



Centro Universitário de Brasília – UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais
Aplicadas - FATECS

RENATA DA SILVA BOITRAGO

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA CINZA PARA USO NÃO
POTÁVEL EM RESIDENCIAS**

Brasília

2018

RENATA DA SILVA BOITRAGO

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA CINZA PARA USO NÃO
POTÁVEL EM RESIDENCIAS**

Trabalho apresentado como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientador: Prof. Rogério Pinheiro Magalhães Carvalho, D. Sc.

Brasília

2018

RENATA DA SILVA BOITRAGO

**SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA CINZA PARA USO NÃO
POTÁVEL EM RESIDENCIAS**

Trabalho apresentado como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientador: Prof. Rogerio Pinheiro Magalhães Carvalho, D. Sc.

Brasília 28 de junho de 2018

Banca examinadora

Eng^o. Civil Rogério Pinheiro Magalhães Carvalho, D. Sc

Eng^o. Bruno Collischonn, D. Sc

Arq^a. Patrícia C. C. N. de O. Fontoura Dra. Sc

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois, o Senhor, teu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que em sua infinita bondade cuidou de cada detalhe não apenas durante os cinco anos de faculdade, mas de toda minha vida, me capacitando, fortalecendo, encorajando para que eu conquistasse essa batalha. Agradeço também a minha mãezinha do Céu Maria, que guiou meus passos até aqui protegendo-me de todos os males!

Aos meus pais Reinaldo e Vera devo toda a minha gratidão, amor e admiração, sem vocês eu não teria chegado aonde cheguei, vocês são meus maiores exemplos, assim como meu avô José Simões que mesmo longe sempre se preocupou e nunca deixou de acreditar em mim. Agradeço ao meu irmão Vinicius, e a toda minha família que acompanhou minha luta e que nunca duvidou da minha capacidade de alcançar essa conquista.

Agradeço ao meu namorado Victor Douglas por todo companheirismo, apoio e paciência e por me proporcionar inúmeros momentos felizes.

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam nessa trajetória e torceram por mim, em especial Izabela e Larissa, que nossa amizade seja para a vida.

Agradeço ao meu Orientador Rogério Carvalho, por todo empenho, dedicação, ensinamentos e paciência, sem sua ajuda e orientação este trabalho não seria possível. Agradeço também a todos os professores que me ajudaram nessa caminhada e se tornaram especiais em minha vida!

Um abraço a todos!

RESUMO

A água é indispensável para a manutenção da vida no planeta, pois ela é parte constituinte de todos os seres vivos. No entanto, o volume de água potável disponível para consumo tem se tornado cada vez mais escasso. A reutilização de águas cinza tratadas em residências pode constituir-se em uma alternativa para garantir a sustentabilidade ambiental, de modo a reduzir a demanda por esse bem. Este trabalho teve como objetivo geral estudar um sistema experimental de reuso de águas cinza residencial, com o intuito de aplicar técnicas de coleta e tratamento para o uso não potável e a sua possibilidade de reuso em tempos de economia do insumo ou escassez. A primeira etapa do projeto destinou-se a implantação do sistema de tratamento. A segunda etapa consistiu nos testes para comprovar a eficiência do filtro com as diferentes camadas filtrantes. Os resultados obtidos na primeira carreira de filtração, que era composta apenas por seixos de duas granulometrias, resultaram em uma coloração acentuada, contudo o resultado laboratorial não indicou a presença de organismos indicadores de patogenicidade. Na tentativa de melhorar a qualidade visual do efluente, adicionou-se uma camada de areia, com 5 cm de espessura, durante a realização da segunda carreira de filtração, e foi constatado que houve uma melhora não só do aspecto visual da água, mas também do parâmetro turbidez, havendo uma redução desse parâmetro da ordem de 17%. O último material filtrante adicionado, na terceira carreira de filtração, foi o carvão ativado, cuja espessura foi de 7 mm. Com o uso do carvão ativado, foi possível observar também que houve uma redução do odor da água, o que é perfeitamente plausível, haja vista que a literatura técnica relata que o carvão tem essa capacidade. Ao final de todos os experimentos, foi possível constatar que o reuso de água para fins não potáveis em residências pode se tornar uma alternativa tecnológica cada vez mais presente na vida das pessoas, necessitando, contudo, de estudos adicionais para torna-la mais acessível a um maior número de pessoas.

Palavras-chave: Reutilização. Água cinza. Sistema de tratamento.

ABSTRACT

Water is indispensable for the maintenance of life, because it is a constituent part of all living beings. However, the volume of drinking water available for consumption has become increasingly scarce. The re-use of treated gray water in homes can be an alternative to ensure environmental sustainability in order to reduce the demand for that good. The objective of this work was to study an experimental system of residential gray water reuse with the purpose of applying collection and treatment techniques for non - potable use and the possibility of reuse in times of economy of the input or scarcity. The first stage of the project was intended to implement the treatment system. The second step consisted of tests to prove the efficiency of the filter with the different filter layers. The results obtained in the first filtration run, which was composed only of pebbles of two granulometry, resulted in a marked staining, however, the laboratory result did not indicate the presence of organisms indicating pathogenicity. In an attempt to improve the visual quality of the effluent, a layer of sand of 5 cm thick was added during the second filtration run, and it was verified that there was an improvement not only in the visual appearance of the water, but also in the turbidity parameter, with a reduction of this parameter of 17%. The last filtration material added, in the third filtration course, was activated carbon which thickness was 7 mm. With the use of activated carbon, it was also possible to observe that there was a reduction of the odor of the water, which is perfectly plausible, since the technical literature reports that coal has this capacity. At the end of all the experiments, it was possible to verify that the reuse of water for non-potable purposes in residences can become a technological alternative that is increasingly present in people's lives, however, Additional studies are required to make it more accessible to more people.

Keywords: Reuse. Grey water. Treatment system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	14
Figura 2 - Distribuição da água no planeta.....	15
Figura 3 - A desigualdade no acesso a água potável a nível global.....	16
Figura 4 - As 12 regiões hidrográficas brasileiras	18
Figura 5 - Distribuição do uso da água no Brasil por setores	21
Figura 6 - Sistema de reuso de água cinza.....	27
Figura 7 - Sistema de reuso de água cinza utilizando o processo de dois-estágios .	33
Figura 8 - Sistema de Wetpark para tratamento de água cinza	35
Figura 9 - Vista de frente da residência utilizada no estudo de água de reuso	37
Figura 10 - Vista geral da ETA-piloto	39
Figura 11 - Fluxograma da ETA-piloto	42
Figura 12 - Sistema de saída água do filtro com uso de manta e com uso de tela de aço inox.....	44
Figura 13 - Configuração do filtro durante a primeira carreira de filtração (camadas de seixos e manta geotêxtil).....	45
Figura 14 - Camada de Areia	46
Figura 15 - Filtro com a camada filtrante colmatada	47
Figura 16 - Modelo de ETA-piloto proposto para água de reuso.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Proporção de área territorial, disponibilidade de água e população para as cinco regiões brasileira.....	19
Quadro 2 - Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares	24
Quadro 3 - Parâmetros de qualidade da água para reuso segundo a NBR 13969/1997 e SINDUSCON (2005)	29
Quadro 4 - Resultados obtidos no sistema wetpark para tratamento de água cinza.	35
Quadro 5 - Tubulações e Conexões utilizadas na ETA-piloto	41
Quadro 6 - Vazão, perda de carga e Reynolds	43
Quadro 7 - Características das carreiras de filtração utilizadas na ETA – Piloto	48
Quadro 8 - Custo de implantação da ETA-piloto.....	49

LISTA DE ABREVIATURA

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
ANA	Agência Nacional de Águas.
CNRH	Conselho nacional de Recursos Hídricos.
CNUMAD	Conferência das nações unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio ou demanda biológica de oxigênio (DBO).
DQO	Demanda química de Oxigênio.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
MBR	Processos com biorreatores de membranas.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.
SINDUSCON	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 ESCASSEZ DE ÁGUA	14
3.2 DISPONIBILIDADE HIDRICA NO BRASIL.....	17
3.2.1 FATORES QUE LEVARAM A ESCASSEZ DE ÁGUA NO BRASIL	21
3.3 CONSUMO DE ÁGUA RESIDENCIAL	22
3.4 TIPOS DE REUSO	25
3.5 REUSO DE ÁGUA CINZA	25
3.6 NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÕES PARA O REUSO DE ÁGUAS CINZA RESIDENCIAIS NO O BRASIL	28
3.7 TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA	30
3.8 ESTOCAGEM.....	36
3.9 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO	32
3.9.1 SISTEMAS SIMPLIFICADOS TIPO DOIS-ESTÁGIOS	32
3.9.2 SISTEMAS FÍSICOS E FÍSICOS-QUÍMICOS	33
3.9.3 SISTEMAS BIOLÓGICOS	34
4. METODOLOGIA.....	37
4.1 SISTEMA DE REUSO	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA ETA-PILOTO	48
5.2 PROPOSTA DE MODELO PARA UMA UNIDADE DE TRATAMENTO PARA ÁGUA DE REUSO	49
6. CONCLUSÃO	51
6.1 RECOMENDAÇÕES	52
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	53
ANEXO I – MEMORIAL DE CÁLCULO.....	59
ANEXO II – ÁBACO DE MOODY.....	67
ANEXO III – TABELA PERDA DE CARGAS LOCALIZADAS	68

1. INTRODUÇÃO

A água encontrada na natureza é essencial à vida no nosso planeta. No entanto, o volume de água potável disponível para consumo tem se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos (May-Simone, 2009).

Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2025, dois terços da população mundial – ou 5,5 bilhões de pessoas – viverão em locais que sofrem com algum tipo de problema relacionado à água. Muitas pessoas morrem a cada ano vítimas de doenças associadas à falta de água ou más condições sanitárias. Até 2050, os saldos deficitários de recursos hídricos serão graves em pelo menos 60 países. Na atualidade, a metade dos seis bilhões de habitantes do mundo carece de água com tratamento adequado, e mais de um bilhão de pessoas não têm acesso à água potável (BIO, 2001).

Conforme Fiori (2006), uma das evidências de que a escassez prevista é real, e não uma extrapolação catastrófica, é o número de países onde já foi superado o nível de vida capaz de ser suportado pela água disponível. Países como China, Índia, México, Tailândia, parte do oeste dos Estados Unidos, norte da África e áreas do Oriente Médio estão retirando do lençol freático mais água que o ciclo hidrológico consegue repor. Se a situação desses países é difícil e com tendência a agravar-se, a posição de muitos países com abundância de reservas hídricas não é menos preocupante. É o caso do Brasil, que possui bastante água, porém não sabe usar e já enfrenta dificuldades de abastecimento em áreas de grande densidade de população. O país não tem consciência de sustentabilidade (FIORI et al., 2006).

