubulação de sucção sendo de 5 metros. A perda de carga total nessa tubulação foi de 0,2742 mca/m e a altura manométrica da tubulação de sucção foi de 2,274 m, assumindo o valor de 2m para o desnível geométrico de sucção.

A altura manométrica total do sistema recalque e sucção foi de 31,12 m, e para esse valor a potência necessária para a bomba é de 0,37 kW, supondo uma eficiência de 65%. A FIGURA 11 apresenta a bomba BC-98 escolhida para o sistema. É importante destacar que o ideal é sempre haver duas bombas caso uma venha a falhar e, por isso, serão orçadas duas bombas para o sistema.



FIGURA 11 – BOMBA BC-98 (SCHNEIDER, 2014)

A TABELA 12 apresenta todos os valores calculados anteriormente de forma resumida.

TABELA 12 - VALORES OBTIDOS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA CINZA

Parâmetro	Unidade	Recalque	Sucção	Total
Vazão	L/s	-	-	0,77
Área tubulação	m ²	0,00086	0,00126	-
Velocidade	m/s	0,895	0,611	-
Perda de Carga Unitária	mca/m	0,036	0,014	0,05
Perda de Carga Contínua	m	1,08	0,07	1,15
Perda de Carga	m	0,408	0,190	0,598
Localizada				
Perda de Carga Total	m	1,488	0,274	1,762
Altura Manométrica	m	31,85	0,274	32,12
Potência	kW	-	-	0,37

FONTE: AUTORA, 2014.

4.5 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS

Para a avaliação do tempo de retorno do investimento no projeto, é de extrema importância avaliar os custos, tanto os de implantação do sistema quanto os de manutenção.

Nos custos de implantação estão inclusos todos os custos relacionados a construção do projeto, ou seja, desde a captação das águas cinzas dos chuveiros, passando por todos os sistemas de tratamento até a distribuição para as bacias sanitárias.

Os itens orçados nesse pré-projeto foram a tubulação de captação de efluentes do chuveiro, a tubulação de queda, o tanque de sedimentação, o biofiltro aerado submerso, o reservatório inferior, a bomba, a tubulação de sucção e de recalque, o reservatório superior, a tubulação de queda da água cinza e a de distribuição de água cinza para as bacias sanitárias. Os custos de cada item irão variar conforme os materiais escolhidos e os fornecedores.

O diâmetro e comprimento assumidos para a tubulação de captação do efluente gerado pelos chuveiros foram 20 mm e 30 m, respectivamente. O custo da tubulação marrom em PVC de água fria, de 50 mm, é de R\$27,90 a cada 3 metros (Leroy Merlin, 2014). Portanto, para o presente estudo o custo total é de R\$270,90.

O tubo de queda, conforme calculado anteriormente, possui diâmetro equivalente a 100 mm e para o seu comprimento foi assumido o valor de 24 m. Utilizando o mesmo material do item anterior temos que o custo do cano de 6 metros com diâmetro 100 mm é de R\$46,90 (Leroy Merlin, 2014), ou seja, o custo para o projeto atual é de R\$187,6.

O filtro de água da chuva Rainus da empresa 3P Technik tem um custo de R\$434,00.

O tanque de sedimentação pode ser construído por diversos materiais, como placas pré-moldadas, alvenaria e anéis pré-moldados de concreto. Um estudo comparando o custo para a construção de tanques de sedimentação com os três tipos de materiais, para um volume de 1.975 litros, identificou que para o primeiro, segundo e terceiro material são gastos, respectivamente, R\$1.104,57, R\$2.073,24 e R\$2.430,00 (Santos *et al.*, 2011). Utilizando esses resultados e comparando com o sistema do presente estudo, temos que para os 2.880 L, os custos seriam de R\$1.610,71, R\$3.023,26 e R\$3.543,49.