Tendo em vista esse contexto de poluição, escassez e desperdício dos recursos naturais, foi criada na conferência das nações unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (também conhecida como Rio 92), um dos marcos referenciais para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 21. Ela estabelece um plano de ação elaborada de forma consensuada por governos e instituições de diversos países, visando orientar um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI, cujo alicerce é a sinergia de sustentabilidade ambiental, social e econômica. Desde então, aumentou-se no mundo

todo o número de experiências que visam principalmente reduzir, reciclar, reutilizar e recuperar os resíduos gerados (Bazzarella, 2005).

Uma das principais fontes de consumo de água são as residenciais. Alguns países da Europa e Estados Unidos já concentram seu foco de ações nessa escala. Em áreas densamente urbanizadas, o consumo de água nas edificações pode atingir até 50% do consumo total de água potável. Uma redução significativa desse consumo (30% a 40%) pode ser atingido nas residências através de técnicas racionalizadoras (ex: uso de dispositivos economizadores nos aparelhos) ou através da utilização de fontes alternativas de suprimento (ex: água de chuva, água do mar dessalinizada ou o reuso de águas servidas, também conhecida como água cinza) para fins menos nobres (ex: lavagem de veículo, rega de jardins, descarga de vasos sanitários) (Bazzarella, 2005).

Observa-se uma crescente importância no tema reuso de águas cinza no contexto das construções sustentáveis. A busca por soluções tecnológicas que visam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior conforto e economia nas construções não para de aumentar, objetivando sempre atingir o mínimo impacto e a máxima integração com o ambiente, principalmente no que se refere à preocupação com o aumento da demanda de água tratada. Nesse contexto, o reuso da água ganha a cada dia maior destaque. É de fundamental relevância o desenvolvimento de tecnologias e soluções alternativas, uma vez que a o aumento populacional faz com que a demanda pelos recursos hídricos aumente dia após dia. Mesmo que a água seja um recurso renovável, o uso irresponsável pode comprometer a sua disponibilidade quantitativa e qualitativa. Nesse cenário, o incentivo ao uso racional da água é uma forma de prevenir sua escassez (Sella, 2011).

Portanto, este trabalho tem o escopo principal de indicar um mecanismo que possa ser utilizado em residências para o aproveitamento de águas cinza, de modo a contribuir para a redução da demanda no sistema público de abastecimento de água potável, observando, no que couber, as normas sanitárias vigentes e as condições técnicas específicas estabelecidas pelo órgão de controle no âmbito Distrital e Nacional.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral estudar um sistema experimental de reuso de águas cinza residencial, com o intuito de aplicar técnicas de coleta e tratamento para o uso não potável.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desenvolvimento de um projeto de reuso de águas cinza;
- Verificação dos custos de implantação do sistema de tratamento.
- Verificação preliminar da qualidade da água após tratamento.
- Propor um modelo para uma nova unidade de tratamento para água de reuso.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

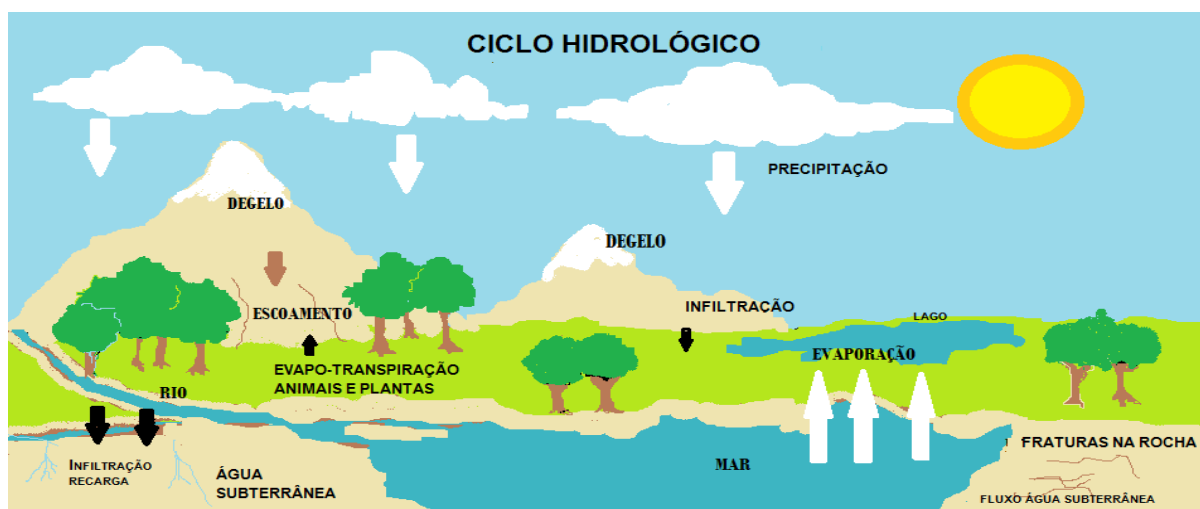
3.1 ESCASSEZ DE ÁGUA

A água é indispensável para a manutenção da vida no planeta, pois ela é parte constituinte de todos os seres vivos. É através dela que se pode conceber a atmosfera, o clima, a vegetação, a agricultura e as reações celulares necessárias ao metabolismo da vida (FERREIRA, 2005).

A importância dos recursos hídricos é tamanha que, de acordo com estudos realizados pela ONU, a água chega a ser considerada um bem econômico, pois a sua escassez pode estagnar o desenvolvimento regional ou provocar a degradação de recursos naturais, que por sua vez influenciam na saúde, no bem-estar e na segurança de uma população inteira, bem como nas suas atividades socioeconômicas (ANDREASI, 2003).

Para Bazzarela (2005), a água é um recurso natural renovável, graças ao ciclo hidrológico (Figura 1), mas de volume finito. Entretanto uma preocupação recorrente e vastamente justificada, é de que a água, tão abundante, torne-se paradoxalmente cada vez mais escassa para o consumo humano. Nos últimos 100 anos o consumo de água multiplicou por seis e hoje 1/3 da humanidade vive em áreas onde falta água limpa.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: MMA apud Observatório, (2018).

Conforme Clarke e King (2005), a Terra dispõe de aproximadamente de 1,386 km³ de água. Contudo tem-se que cerca de 97,4% dessa água apresenta-se espalhada por oceanos, mares, lagos salgados e aquíferos salinos, e somente uma pequena fração dessa imensa quantidade, 2,6%, corresponde a água doce.

Assim, de acordo com a Figura 2, pode-se verificar que os 2,6% da água doce do planeta se distribuem entre água disponível e indisponível. A primeira, cerca de 23,3%, corresponde a água de solos, lagos, rios, plantas, animais e umidades de solo e do ar; enquanto a segunda, cerca de 76,7%, corresponde a água aprisionada nas geleiras, neves, gelos e solos congelados (CLARKE E KING, 2005; MILLER, 2007).

Figura 2 - Distribuição da água no planeta



Fonte: Clarke e King, 2005.

Conforme pode ser observado na Figura 2, entre os recursos de águas disponíveis, apenas uma pequena parcela (2,3%) se encontram sob a forma de águas de superfície, aquelas que são de mais fácil acesso e, por isso, mais facilmente degradadas. A outra parcela de águas disponíveis (97,7%) apresenta-se como águas subterrâneas constituídas por lençóis freáticos e aquíferos, alguns tão complexos e heterogêneos, que tornam seu acesso mais dificultado. Exemplo desse tipo de estruturação hidrogeológica é o aquífero Guarani, que apesar de abranger cerca de 1,2 milhão de km², espalhando-se pelo Paraguai, Uruguai, Argentina e oito estados brasileiros, contempla pontos que não é possível acessar suas águas, como ocorre na Argentina, em que o sistema aquífero apresenta-se confinado em grandes profundidades (MACHADO, 2009).

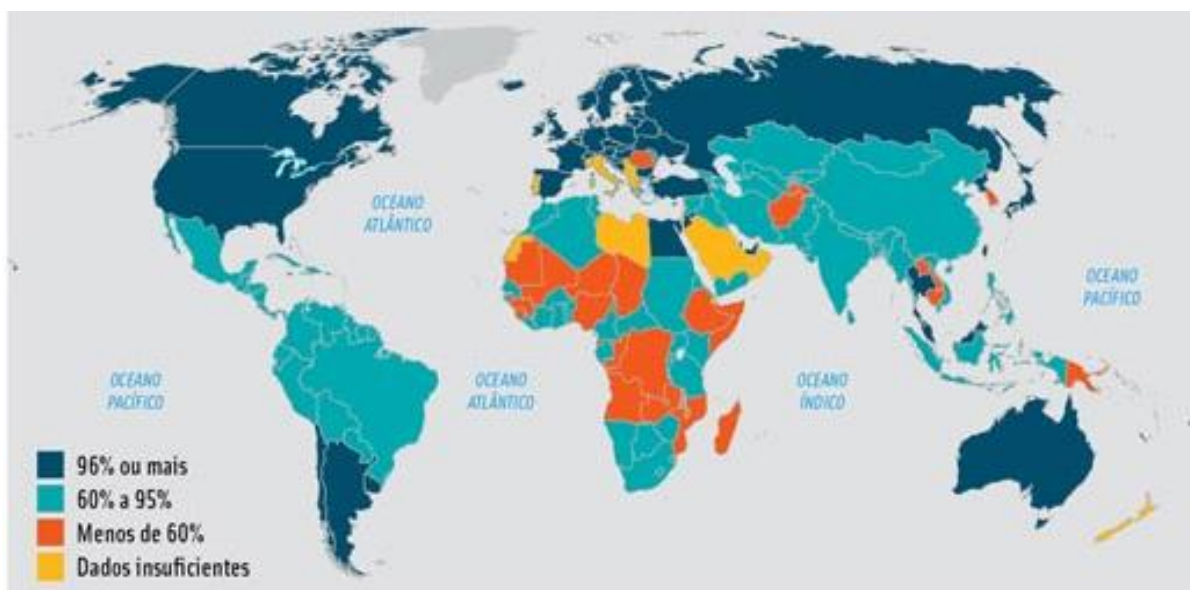
A Cidade do México é um dos lugares onde pode ser encontrado um dos exemplos mais dramáticos da exploração excessiva dos recursos hídricos. A extração de águas subterrâneas é tão intensa, que chega a exceder em 80% o potencial de

recarga. Tudo isto origina uma crise definitiva, tendo em vista o fato de provocar o afundamento do solo na cidade. Estas consequências negativas serão irreversíveis (MUNDO DA ÁGUA, 2004 apud FERREIRA, 2005).

Segundo perspectivas das Nações Unidas, pelo menos um terço da população mundial vai ficar sem água até 2050. Isto se deve, principalmente, ao fato de este ser um recurso finito e praticamente constante nos últimos 500 anos (TOMAZ, 2001). Em contrapartida, a população cresce rapidamente, aumentando cada vez mais a demanda por água. A situação toma proporções críticas quando se percebe que este crescimento populacional futuramente vai condenar milhões de pessoas ao que se tem chamado de “indigência hidrológica”, uma forma de pobreza da qual será muito difícil de escapar (FERREIRA, 2005).

De acordo com Lima (2005), o problema de escassez da água pode ser resumido em dois aspectos: má distribuição e má gestão. O primeiro se deve à própria natureza, e o segundo é culpa do homem. A Figura 3 apresenta um quadro de desigualdade no acesso à água potável. Regiões como o Oriente Médio e a África possuem problemas sérios e até conflitos devido à falta desse bem. Todavia, mesmo nas regiões mais afastadas, a distância entre as fontes de água e os centros consumidores pode ser enorme (BAZZARELLA, 2005).

Figura 3 - A desigualdade no acesso a água potável a nível global



Fonte: IBGE (2018).

Conforme estimativas realizadas pela UNESCO (2018), cerca de 20% da população mundial não possui acesso à água potável, ressaltando, ainda, que aproximadamente 40% não têm sequer água suficiente para higiene pessoal e saneamento básico adequados. Exemplo característico é definido quando se compara a quantidade de água gasta para uma pessoa realizar suas atividades diárias. A ONU define que o volume necessário para tais atividades é equivalente a 40 litros por dia, contudo um europeu utiliza em média 150 litros, enquanto um indiano consome apenas 25 litros (IDEC, 2010).

Não há dúvidas de que o mundo está ficando cada dia mais pressionado pela dependência de água. Estima-se que nos próximos cinquenta anos a população mundial vai sofrer um incremento de mais três bilhões de pessoas. Prevê-se que, destas, a grande maioria vai nascer em países que atualmente já sofrem com problemas de escassez de água (BROWN, 2002 *apud* ANDREASI, 2003).

3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

O Brasil é um país contemplado positivamente com recursos hídricos por estar localizado sobre a maior bacia fluvial do mundo, juntamente com a Bolívia, Peru, Equador e Colômbia, a bacia amazônica com seus 6.000.000 km². Além disso, tem-se a bacia Platina, segunda maior do mundo, localizada parcialmente sobre território brasileiro (WEBCIÊNCIA, 2008).

A riqueza hídrica do país também está localizada sobre as águas subterrâneas. Nesse contexto, encontra-se o aquífero Botucatu/Guarani, com cerca de 70% de uma área de quase 1,2 milhão de quilômetros quadrados, localizados sobre terras brasileiras (WEBCIÊNCIA, 2008).

A ideia de que o Brasil é um país que tem uma grande disponibilidade hídrica é reforçada no fato de possuir, segundo Tomaz (2001), uma quantidade de água doce que corresponde a 12% do total mundial. Possui, também, grandes reservas de água em praticamente todos os Estados, excetuando-se aqueles que se localizam no semiárido nordestino.

Assim, pode-se dizer que o Brasil é um país privilegiado no tocante à quantidade de recursos hídricos, devido ao clima tropical com elevados índices pluviométricos. Possui doze bacias hidrográficas (ver Figura 4), com destaque para a Bacia Hidrográfica Amazônica, considerada a maior do mundo por estar presente em

sete Estados brasileiros, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Conselho nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

Figura 4 - As 12 regiões hidrográficas brasileiras



Fonte: Ana (2018).

Conforme Rebouças (2004), “o Brasil tem água mais do que suficiente nos rios e em qualquer uma das suas regiões geográficas. Logo, nada justifica permanecer na vala comum dos Países com escassez de água”. Contudo, percebe-se que no Brasil alguns dos agravantes para a escassez são: a má distribuição, o mau gerenciamento dos recursos hídricos e também a localização geográfica destes em relação aos grandes centros urbanos.

De acordo com Clarke e King (2005):

“A situação das águas no Brasil envolve problemas de quantidade e qualidade. Todos os sistemas de águas continentais, tanto os de superfície, como os aquíferos subterrâneos, tem sofrido pressão permanente, seja pelos usos múltiplos, seja pela exploração excessiva ou pelo acúmulo de impactos de várias magnitudes e origens. Desmatamento, despejos de esgotos domésticos, despejo de resíduos agrícolas, como pesticidas e herbicidas, canalização de rios e construção de barragens, erosão e descarga de substâncias tóxicas, atuam na redução da biodiversidade aquática, comprometem o abastecimento público, aumentam os custos de tratamento e tornam muito complexo o gerenciamento das águas.”

Diante disso, apesar de abundante, a distribuição de água é bastante desigual entre as cinco regiões do país. Segundo com Ghisi (2004), a Região Norte abrange 45% de área territorial e possui cerca de 69% da água disponível do país, para atender a apenas 8% da população. Estes e outros dados podem ser observados no Quadro 1, que considera a população brasileira do ano 2000.

Quadro 1 – Proporção de área territorial, disponibilidade de água e população para as cinco regiões brasileira

REGIÕES DO BRASIL	ÁREA TERRITORIAL (%)	DISPONIBILIDADE DE ÁGUA (%)	POPULAÇÃO (%)
Norte	45	69	8
Nordeste	18	3	28
Sudeste	11	6	43
Sul	7	6	15
Centro-Oeste	19	15	7

Fonte: GHISI (2004).

O desequilíbrio entre a concentração de água e a população no Brasil é bastante intensa. Nas regiões onde há predominância das atividades industriais e agrícolas existem uma pequena percentagem de volume de água, verificando-se o oposto nas regiões onde essas atividades não são intensas (May et al., 2004).

Para Rebouças (2003), o Brasil detém uma das maiores reservas de água doce no mundo, mas também enfrenta intensamente um paradoxo. As cidades passam por crises de abastecimento, das quais não escapam nem as situadas na Região Norte, que estão perto de 80% das descargas de água de rios no Brasil. Além disso, segundo Bazzarella (2005), parte da água no Brasil já perdeu a característica de recurso natural renovável (principalmente nas áreas densamente povoadas), em razão de processos de urbanização, industrialização e produção agrícola, que são incentivadores, mas pouco estruturados em termos de preservação da água e do ambiente.

Estima-se que a demanda dos recursos hídricos no Brasil esteja dividida da seguinte forma: em primeiro lugar vem o setor agrícola, que capta aproximadamente 72,5% do volume total, seguido pelo setor de abastecimento, com cerca de 18%, e, por fim, o setor industrial, com 9,5% (CARVALHO, 2004).

Para Tundisi (2011), o crescimento da população urbana no Brasil promoveu um aumento considerável nas demandas hídricas, associado à expansão urbana, degradação dos mananciais, contaminação e poluição. Com o crescimento populacional, aumenta a procura por água potável, aumentando também o desperdício, e com isso ocasionando o déficit hídrico. Opinião que é compartilhada por Fernandes (2008), o qual informa que o déficit hídrico significa que há uma falta de água no ambiente. E essa falta de água é gerada por vários fatores, entre eles o baixo índice pluviométrico, o grande uso industrial, o consumo excessivo, desperdício e também a degradação e poluição dos mananciais.

Como afirma Clarke & King (2005 p. 93):

“A região Norte, justamente a de mais baixa densidade populacional, conta com a maior abundância de águas. As regiões Sul e Sudeste, apresentam recursos hídricos relativamente abundantes, mas o elevado grau de urbanização, a densidade populacional e os usos múltiplos da água estão levando à escassez em alguns pontos, porque a poluição derivada compromete a disponibilidade e aumenta os custos de tratamento! A região Centro-Oeste conta com uma área de ecossistemas aquáticos de grande biodiversidade, o Pantanal mato-grossense, com cerca de 200 mil km², mas se encontra altamente ameaçada por elementos diversos: criação de gado, agricultura, hidrovias, atividades turísticas inadequadas, pesca predatória e urbanização”.

Pelo que foi observado, percebe-se que o Brasil possui uma boa disponibilidade hídrica, porém, há indícios de que a qualidade da água disponível esteja comprometida para diversos usos, inclusive para a captação e o tratamento para fins de abastecimento humano e dessedentação de animais, devido aos mais diversos tipos de poluição. Como exemplo dessa situação, pode-se citar os rios Madeira, Cuiabá e Paraguai, que banham grande parte da região amazônica e do Pantanal, os quais já apresentam sinais de contaminação pelo mercúrio. Este é o metal utilizado nos garimpos clandestinos. Além disso, as poluições doméstica e industrial atingem os principais rios, lagos e represas das cidades brasileiras onde, hoje, vive grande parte da população, ocasionando uma série de problemas para a sociedade (FERREIRA, 2005).

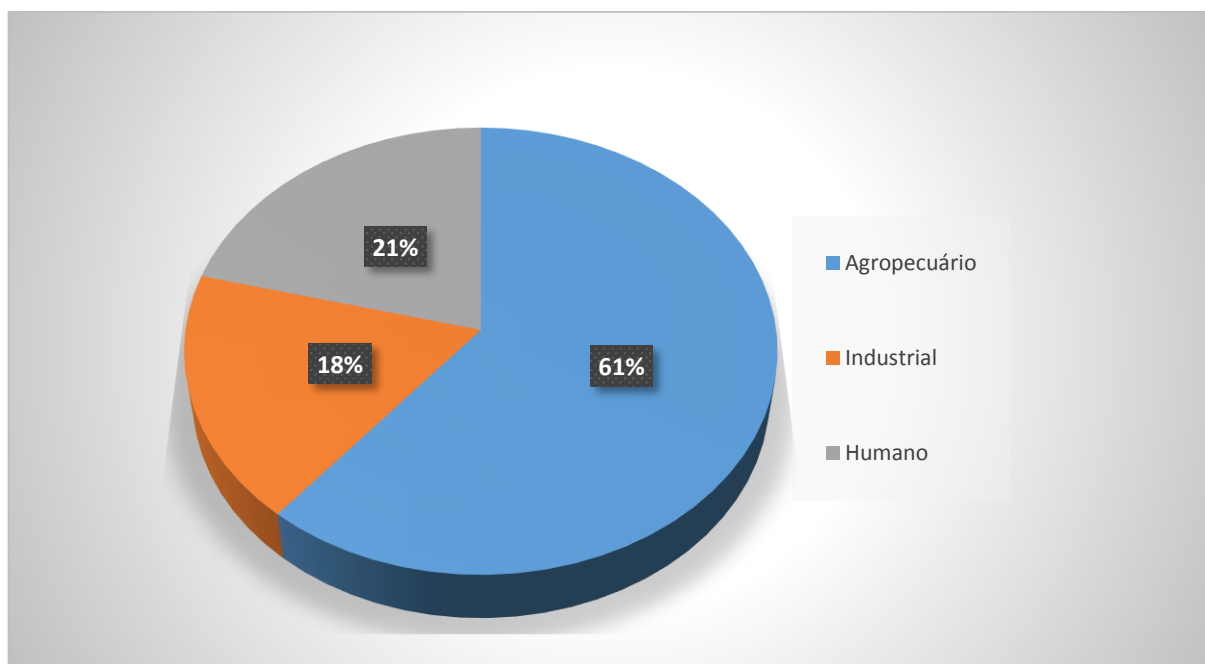
Com a intenção de resolver conflitos gerados pelo uso da água, em 1977 foi criada a Lei da Águas (Nº 9.433/97). Essa lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e estabelece a criação do sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos (SNGRH), nos quais a água é entendida como um bem de importância maior e os usos como o abastecimento humano e a dessedentação são definidos como prioritários em caso de situações de escassez e conflitos.