Segundo Von Sperling (2005), o custo de implantação de um Biofiltro Aerado Submerso com processo de nitrificação varia de R\$70 a R\$120 por habitante, enquanto que seu custo de manutenção varia de R\$8 a R\$15 por habitante por ano. Outro estudo do PROSAB (Chernicharo, 2000 *apud* Piveli, 2014) fornece o custo variando de R\$100 a R\$130 por habitante para filtros

biológicos aerados. Assumindo um valor médio de R\$100 por habitante para a instalação do BAS, temos um custo de R\$8.800 para o sistema do presente trabalho.

O custo para um reservatório de 6.000 L é de R\$2.280,90 (Leroy Merlin, 2014), e portanto, esse foi o valor adotado para o reservatório inferior. Para um reservatório de 4.000 o custo é de R\$1.431,90 (Leroy Merlin, 2014), sendo esse, portanto, o valor adotado para o reservatório superior.

Tanto para a tubulação de sucção quanto a de recalque, o material escolhido foi o aço galvanizado. Para a tubulação de sucção, com comprimento de 5 m e diâmetro de 40 mm, o custo é de R\$38,54 (Aladin Metais), enquanto que para a tubulação de recalque, com comprimento de 40 m e diâmetro de 33 mm, o custo é R\$224 (Aladin Metais). Ambos os itens foram orçados com 1,5 de espessura de tubo.

As bombas escolhidas para o sistema, modelo BC-98 com potência equivalente a 370 W, tem um custo de R\$399 cada.

Para a tubulação de queda da água cinza foi estimado um comprimento de 90 m e diâmetro de 40 mm. O material escolhido foi o PVC. O custo para tubulação de PVC 40 mm com 3 m é de R\$31,90 (Leroy Merlin, 2014). Portanto, para o presente projeto o custo é de R\$957,00.

As características assumidas da tubulação de distribuição da água cinza dos tubos de queda as bacias sanitárias é de 30 m, 20 mm e PVC, para comprimento, diâmetro e material, respectivamente. O custo para essa tubulação resultou em R\$82,90, tendo como referência o custo de tubo PVC R\$8,29 para 3 m (Leroy Merlin, 2014).

A

TABELA 13 apresenta os custos de todo o sistema de uma maneira resumida. Conforme visto na tabela o custo total para o sistema de reúso de água cinza é de R\$17.116,45. Cabe destacar que nesse custo não foram contemplados os valores de mão de obra e de manutenção.

TABELA 13 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE USO DA ÁGUA CINZA

Item	Função	Qtd.	Custo Individual	Custo total
Tubo PVC 50 mm 3 m	Captação	10	R\$27,90	R\$270,90
Tubo PVC 100 mm 6 m	Captação	4	R\$46,90	R\$187,60
Tubo PVC 40 mm 3 m	Distribuição	30	R\$31,90	R\$957,00
Tubo PVC 20 mm 3 m	Distribuição	30	R\$8,29	R\$82,90
Tubo Aço Galvanizado 40 mm	Distribuição	1	R\$38,54	R\$38,54
Tubo Aço Galvanizado 33 mm	Distribuição	7	R\$32,00	R\$224,00
Filtro de Água Rainus	Tratamento	1	R\$434,00	R\$434,00
Tanque de Sedimentação	Tratamento	1	R\$1.610,71	R\$1.610,71
Biofiltro Aerado Submerso	Tratamento	1	R\$8.800,00	R\$8.800,00
Reservatório 6.000 L	Tratamento	1	R\$2.280,90	R\$2.280,90
Reservatório 4.000 L	Armazenamento	1	R\$1.431,90	R\$1.431,90
Bomba BC-98 370 W	Distribuição	2	R\$399,00	R\$798,00
			Total	R\$17.116,45

FONTE: AUTORA, 2014.