3.2.1 FATORES QUE LEVARAM À ESCASSEZ DE ÁGUA NO BRASIL

No Brasil, como na maior parte dos países, tem-se o setor agropecuário, principalmente, como a atividade que mais consome água. Conforme pode ser observado na Figura 4, o uso humano corresponde a 21% e a indústria a 18% dos usos no país (MELLO, 2010).

Figura 5 - Distribuição do uso da água no Brasil por setores



Fonte: ANA (2018).

Embora o consumo humano não seja o principal uso da água, nos últimos anos o Brasil passou uma crise hídrica que atingiu significativamente a disponibilidade de água potável de maior cidade brasileira (a cidade de São Paulo).

Apontar e discutir os fatores que levaram o Brasil a vivenciar a crise hídrica é um tema de relevância na atualidade, para entender quais soluções deverão ser tomadas. Segundo Tucci (2008), os problemas que causaram a crise foram: a intensa urbanização, aumentando a demanda pela água para abastecimento e desenvolvimento econômico e social e como resultado a ampliação da descarga de

recursos hídricos contaminados. Este autor relata ainda que, no amplo contexto social, econômico e ambiental do século XXI, existem problemas como a falta de articulações, ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e sustentabilidade ambiental.

Mello (2010), similarmente a Tucci (2008), relata que existem várias causas para a falta de água, dentre elas são destacadas as seguintes: o alto nível de degradação da qualidade da água alcançado nos últimos 50 anos; o aumento exponencial e desordenado da demanda, devido ao rápido crescimento demográfico, as irregularidades entre a distribuição geográficas das disponibilidades hídricas quando comparado às necessidades de consumo localizadas e o desperdício observado em toda parte do globo. Além desses, o autor também cita a ação no aumento da temperatura, observado pelo aquecimento global e o aumento na produção de energia, principalmente, biocombustíveis.

O ciclo hidrológico garante que a água permaneça em seu processo de reciclo, essencial à garantia da vida no planeta. Entretanto, a poluição que se observa nos dias atuais pode ocorrer em qualquer fase desse ciclo seja por meio do lançamento de esgotos domésticos, efluentes líquidos industriais nos rios, lagos e oceanos; de agrotóxicos aplicados na agricultura, produtos de aterros ou lixões, que ao serem carregados pela chuva, atingem as águas subterrâneas e, até mesmo pelos efluentes gasosos, como aqueles expelidos por veículos automotores (SAPO, 2010).

Da mesma forma, Carvalho (2003) destaca que o agravamento dos problemas da gestão da água nas áreas urbanas tem a ver com a grande ocupação em conjunto com a intensificação do uso do solo. Os aspectos agravantes são: elemento urbano de lazer, paisagismo, abastecimento e esgotamento. O meio ambiente está sumindo nas áreas urbanas, relata Pitton (2003), pois os rios estão sendo canalizados, concretados, vegetação derrubada e solo impermeabilizado, devido a ocupação territorial. *“As águas não invadem as cidades, elas é que foram invadidas por essas”*.

3.3 CONSUMO DE ÁGUA RESIDENCIAL

Segundo Hinrichsen, Hobey e Upadhyay (1997), 69% do consumo de água doce no mundo é destinada à agricultura, 23% à indústria e 8% ao uso urbano. O uso da água para consumo em áreas urbanas subdivide-se em três categorias, como relata Tomaz (2000), a saber:

- **Consumo residencial:** relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- **Consumo comercial:** relativo a restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, lava jatos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- **Consumo público:** relativos aos edifícios públicos, escolas, parques infantis, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública, e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

O conhecimento dos consumos específicos de água que ocorrem nos diversos pontos de utilização de uma residência, é de fundamental importância para se saber onde se deve priorizar as ações de conservação do uso da água em edificações (BAZZARELLA, 2005).

A Quadro 2 mostra algumas experiências que realizaram a parametrização do consumo de água em edificações, bem como uma simulação do consumo de água em uma residência de classe média brasileira, realizada por uma conceituada empresa do ramo de peças e aparelhos sanitários (DECA).

A universidade de São Paulo (USP), em parceria com a Deca, realizou um estudo em um prédio da própria universidade. Já o documento técnico de apoio E1, do PNCD (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água), apresenta uma caracterização do consumo de água para um apartamento situado em um conjunto residencial para população de baixa renda (ROCHA et al., 1998).

A NSWHealth (2000) e a EPA (1992) apresentaram dados sobre domicílios australianos e americanos.

Quadro 2 - Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares

Setor da residência	Simulação Deca	Prédio USP	PNCDA (BRASIL,1998)	Austrália (NSWrealth,2000)	EUA (EPA,1992)
Banheiro	72%	63%	68%	70%	74%
Bacia sanitária	14%	29%	5%	32%	41%
Pia	12%	6%	8%	5%	
Chuveiro	47%	28%	55%	33%	33%
Banheira					
Cozinha	15%	22%	18%	7%	5%
Pia de cozinha	15%	17%	18%	7%	5%
Máq de lavar louça	-	5%	-		-
Área de serviço	13%	15%	14%	23%	21%
Máq de lavar roupa	8%	9%	11%	23%	21%
Tanque	-	6%	3%	-	-
Torneira de uso geral	5%	-	-	-	-
Limpeza					
Outros	0%	0%	0%	0%	0%
Outros	-	-	-	-	-
Lavagem de carro	-	-	-	-	-
Vazamento	-	-	-	-	-

Fonte: Tomaz (2000).

Pela análise da Quadro 2, é possível identificar que o banheiro é o ponto de maior consumo de água, independente da região onde se encontra a edificação, representando mais da metade do consumo de água nas residências. A bacia sanitária e o chuveiro, em alguns locais, possuem um consumo relativamente semelhante, justificando a necessidade de se investirem esforços e recursos em pesquisas sobre práticas de reuso (BAZZARELLA, 2005).

3.4 TIPOS DE REUSO

Segundo Lavrador (1987), o reuso da água consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes, em algumas atividades humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos.

De acordo com a WHO (1973), o reuso de água é classificado da seguinte forma:

- **Reuso indireto:** ocorre quando as águas já usadas, uma ou mais vezes no uso doméstico ou industrial, são descarregadas nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente à jusante, de forma diluída;
- **Reuso direto:** é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades, sem lançamento ou diluição previa em corpos superficiais ou subterrâneos.

Ainda segundo Lavrador (1987), os termos “reuso planejado” e “reuso não planejado” referem-se ao fato do reuso ser resultante de uma ação consciente, subsequente à descarga do efluente, ou do reuso ser apenas um subproduto não intencional dessa descarga. Dessa forma tem-se a seguinte conceituação:

- **Reuso planejado:** ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, com isso, cuidados necessários para a sua prática são previstos;
- **Reuso não planejado:** ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

3.5 REUSO DE ÁGUA CINZA

É de suma importância a conservação dos recursos hídricos e do ambiente em que eles estão inseridos, principalmente no que se refere à água doce, que deve ser utilizada com responsabilidade e sem desperdícios, reaproveitando-a e utilizando-a de forma consciente, preconizando o desenvolvimento sustentável, para garantir esse recurso às futuras gerações (BATISTA, 2014). E pensando no futuro, foram desenvolvidos métodos de reuso para uma maior economia e conservação da água.

Feital et al. (2008) relatam que diante do quadro de degradação das fontes de água e do aumento do consumo, principalmente nos grandes centros urbanos, é que se justifica a busca por soluções que visam o uso racional e conservação desse

recurso. Ainda segundo o autor: *“O ritmo crescente do consumo de água no mundo não é sustentável, pois as práticas geram escassez em grande parte do planeta”*. Sendo assim, a busca pelas soluções no uso consciente e conservação da água não deve ser somente uma responsabilidade governamental, mas sim de toda a sociedade.

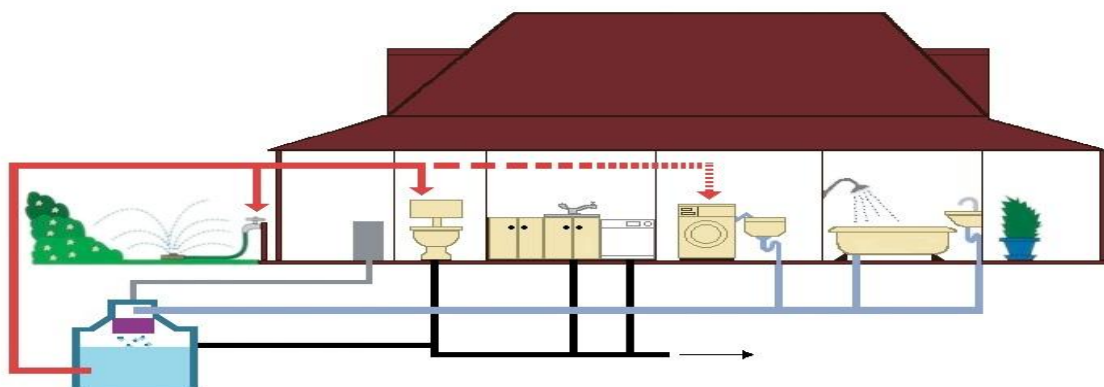
A reutilização de águas cinza tratadas em residências pode constituir-se em uma alternativa para garantir a sustentabilidade ambiental, de modo a reduzir a demanda por recurso que a cada dia torna-se mais escasso. Adicionalmente, pode contribuir para reduzir o volume de contaminantes do solo e dos corpos d'água. Em alguns casos, principalmente em edificações de grande porte, a prática do reuso apresenta-se como uma alternativa mais atrativa, em termos econômicos, do que a utilização de águas pluviais (ALVES et al., 2009).

Águas cinza são águas oriundas de processos domésticos como chuveiros, pias e lavanderias. De acordo com Leal et al. (2007 apud CARVALHO et al., 2015), a água cinza tem grande potencial de reuso, pois apresenta cerca de 70% do esgoto doméstico de baixa concentração de poluentes, se comparada ao esgoto doméstico combinado. Além disso, pode ser adequada para diferentes tipos de reuso, requerendo, assim, tratamentos distintos convenientes para a aplicação final da mesma.

O termo água cinza é utilizado, em geral, para águas servidas originada em residências (ou também escolas, escritórios ou edifícios públicos), que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheiros, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON et al., 1999). Alguns autores, como Nolde (1999) e Christova-Boal et al. (1996), não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas, por considerá-la altamente poluída, putrescível e com inúmeros compostos indesejáveis, como por exemplo, óleos e gorduras.

A Figura 6 mostra a configuração de um determinado sistema de sistema de reuso.

Figura 6 - Sistema de reuso de água cinza



Fonte: Serpa, 2018.

Para Jefferson et al. (1999), a água cinza é geralmente originada pelo uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral. Ela varia em qualidade de acordo com a localidade e nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores e com o tipo de fonte de água que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar, etc.), como relata também Nswhealth (2000) e Nolde (1999). Outros fatores que, segundo Eriksson et al. (2002), também contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso.

No Brasil, os primeiros estudos sobre reuso de água foram realizados pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), em 1992. Muitas indústrias já começam a reciclar água dentro da sua propriedade, através do tratamento e reutilização dos seus esgotos sanitários. Porém, o reuso doméstico é uma prática ainda não muito difundida dentro do país (TOMAZ, 2001).

A grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar a água potável, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade para o abastecimento humano. Além disso, há diminuição da demanda sob os mananciais de água pura devido à substituição da fonte, ou seja, a substituição de uma água de boa qualidade por outra inferior, porém que contenha qualidade requerida para o destino traçado para ela. Outra vantagem relevante do reuso é a eliminação de descarga de esgotos nas águas superficiais, já que há um tratamento na água e os produtos resultantes do processo são destinados a locais

adequados. Também em locais onde o estágio avançado de falta d'água é muito grande, a solução de reuso pode ser a melhor alternativa (FIORI et al., 2006).

3.6 NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÕES PARA O REUSO DE ÁGUAS CINZA RESIDENCIAIS NO O BRASIL

No Brasil existem poucos normativos que regulamentam o reuso de águas. A NBR 13969/1997 descreve, no item 5.6, o reuso local onde o esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, após tratamento, deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos automotivos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística de lagos e canais com água, irrigação de campos agrícolas, pastagens, etc. A norma aborda ainda itens como: planejamento do sistema de reuso, usos previstos para o esgoto tratado, volume de esgoto a ser reutilizado, grau de tratamento necessário, sistema de reservação e distribuição e manutenção de operação e treinamento dos responsáveis.

Na NBR 13969/1997 são definidos classes e parâmetros para os esgotos, conforme o reuso previsto. As classes são as seguintes:

- **Classe 1:** lavagem de veículos de outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluído chafarizes;
- **Classe 2:** lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- **Classe 3:** reuso nas descargas de vasos sanitários;
- **Classe 4:** reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Já o manual do SINDUCON (2005) salienta que apesar do reuso de água apresentar diversas aplicações, todas convergem para a mesma condição de restrição que é a exposição ao público, usuários e operadores que manuseiam ou tenham algum contato com os sistemas de tratamento e distribuição da água de reuso. O manual também define padrões de qualidade da água de reuso, dividida em duas classes, que são:

- **Classe 1:** descarga de vasos sanitários, lavagens de pisos, fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos;
- **Classe 2:** lavagem de agregados, preparação de concretos, compactação de solos e controle de poeira.

Na Quadro 3 são apresentados os padrões de qualidade da água para reuso segundo a NBR 13969/1997 e o manual do SINDUSCON (2005).

Quadro 3 - Parâmetros de qualidade da água para reuso segundo a NBR 13969/1997 e SINDUSCON (2005)

Classes	Parâmetros					
	Turbidez (uT)	pH	SDT (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
Classe 1	<5	6,0 e 8,0	<200	0,5 e 1,5	-	<200
Classe 2	<5	-	-	<0,5	-	<500
Classe 3	<10	-	-	-	-	<500
Classe 4	-	-	-	-	>2,0	<5000
SINDUSCON (2005)	-	-	-	-	-	-
Classe 1	≤2	6,0 e 9,0	≤500	≤0,5	-	Não detectáveis
Classe 2	-	6,0 e 9,0	-	-	-	≤1000

Fonte: NBR 13969/1997 e SINDUSCON (2005).

Já o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, na Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, estabelece medidas, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água em todo território nacional. Segundo o Art. 3º da resolução nº 54, o reuso de água não potável abrange as seguintes modalidades: reuso para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e aquicultura.

O reuso da água em edificações é perfeitamente possível, desde que seja projetado para este fim, respeitando todas as diretrizes a serem analisadas, ou seja,

evitar que a água reutilizada seja misturada com a água tratada e não permitir o uso da água reutilizada para consumo direto, preparação de alimentos e higiene pessoal. Porém, a qualidade necessária para atender aos usos previstos deve ser rigorosamente avaliada, para a garantia da segurança sanitária (FIORI et al., 2006).

3.7 TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

As principais características a serem consideradas quando se dá a definição do tipo de tratamento de águas cinza para reuso são a grande variação de vazão em períodos curtos de tempo e a elevada biodegradabilidade. Há uma grande variedade de processos desenvolvidos, variando desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON et al, 1999).

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. Entretanto, deve se atentar para o fato de que as exigências quanto à qualidade do efluente tratado são muito superiores no caso de reuso de águas cinza, sobretudo quando se trata de reuso em edificações.

Os efluentes que terão como destino algum reuso, devem passar por um tratamento, para que possam atender às expectativas dos usuários e principalmente para que não comprometam a saúde desses. Visto isso, alternativas de tratamento devem ser estudadas. Uma associação de etapas de tratamento de águas cinza para reutilização em vasos sanitários é apresentada (BRASIL et al., 2005).

a) primeiramente deve passar por um dos dois tratamentos abaixo:

- sistema físico-químico: coagulação, floculação e decantação ou flotação;
- sistema aeróbio de tratamento biológico de lodos ativados;

b) sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia;

c) processo de desinfecção;

d) por fim, caso seja necessário, executar a correção do pH.

Um sistema experimental foi construído em um contêiner, para a caracterização das águas cinza. O contêiner possuía 13,8 m² e continha dois ambientes, um banheiro masculino e outro feminino, cada um deles com dois chuveiros, um vaso sanitário e

um lavatório. Uma máquina de lavar foi instalada, adicionalmente, ao banheiro feminino (MAY; HESPANHOL, 2006).

O sistema de tratamento constituído para o experimento de May e Hespanhol (2006) foi o seguinte:

[...] tanque de equalização, tratamento biológico aeróbio (biodisco), reservatório de decantação secundária, sistema de filtração e sistema de desinfecção com cloro. O sistema de tratamento biológico aeróbio consiste em fornecer artificialmente oxigênio para o meio, onde os microrganismos aeróbios são predominantes e fazem a remoção da carga orgânica.

Esse sistema funcionava em cinco etapas:

- a) o efluente vindo dos chuveiros, lavatórios e da máquina de lavar era encaminhado ao reservatório de equalização;
- b) posteriormente ele era dirigido ao tratamento biológico (biodisco), para que ocorra a degradação da matéria orgânica;
- c) em seguida ele passava para o reservatório de decantação secundária, a sedimentação acontece em forma de lodo, formado pelo material orgânico já degradado;
- d) após isso ele continua até o sistema de filtração para retirada das partículas sólidas ainda dispersas;
- e) por último a água cinza é encaminhada para a desinfecção, por adição de cloro.

Uma sequência possível para tratamento de águas cinza pode ser composta primeiramente por um tanque séptico, em seguida um filtro anaeróbio, filtração terciária ou outra barreira fica e por fim um processo de desinfecção (CHERNICHARO et al., 2006).

Outro trabalho experimental desenvolvido em Florianópolis consistia em um sistema para tratamento e reuso de águas cinza geradas em uma residência unifamiliar (MAGRI et al., 2008). O processo de tratamento era composto por:

- a) caixa receptora das águas cinza;
- b) filtro aeróbio de brita;
- c) filtro aeróbio de areia;
- d) reservatório.

Ainda segundo o sistema desenvolvido por Magri et al. (2008), que não foi eficiente na remoção dos indicadores microbiológicos observados, foi sugerida a integração de uma unidade de desinfecção ao fim do processo. Os autores avaliaram

que a combinação do filtro anaeróbio com o filtro de areia é uma opção viável em termos de tratamento de águas cinza, exceto quanto aos parâmetros microbiológicos.

3.8 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

A análise das características do efluente, conjuntamente com os requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reuso desejada, geralmente define o tipo de tratamento a ser adotado (BAZZARELLA, 2005).

Em se tratando de reuso de água, devido à grande variabilidade tanto da fonte quanto da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou o tipo de reuso pretendido, uma gama de sistemas ou sequencias de processos são possíveis de serem concebidos (MANCUSO E SANTOS, 2003). Os processos desenvolvidos variam desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON et al., 1999).

De acordo com a literatura técnica pesquisada, há vários tipos de tecnologias de tratamento de águas cinza, dentre as quais pode-se destacar as tecnologias mostrados a seguir.

3.8.1 SISTEMAS SIMPLIFICADOS TIPO DOIS-ESTÁGIOS

A filtração grosseira seguida de desinfecção é uma tecnologia comumente utilizada no Reino Unido para reuso doméstico, e várias empresas fabricam sistemas de tratamento de reuso que se baseiam nesse processo de dois estágio (two-stage process). Segundo Jefferson et al., (1999), o processo emprega um curto período de retenção hidráulica. Assim a natureza química da água cinza permanece inalterada e apenas um mínimo tratamento é requerido. A desinfecção pode ser feita utilizando tanto cloro como bromo, sendo eles dispersos na forma de pastilha que se dissolvem lentamente ou através de dosagem de solução líquida. Entretanto, concentração de matéria orgânica elevadas limitam a eficiência da desinfecção química, pois dificultam a difusão do desinfetante, aumentam a demanda do agente desinfetante e, no caso do cloro, pode gerar subprodutos como cloraminas e trihalometanos.

De acordo com Hill et al. (2003), o monitoramento de um sistema foi implantado por uma empresa britânica em cinco novas residências em Aylesbury (Inglaterra), utilizando o bromo como desinfetante. Este monitoramento mostrou uma

concentração de DBO_5 remanescente relativamente alta (22-87mg/L) e apresentou alguns problemas operacionais, como o entupimento da tubulação de entrada do filtro, falha na bomba e insuficiência na desinfecção. A Figura 7 mostra o sistema implantado por Hill et al. (2003).

Figura 7 – Sistema de reuso de água cinza utilizando o processo de dois-estágios



Fonte: HILL et al. (2003).

Um outro sistema de reuso implantado em um apart-hotel, localizado na Ilha de Mallorca (Espanha), utilizou processos de sedimentação, filtração (filtro de tela de nylon) e desinfecção (hipoclorito de sódio). Resultado satisfatório foram obtidos, através do controle adequado das condições operacionais (período de estocagem inferior a 48 horas e concentração de cloro ≥ 1 mg/L nas descargas dos toaletes). A qualidade da água de reuso (turbidez 16,5 NTU e SST 18,6 mg/L) foi bem aceita pelos hóspedes do hotel, embora alguns parâmetros estivessem aquém dos padrões estabelecidos para água potável (MARCH et al., 2004).

3.8.2 SISTEMAS FÍSICOS E FÍSICOS-QUÍMICOS

Os processos físicos desenvolvidos para o tratamento de águas cinza correspondem principalmente à filtração com leitos de areia e processos utilizando membranas, sendo que estes últimos geralmente são precedidos de um pré-tratamento apropriado (BAZZARELLA, 2005).