5 DISCUSSÃO

Embora existam normas e manuais com critérios de qualidade para reúso da água, não existem normas e legislações específicas para o reúso da água cinza. Além disso, são poucos os estudos com caracterização da água cinza antes e após tratamento, fazendo com que seja difícil o conhecimento da eficiência de remoção dos diferentes tipos de tratamento. Ainda, por não ser um tema muito estudado, os critérios para reúso da água cinza são muitas vezes restritivos tornando esse tipo de reúso inviável por não se atingir os parâmetros de qualidade.

Outra dificuldade relacionada ao reúso da água cinza é a falta de conscientização da população quanto à necessidade de preservação dos recursos hídricos e energéticos. Em muitas regiões do Brasil há grande escassez de água devido a falta de chuvas, fazendo com que o tratamento de efluentes para reúso seja uma das soluções para que os habitantes não fiquem sem água.

A falta de incentivos financeiros do governo também é um dos fatores que reduz o uso desses sistemas, assim como a falta de conhecimento da população acerca do uso da água cinza, seus benefícios e como obter.

Assumindo um valor de construção de R\$1.885,51 o m² (Sinduscon-PR, 2014) e uma área total de cada andar de 481,74 m², temos que para o presente o estudo o custo total da obra é de R\$6.437.470,53, ou seja, o valor obtido para o sistema de reúso é relativamente baixo. Intuitivamente pode-se concluir que, quanto maior for o empreendimento, ou seja, quanto maior for a demanda de água, maior será a economia que o sistema irá gerar, tornando o tempo de retorno e o investimento mais atrativos.

6 COMENTÁRIOS FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A prática do reúso demonstra diversos benefícios para a sociedade e para o meio ambiente e, por isso, sua prática deve ser incentivada. Novos estudos acerca do tema devem ser feitos, assim como a criação de legislações e normas específicas para esse tipo de reúso por meio destas, tornando a prática mais econômica e fazendo com ela alcance resultados seguros e não restritivos quanto a qualidade da água.

As legislações brasileiras atuais de reúso de água são baseadas, principalmente, em reúso de água da chuva. Para a criação de normas e leis referentes ao reúso da água cinza novos parâmetros de qualidade devem ser analisados, assim como novos tipos de tratamento específicos para esse tipo de água. A criação de tubulações específicas também deve ser analisada, pois um material que não seja resistente pode comprometer todo o sistema. Além disso, deve-se estudar a viabilidade para empreendimentos de diferentes portes, e quais as melhores tecnologias a se aplicar em cada local.

Tendo em vista a escassez de água e a falta de estações de tratamento de efluentes em algumas regiões, deve-se levar em conta a criação de incentivos governamentais para reúso desses sistemas. Uma política de reúso da água cinza contribuiria de grande forma tanto com a diminuição da necessidade de reservatórios que dependem da água da chuva, pois a água cinza pode ser reutilizada continuamente, mas também com a poluição, reduzindo os efluentes domésticos.

A possibilidade de comércio desse tipo de água tratada também deve ser estudada. Conforme visto no trabalho, a água do chuveiro de um apartamento tipo por andar é capaz de suprir a demanda de todas as bacias sanitárias do prédio. Caso houvesse o tratamento de toda a água cinza dos apartamentos, essa quantidade seria ainda maior e poderia ser disponibilizada para outros fins, gerando uma maior economia de água potável e uma menor geração de efluentes domésticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3P Technik. Disponível em: < <http://www.agua-de-chuva.com/33-2-Rainus.html>>. Acesso em: 02/11/2014.

Agência Nacional das Águas. **Atlas Geográfico Digital de Recursos Hídricos do Brasil, Balanço Hídrico.**

Agência Nacional das Águas. **Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações.** São Paulo, 2005.

Aladin Metais. Disponível em:< <http://www.aladimetais.com.br/>>. Acesso em: 22/11/2014.

Aquaset. Disponível em:<<http://www.aquaset.com.br/aquario-compressor-ar.html>>. Acesso em 23/12/2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.626/2006. **Instalação Predial de Água Fria.**

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.229/1993. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanque sépticos.**

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8.160/1997. **Sistemas prediais de esgoto sanitário -Projeto e execução.**

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969/2007. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.**

B&F DIAS. Disponível em: <<http://www.bfdias.com.br/fichas/difusores/7.php>>. Acesso dia 23/12/2014.