A remoção de sólidos suspensos da água cinza é essencial tanto para irrigação de jardins quanto para descargas de vasos sanitários. Segundo Christova-Boal et al. (1996), a utilização de filtros pode proporcionar qualidade aceitável para esse tipo de reuso. Em alguns locais experimentais a remoção do material suspenso foi alcançada através de um sistema de filtros com três estágios (CHRISTOVA-BOAL et al., 1996): pré-filtração (remoção de sólidos grosseiros do efluente de lavadeira, chuveiro e banheiro), filtro de peneira (coleta principalmente de cabelo, partículas de sabão, fibra de tecidos) e filtro fino (retenção dos precipitados e do material sedimentado). Os filtros utilizados nesse mesmo experimento necessitam de limpezas periódicas com duração de 15 a 20 min, uma ou duas vezes na semana, dependendo das atividades dentro das residências. Os resíduos eram dispostos na rede de esgoto ou em latas de lixo.

Os sistemas de membranas oferecem uma barreira permanente para as partículas suspensas de dimensões superiores ao material da membrana, que podem variar de 0,5 μm , para membranas de microfiltração (MF), até as dimensões moleculares utilizadas para osmose reversa. Apesar dos sistemas de membranas gerarem efluentes com baixíssima turbidez e densidade de coliformes abaixo do limite de detecção, eles apresentam a desvantagem de requererem elevadas demandas de energia (JEFFERSON et al., 1999).

3.8.3 SISTEMAS BIOLÓGICOS

O tratamento biológico de água cinza é requerido para remover o material biodegradável e é indicado especialmente para sistemas de reuso que possuem grandes redes de distribuição. No Japão, processos com biorreatores de membranas (do inglês MBR) têm sido muito empregados em sistemas de reuso de água em edifícios residenciais e comerciais (KISHINO et al., 1996). Esses processos de MBR combinam reatores de lodo ativado com membranas de microfiltração.

Um edifício na Universidade de Kalmar, na Suécia, com capacidade para 500 alunos, foi equipado com sistema reuso de água cinza (GUNTHER, 2000). O tratamento utilizado era composto por sistemas de lagoas e *wetlands*, denominados de *wetparks* (parque molhado) (Ver figura 8). A água cinza gerada no prédio, originada da lavagem de mão e de pratos, era disposta nas raízes da vegetação plantada e armazenada em uma lagoa até atingir a outra margem. Esse processo repetia-se por

três vezes para se conseguir uma grande redução de bactérias patogênicas, DBO e nutriente (Quadro 4). Após a última lagoa, a água seguia para um filtro de areia e era coletada em um reservatório. O tempo de detenção desse sistema era bastante elevado devido às baixas de temperaturas durante o inverno. De acordo com Gunther (2000), os *wetparks*, além de proporcionarem o tratamento da água cinza através de *wetlands* construídas, funcionavam também como parques para fins recreacionais.

Figura 8 – Sistema de *Wetpark* para tratamento de água cinza



Fonte: Gunther (2000).

Quadro 4 - Resultados obtidos no sistema wetpark para tratamento de água cinza

Amostras	DBO ₅ (mg/L)	Nitrogênio (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Coliformes termotolerantes (cfu/100mL)	Entreptococos fecais (cfu/100mL)
Água cinza bruta	47	3,72	3,73	9,4x10 ⁴	3,6x10 ⁴
Pond 1	0,5	0,975	0,372	2,5x10	3,61x10 ²
Pond 2	0	-	-	9,6x10	4,32x10 ²
Pond 3	0,8	1,9	0,02	1,1x10	1,5x10
Reservatório Final	0	1,618	0,022	1,72x10 ²	4,3x10

Fonte: Adaptado de Gunther (2000).

Para o presente trabalho, será abordado uma tecnologia constituída de areia, seixo e carvão ativado que, de maneira geral, está mais próximo do trabalho realizado por Hill et al., (2003). Os aspectos construtivos e operacionais da unidade de tratamento serão melhor abordados no item metodologia.

3.9 ESTOCAGEM

A estocagem é um importante elemento em todos os sistemas de reuso de água cinza e ela se faz necessária em algum ponto desse sistema, seja ela antes do tratamento ou depois dele. Segundo Dixon et al., (1999), se a água cinza for escoada antes do tratamento, existe a vantagem de alguns sólidos primários ficarem retidos antes de chegarem ao tratamento, entretanto, há o risco da geração de odores e do crescimento de microrganismos. A água cinza quando estocada na sua forma bruta passa por significantes mudanças de qualidade. Dixon et al. (1999) propuseram, hipoteticamente, quatro principais processos que puderam governar essas mudanças. A sedimentação das partículas suspensas e a perda de do oxigênio dissolvido (provavelmente causado pelo crescimento de biomassa aeróbia) são dominantes nas primeiras horas de estocagem. As outras duas processos-chaves são a reaeração do oxigênio dissolvido na superfície da água (colmandado pela variação de temperatura) e a liberação da DQO solúvel devido à degradação anaeróbia do material particulado sedimentado (teoria baseada principalmente pela observação do aumento da DQO, após alguns dias de estocagem e pela produção de maus odores, confirmando a anaerobiose).

4. METODOLOGIA

A pesquisa proposta foi de cunho experimental, sendo utilizada uma Estação Piloto de Tratamento de Água (ETA-piloto) em uma residência definida para este estudo. A casa está situada, geograficamente, na Região Administrativa da Candangolândia, Distrito Federal, e é constituída de três pavimentos em alvenaria, possuindo, dois banheiros no segundo pavimento e dois lavabos, um no térreo e o outro no terceiro pavimento. Possui também uma sala, cozinha, copa, despensa e uma garagem, todos no pavimento térreo. No segundo pavimento existem três quartos, sendo um suíte. O terceiro pavimento, local onde foi instalada a ETA-piloto, é composto por uma área gourmet e uma área de serviço. A residência possui uma família de 4 (quatro) pessoas. A Figura 9 mostra a vista geral da residência escolhida para o trabalho.

Figura 9 - Vista de frente da residência utilizada no estudo de água de reuso



Fonte: Autor

O projeto proposto teve como objetivo executar a melhoria dos efluentes de interesse, direcionando-os para o sistema de tratamento e, em seguida, após

armazená-los, esse efluente foi encaminhado para os pontos da casa onde ocorreu a utilização efetiva. Embora a utilização das águas cinza, como alternativa em tempos de escassez de água, tenha sido proposta como objeto de estudo, cabe ressaltar que estas águas, devido as suas origens, são de difícil caracterização, devido à diversidade de produtos químicos utilizados e ao fato delas poderem estar ou não contaminadas por patógenos. Desta forma, o primeiro passo para a realização deste trabalho foi a caracterização das águas cinza, de modo a viabilizar sua utilização de forma segura. Tratou-se, portanto, de uma água cinza clara, pois a mesma não era proveniente de pia de cozinha ou de máquina de lavar pratos. Desse modo, quando a água possui essas origens, ela é caracterizada como água cinza escura, conforme classificação de água de reuso estabelecida por Henze & Ledin, 2001 apud MAY, 2009.

4.1 SISTEMA DE REUSO

O sistema experimental de reuso utilizado para a coleta de amostras de águas cinza foi construído ao lado da área de serviço, pois a água bruta é oriunda da máquina de lavar e do tanque. O sistema de captação desta água permite que ela escoe para o reservatório de água bruta ou para o sistema de esgoto, caso seja necessário através de um registro de gaveta de DN 50. O material utilizado para a formação do sistema foi composto de caixas d'água para diferentes finalidades (reservatórios e filtro).

A ETA-piloto (Figura 10) foi constituída por:

- Reservatório de água bruta 1: capacidade de armazenamento de 500L. Recebia a água proveniente da máquina de lavar roupas e do tanque;
- Reservatório de água bruta 2: capacidade de armazenamento de 250L ficava a uma altura de 2,08m do piso. Recebia a água recalçada proveniente do reservatório 1. Para o recalque da água foi utilizada uma bomba d'água elétrica periférica de 1HP;
- Filtro: capacidade de armazenamento de 100 L, composto por uma camada de seixo com granulometria 19mm a uma espessura de 8cm, e outra camada de seixo com granulometria 9,5mm e espessura 9cm, uma camada de areia para filtro com granulometria 2,4mm e espessura 5cm e uma camada de carvão ativado com granulometria 2,4mm e espessura 4cm. Todas as camadas foram separadas por

manta geotêxtil, para que não houvesse mistura de material e para ajudar na filtragem;

- Reservatório de água tratada: capacidade de armazenamento de 500 L, recebia a água após tratamento. Esse reservatório foi dotado, em sua parte inferior, de um ponto de distribuição.

Figura 10 – Vista geral da ETA-piloto



Fonte: autor

O sistema de filtração da ETA-piloto operava em fluxo descendente, onde a água escoava através do meio filtrante já descrito. Dessa forma, a filtração ocorreu por ação da gravidade, conforme pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

Para que o funcionamento do sistema ocorresse de forma adequada, fez-se necessário o uso de tubulações e conexões descritas no Quadro 5.

Quadro 5 - Tubulações e Conexões utilizadas na ETA-piloto

Trecho	Registro de Gaveta (UN)	Joelho 90° (UN)	Joelho 45° Soldável (UN)	Tubulação DN 25 (m)	Tubulação DN 40 (m)	Tubulação DN 50 (m)	Adaptador Soldável com Anel para Caixa d'Água (UN)	Válvula retentora (UN)	Luva Soldável com Bucha de Latão (UN)	Torneira esfera de metal (UN)	Bomba d'água elétrica periférica de 1HP(UN)	Tê roscável (UN)	União roscável (UN)
R1 para R2	1	3	1		3,95	2	2	1	1		1	1	2
R2 para Filtro	1					0,49	2						
Filtro para Reservatório de água tratada		2				0,64	2						
Distribuição		2		0,56			1			1			

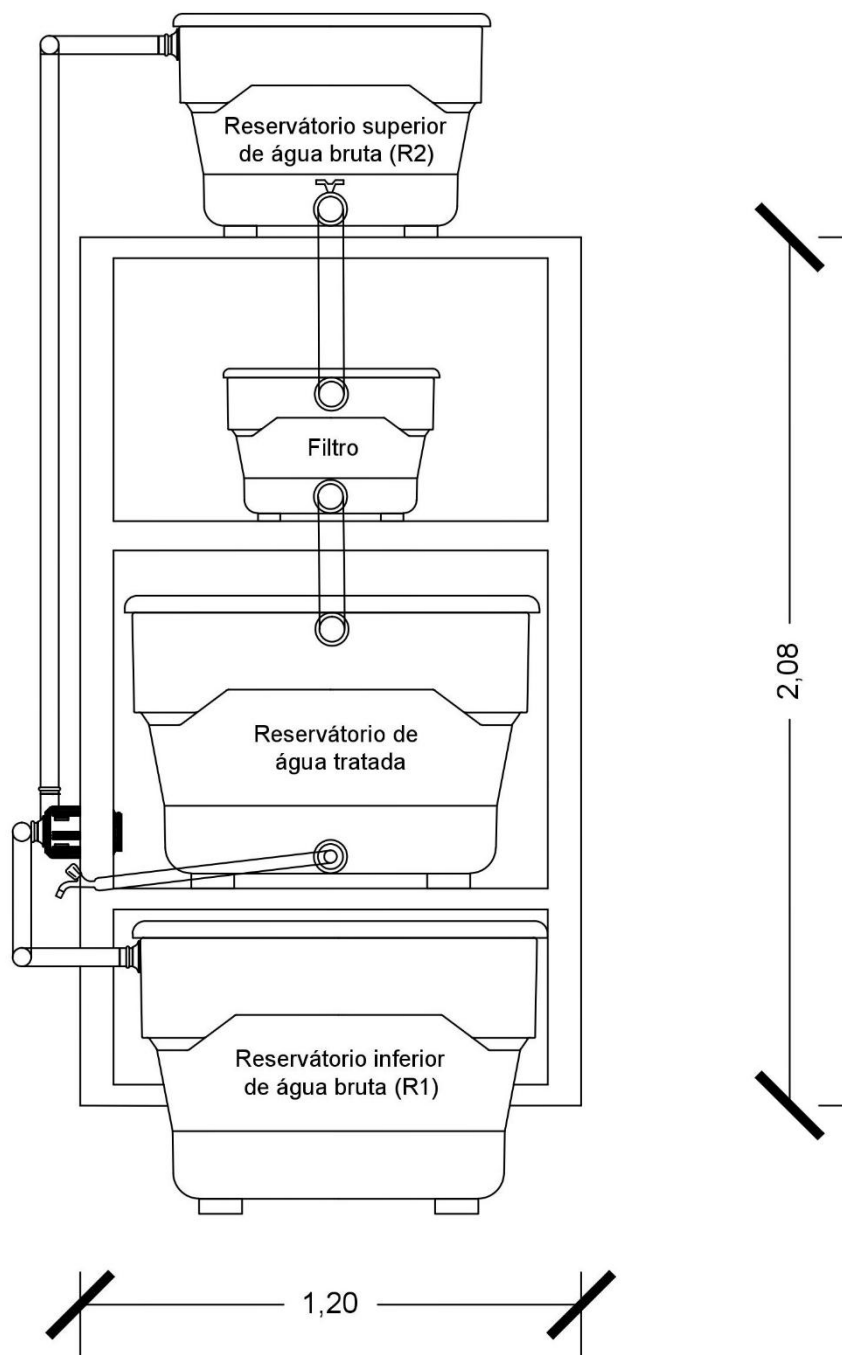
Fonte: Autor

Legenda:

R1- Reservatório inferior de água bruta

R2- Reservatório superior de água bruta

Figura 11 – Fluxograma da ETA-piloto



Fonte: Autor

Foram calculadas as vazões, perdas de carga e número de Reynolds em todos os trechos da ETA-piloto (Quadro 6). Para os cálculos de perda de carga, foi utilizada a fórmula universal, baseando no ábaco de Moody (Anexo II), e para determinar as perdas de carga localizadas, utilizou-se a tabela apresentada por Hélio Creder (2012) (Anexo III). O Anexo I apresenta o memorial de cálculo para obtenção dos resultados.

Quadro 6 - Vazão, perda de carga e Reynolds

Trecho	Vazão (L/s)	Perda de carga (m)	Reynolds
R1 para R2	$5,55 \times 10^{-1}$	$1,33 \times 10^{-1}$	Regime turbulento
R2 para Filtro (registro pouco aberto)	$1,33 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-2}$	Regime laminar
R2 para Filtro (registro totalmente aberto)	$2,79 \times 10^{-1}$	$4,23 \times 10^{-2}$	Regime turbulento
Filtro (registro pouco aberto) para Reservatório de água tratada	$1,20 \times 10^{-2}$	$9,08 \times 10^{-6}$	Regime laminar
Filtro (registro totalmente aberto) para Reservatório de água tratada	$1,51 \times 10^{-1}$	$9,17 \times 10^{-4}$	Regime turbulento
Distribuição	$8,19 \times 10^{-2}$	$5,62 \times 10^{-3}$	Regime turbulento

Fonte: Autor

Legenda:

R1 - Reservatório inferior de água bruta

R2- Reservatório superior de água bruta

5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

A operação da ETA-piloto aconteceu por etapas, sendo denominadas de carreiras de filtração. Assim, no total, foram realizadas três carreiras de filtração e, em cada uma delas, foram realizadas análises de sensibilidade do sistema de tratamento, a fim de corrigir possíveis falhas de funcionamento.

Na primeira etapa, foi possível constatar que o sistema de drenagem do filtro entupiu rapidamente. Isso ocorreu devido ao fato da manta colocada na tubulação de saída da água ser muito fina. Para corrigir esse problema, optou-se por substituir a manta por uma tela de aço inox, conforme pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Sistema de saída água do filtro com uso de manta e com uso de tela de aço inox



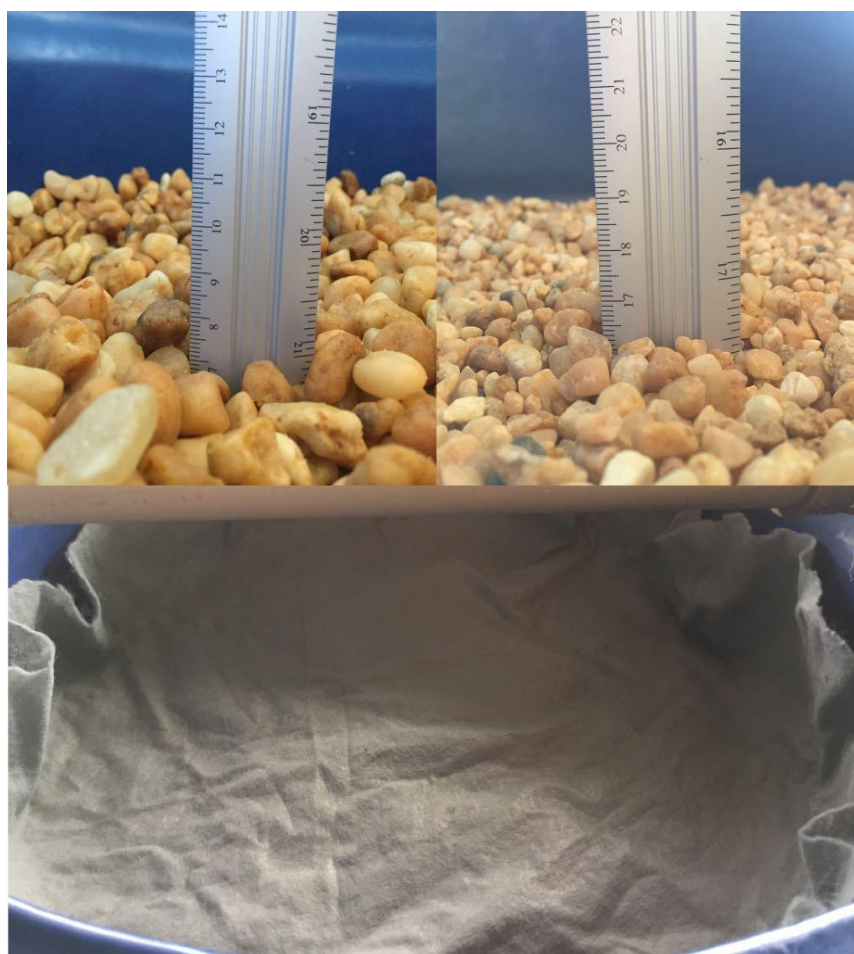
Fonte: Autor

Como já mencionado no item 4, foi utilizada uma bomba d'água para levar a água do reservatório inferior de água bruta 1 para o reservatório superior de água

bruta 2. Assim, observou-se que devido às sujeiras acumuladas no reservatório 1, poderia ocorrer dificuldade de funcionamento da válvula de retenção, a qual foi instalada no fim da tubulação submersa do reservatório 1. Essa válvula também foi responsável pelo travamento da bomba quando o nível da água atingia determinado nível. Inicialmente, todos estes problemas causaram entradas de ar na tubulação e, conseqüentemente, problemas operacionais no sistema.

Após a correção dos problemas iniciais, foi realizada, efetivamente, a primeira carreira de filtração. Nessa etapa, o filtro da ETA-piloto foi constituído de duas camadas de seixos com espessura total de 16 cm, seguida de uma manta geotêxtil, como mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Configuração do filtro durante a primeira carreira de filtração (camadas de seixos e manta geotêxtil)



Fonte: Autor

Na primeira etapa, a ETA-piloto operou com uma vazão de $1,33 \times 10^{-2}$ L/S e percebeu-se que a estrutura montada poderia ser reduzida, a fim de se ajustar em residências menores; contudo, devido ao tempo limitado para a realização do trabalho, tal redução não foi realizada e as demais etapas da pesquisa foram realizadas com a mesma estrutura, sendo alterados, apenas, a configuração do meio filtrante. A discussão sobre um novo modelo de ETA-piloto para água de reuso será abordado mais adiante.

O efluente produzido na primeira carreira de filtração resultou em uma coloração acentuada, contudo o resultado laboratorial não indicou a presença de organismos indicadores patogenicidade, já que ao final do tratamento também era realizada a desinfecção com pastilhas de cloro. Assim, o efluente foi utilizado para a lavagem de piso da residência.

Na tentativa de melhorar a qualidade visual do efluente, adicionou-se uma camada de areia, com 5 cm de espessura (Figura 14), durante a realização da segunda carreira de filtração, e foi constatado que houve uma melhora não só do aspecto visual da água, mas também do parâmetro turbidez, havendo uma redução desse parâmetro da ordem de 17%.

Figura 14 - Camada de Areia



Fonte: Autor

O último material filtrante adicionado, na terceira carreira de filtração, foi o carvão ativado, cuja espessura foi de 7 mm. Com alguns dias em funcionamento, o sistema filtrante apresentou um entrave, a água não percolava pelas camadas do filtro. Assim, após averiguar o problema, constatou-se que a camada de carvão havia colmatado (Figura 15). Fez-se necessário, então, trocar a camada de carvão ativado, substituindo-o por uma camada de apenas 4 cm de espessura.

Figura 15 - Filtro com a camada filtrante colmatada



Fonte: Autor

Cabe destacar que durante todas as etapas de operação da ETA-piloto foram realizadas análises da água, entretanto, verificou-se que os resultados produzidos durante a terceira carreira de filtração não foram aceitáveis, pois ocorreu um erro laboratorial na determinação dos parâmetros. Esse aspecto representou uma limitação significativa do trabalho, uma vez que os parâmetros qualitativos da água foram realizados por terceiros.

Com o uso do carvão ativado, foi possível observar também que houve uma redução do odor da água, o que é perfeitamente plausível, haja vista que a literatura técnica relata que o carvão tem essa capacidade. As características granulométricas

dos materiais inseridos no filtro, com a utilização do carvão, são mostradas na Quadro 7.