Bazzarella, B.B. **Caracterização e aproveitamento da água cinza para uso não-potável em edificações.** Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

Borges, L.Z. **Caracterização da Água Cinza para Promoção da Sustentabilidade dos Recursos Hídricos.**Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

BRASIL. Lei das Águas, n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Inciso XIX do art. 21 da **Constituição Federal.**

Canadian Guidelines. Canadian **Guideline for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing.** 2010.

Cottage. Disponível em:<<http://www.cottage.com.br/ozonizador.asp> >. Acesso em: 17/07/2014.

Creder, H. (1995). Instalações hidráulicas e sanitárias. Livros Técnicos e Científicos Editora, 5ª Edição.

Department of Environmental Protection of New York City. **Residential Water Use**. Disponível em: <<http://www.nyc.gov/html/dep/html/residents/wateruse.shtml>>. Acesso em: 15/07/2014.

Department of Health. Government of Western Australia. **Draft Guidelines for the Reuse of Greywater in Western Australia**, 2002. Disponível em: <[http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/01AAA596CE8EF6CECA257BF00020A818/\\$File/Greywater-Reuse-Draft-Guidelines.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/01AAA596CE8EF6CECA257BF00020A818/$File/Greywater-Reuse-Draft-Guidelines.pdf)>. Acesso em: 29/06/2014.

Environmental Protection Agency (EPA). **Guidelines for Water Reuse**. 2012.

Food and Agriculture Organization (FAO). **Water Scarcity**. 2013.

GIUSTINA, S.V.D. **Remoção biológica de nitrogênio utilizando biofiltro aerado submerso múlti-estágio**. 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/19120/000706247.pdf?...1>>. Acesso em 20/10/2014.

GLEICK, P. H. World Fresh Water Resources. **Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources**, Oxford University Press, New York, 1993.

GUIMARÃES, J.R.; NOUR, E.A.A. **Tratando nossos esgotos: Processos que imitam a natureza**. 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/esgotos.pdf> >. Acesso em: 15/07/2014.

HESPANHOL, I. **Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. USP, São Paulo. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95.

Hidrosul. Estações de Tratamento de Efluentes. Disponível em: <<http://www.hidrosul.com.br/equipamentos/clorador-de-pastilhas>>. Acesso em: 17/07/2014

Imhof, B.; Mühlemann, J. **Greywater treatment on household level in developing countries – a state of the art review**. ETH Duwis - Swiss Federal Institute of Technology Zurich. 2005. Disponível em: <<http://www.microseptec.com/images/Greywater/Data/Greywater%20Treatment%20On%20Household%20Level%20In%20Developing%20Countries-imhoffmuehlemannmorel20041.pdf>>. Acesso em: 29/06/2014.

IWMI. International Water Management Institute. **Water Scarcity and the Role of Storage in Development**, Colombo, Sri Lanka, 2000. Disponível em

<http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/Pub039/Report39.pdf>. Acesso em: 13/03/2014.

JANSEN, J.; JEPSEN, S.; DAHLGREN LAURSEN, K. **Carbon utilization in denitrifying biofilters**. Water Science and Technology. 1993.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. **Technologies for domestic wastewater recycling**. Urban Water. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

KHANIJO, I. **Nutrient removal from wastewater by wetland systems**. Disponível em: <<http://home.eng.iastate.edu/~tge/ce421-521/ishadeep.pdf>>. Acesso em: 23/06/2014.

Laboratório de Controle da Poluição das Águas. Programa de engenharia química. Coppe, UFRJ. Disponível em: <<http://www.peq.coppe.ufrj.br/pesquisa/labpol/>>. Acesso em: 17/07/2014.

LEVLIN, E. **Conductivity measurements for controlling municipal wastewater treatment**. Department of Land and Water Resources Engineering. Stockholm, Sweden. 2014. Disponível em: <<http://www2.lwr.kth.se/forskningsprojekt/Polishproject/rep15/ConductV15.pdf>>. Acesso em: 23/06/2014.

Leroy Merlin. Disponível em: <<http://www.leroymerlin.com.br/>>. Acesso em: 20/11/2014.

MAHMOUD, N. **Wastewater characteristics**. Institute of Environmental and Water Studies. Birzeit University. Ecological Sanitation Training Course. 2011. Disponível em: <http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/db/event_upload_folder/106/L1-2_Wastewater_characteristics_SUBMITTED.pdf>. Acesso em: 23/06/2014.

MAYOK, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. São Paulo. 2012. Ministério do Planejamento e Obras. Secretaria Nacional de Política Urbana. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) DTA (E1). **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Brasília, 1999.

NaturalTec. **Desinfecção, Radiação Ultra-Violeta e Ozônio**. 2014. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Desinfeccao-Ultravioleta-UV-Agua.html>>. Acesso em: 17/07/2014.

NOLDE, E. **Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin**. Urban Water. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSWHEALTH, 2008. **Reuse in Sewered Single Domestic Premises**. Department of Energy, Utilities and Sustainability. Sydney.

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. **Millenium Development Goals Report 2012**. Disponível em <http://www.un.org/millenniumgoals/pdf/MDG%20Report%202012.pdf>>. Acesso em: 16/03/2014.

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. **Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2012**. Disponível em <http://www.onu.org.br/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 09/03/2014.

ONU. Human Development Report. **Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis**. 2006. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf>>. Acesso em: 18/07/2014.

Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Tema 5 – Uso Racional de Água e Energia. Coordenador Ricardo Franci Gonçalves. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Editora Abes, Vitória, 2009.

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA (1998). Documento Técnico de Apoio – Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de Água - DTA E1.

PIVELI, ROQUE PASSOS. **Tratamento de esgotos sanitários**. 2014. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTOS.pdf>>. Acesso em: 20/11/2014.

SANTOS, D.C. **Caderno de Saneamento Ambiental**. Capítulo 1: Sistemas de Abastecimento de Água. Universidade Federal do Paraná. 2011.

SANTOS, G.B.D, GIGLIO, P.H.M. **Estudo de viabilidade econômica e construtiva de um tanque séptico pré-moldado para residências unifamiliares**. 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/397/1/CT_EPC_2011_2_12.PDF>. Acesso em: 20/11/2014.

Sanepar. **Tabela de Tarifas de Saneamento Básico**. 2014. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/tabelatarifa2014.pdf>>. Acesso em: 18/11/2014.

SELLA, M. B. **Reúso de Águas Cinzas: Avaliação da Viabilidade da Implantação do Sistemas em Residências**. Porto Alegre. 2011.

SENS, M.L, FILHO, L.C.M, MONDARDO, R. I., PROENÇA, L.A.O. **Ozonização: uma alternativa para o tratamento de água com cianobactérias**. Revista de

Ciência & Tecnologia, V.13, nº25/26, pp47-54. 2005. Disponível em:<<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct25art05.pdf>>. Acesso em: 17/07/2014.

Schneider Motobombas. Disponível em:<<http://www.schneider.ind.br/produtos.php?id=15&ctg=2>>. Acesso em: 20/11/2014.

Sinduscon-PR. Disponível em:< [http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/pub/anexos/20090205045441PROJETOS-PADRAO_\(NBR_12.721-2006\).pdf](http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/pub/anexos/20090205045441PROJETOS-PADRAO_(NBR_12.721-2006).pdf)>. Acesso dia 10/01/2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. UFMG, 2005.

WRSC. World Resources Sim Center. **Availability of Freshwater in 2000**. Disponível em < http://www.wrsc.org/attach_image/availability-freshwater-2000>. Acesso em:16/03/2014.