Quadro 7 – Características das carreiras de filtração utilizadas na ETA – Piloto

Carreira de filtração	Camada	Granulometria
1	Seixo maior	19,0 mm
	Seixo menor	9,5 mm
2	Areia	2,4 mm
3	Carvão ativado	2,4 mm

Fonte: Autor

Após todos os processos de operação da ETA-piloto, verificou-se que restava água entre o ponto de saída e o fundo do reservatório, gerando assim problemas não mensurados inicialmente no projeto, tais como: odor e decomposição da água restante. Realizava-se, então, dois processos para facilitar o escoamento dessa água: primeiro, uma limpeza manual, com a retirada de toda água e lavagem do reservatório e, segundo, agregava-se outro volume de água, proveniente da máquina de lavar ou do tanque, misturando-se, assim, com a água já existente. Esses procedimentos eliminavam ou diminuíaam o odor da água.

5.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA ETA-PILOTO

Os valores gastos na implantação da ETA-piloto (Quadro 8) foram referentes à estrutura metálica, mão de obra para instalação do sistema e materiais utilizados. O custo com a realização das análises de água no laboratório contratado não foi computado.

Quadro 8 – Custo de implantação da ETA-piloto

Itens	Valor
Estrutura metálica	R\$ 2.000,00
Mão de obra da estrutura	R\$ 350,00
Mão de obra da instalação elétrica	R\$ 150,00
Materiais	R\$ 1.666,49
Meio filtrante (seixos, areia, carvão ativado e manta geotêxtil)	R\$ 683,51
Outros	R\$ 120,00
Total	R\$ 4.970,00

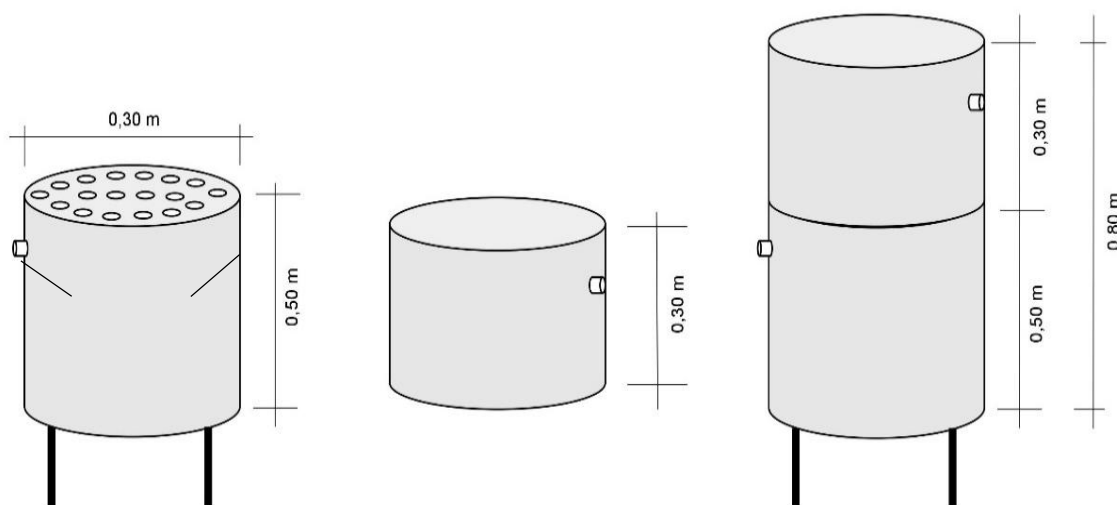
Fonte: Autor

O item referente aos materiais corresponde a tubulações, conexões, registros, válvulas, caixas d'água e uma bomba d'água de 1 HP.

Conforme já mencionado, logo no início da operação da ETA-piloto foi possível perceber que a estrutura poderia ser reduzida, o que resultaria em um custo de implantação menor ao que foi gasto na estação utilizada neste trabalho. Dessa forma, o valor total mostrado no Quadro 8 não é definitivo, havendo, portanto, necessidade de estudo adicional, a fim de se estabelecer um valor mais acessível a um maior número de pessoas, além de mensurar a economia/retorno do investimento.

5.2 PROPOSTA DE MODELO PARA UMA UNIDADE DE TRATAMENTO PARA ÁGUA DE REUSO

A alteração da ETA-piloto utilizada neste trabalho para um modelo mais compacto também foi objeto deste trabalho, mas apenas como uma nova proposta, a qual precisará ser validada por outra pesquisa. Esse novo modelo de ETA-piloto proposto (Figura 16) foi resultado do estudo feito durante a elaboração da revisão bibliográfica deste trabalho, bem como pela operação da estrutura mostrada nas Figuras 10 e 11.

Figura 16 - Modelo de ETA-piloto proposto para água de reuso

Fonte: Autor

Dentre os trabalhos pesquisados, o estudo desenvolvido por Kishino et al. (1996), que estudaram o tratamento da água de reuso com biorreatores de membranas, foi o que mais serviu de embasamento para o sistema de tratamento mostrado pela Figura 16.

Em linha gerais, o sistema poderá funcionar da seguinte forma: a água oriunda da máquina e do tanque será conduzida para o compartimento inferior. Nesse local a água ficará armazenada por um determinado período de tempo, razão pela qual o primeiro compartimento atuará como um reator, a exemplo do que acontece em um reator anaeróbio, uma vez que o material presente no afluente começará se decompor (reação anaeróbia). O segundo compartimento (parte superior) será um filtro ascendente. Assim, como a unidade será operada por batelada, quando uma nova demanda de água for introduzida, ela elevará o nível do líquido, forçando a passagem da água pelo meio filtrante, sendo distribuída por gravidade para o uso pré-estabelecido.

6. CONCLUSÃO

A reutilização da água cinza gerada nas edificações diminui o consumo de água potável para fins menos nobres e contribui para a sustentabilidade hídrica das cidades, pois, em um país onde o saneamento básico não é para todos e a maioria das cidades despeja o esgoto doméstico diretamente nos rios ou a céu aberto, essa medida minimiza a quantidade de poluição lançada nos corpos hídricos.

Em relação às avaliações da estrutura ETA-piloto e da qualidade da água cinza deste estudo, as conclusões podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

- A ETA-piloto apresentou uma estrutura de grande porte para ser utilizada em residências unifamiliares, sendo assim não é uma estrutura de fácil mobilidade, sendo, portanto, de difícil instalação em residências menores.
- Devido a estrutura robusta, o custo estrutural da ETA-piloto também não foi muito acessível, visto que é necessário conciliar inovações tecnológicas com custo/benefício.
- O sistema ETA-piloto recebia um volume de 250L por semana, visto que se usava a lavanderia apenas uma vez a cada semana. As águas eram oriundas da máquina de lavar e do tanque. Assim, após o tratamento, o uso do efluente era destinado à lavagem de áreas e garagem; porém, foi observado que a oferta era maior que a demanda, e isso acabava gerando um problema de odor.
- Com a pequena oferta e demanda na residência, verificou-se também que os reservatórios de água bruta e de água tratada poderiam ser menores.
- As águas para reuso eram utilizadas apenas na lavagem de áreas e garagem, pois o local em que a ETA-piloto foi instalada era uma residência unifamiliar já pronta, e não era viável a instalação da tubulação para levar esta água para outros compartimentos da residência.
- O sistema filtrante da ETA-piloto funcionou de forma positiva, porém a qualidade da água nas três carreiras de filtração (somente seixo, seixo + areia, seixo + areia + carvão ativado) não foi avaliada de forma positiva, havendo necessidade de avaliação adicional, haja vista que constatado falhas nas análises realizadas pelo laboratório contratado.

Isso posto, foi possível constatar que mesmo diante erros ocorridos em respostas duvidosas, particularmente no que se refere ao aspecto laboratorial, o reuso

de água para fins não potáveis em residências pode se tornar uma alternativa tecnológica cada vez mais presente na vida das pessoas, necessitando, contudo, de estudos adicionais para torna-la mais acessível a um maior número de pessoas.

6.1 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que se busque novos sistemas filtrantes, como por exemplo, o citado na Figura 16 para uma nova proposta de trabalho.
- Testar a substituição do carvão ativado pelo carvão antracito, na tentativa de se alcançar melhor desempenho na filtragem.
- Testar outros tipos de matérias na construção de uma unidade de tratamento.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

_____.NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R. S. D.; OLIVEIRA, L.V.; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: Março de 2018.

ANDREASI, W. A. A Atual Demanda Urbana de Água: uma Breve Discussão. Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água do Programa de PósGraduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2003.

BATISTA, M. S. A problemática do abastecimento de água na cidade de Triunfo-PB, no período de 2012-2013. Curso de licenciatura em Geografia – Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras – PB, 2014.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

BIO: Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente. Economia de água. Rio de Janeiro, RJ, v.11, n. 18, abr./jun. 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas; FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DOS ESTADOS DE SÃO PAULO; SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Conservação e reuso de água em edificações. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.gerenciamento.ufba.br> Acesso em: Maio de 2018.

CARVALHO, P. F. D; Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional. Águas nas cidades: reflexões sobre usos e abusos para aprender novos usos. Rio Claro (SP): Ed. Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – UNESP - IGCE, 2003.

CARVALHO, R. S. Água, um bem que precisa ser cuidado, Coordenador Nacional do Projeto de Estruturação Institucional de Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos – BRA/OEA/01/002 – SRH/MMA, 2004.

CARVALHO, S. C.; PEREIRA, G. S.; OLIVEIRA, V. S.; SARABÁ, M. G.; FLORES, M. E. P. Aproveitamento de águas pluviais e águas cinzas no ambiente doméstico. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto alegre – RS, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. A. Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reuso da Água. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. Na investigation into greywater reuse for urban residential properties. Desalination, 1996.

CLARKE, R. e KING, J. O atlas da água: O mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. 2005. 1ª edição. Editora Publifolha. São Paulo.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: www.cnrh.gov.br. Acesso em: Março de 2018.

CREDER, Hélio. Instalações Hidráulicas e Sanitárias. 6. Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2012.

DECA. Uso racional de água. Disponível em: <https://www.deca.com.br/>. Acesso em Abril de 2018.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. Water Science and Technology, 1999.

EPA (US) – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Manual: Guidelines for water reuse. EPA/625/R-92/004. Office of Water, Washington, DC, 1992.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H.; LEDIN, A. A characteristics of grey wastewater. Urban Water, 2002.

Feital, C. C. J, et al. O Consumo Consciente da água: Um Estudo do Comportamento do Usuário Doméstico. III Encontro de Marketing da ANPAD, Curitiba PR, (2008).

FERNANDES, R. Déficit Hídrico. Espaço da Geografia. 2008. Disponível em: <http://espacodageografia.spaceblog.com.br/199775/DEFICIT-HIDRICO-Rafael-fernandes-1-a-manha/>. Acesso em: Abril de 2018.

FERREIRA, D. F. Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – Sc. 2005. (Graduação em Engenharia civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

FIORI, S. FERNANDES, V. M. C. PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reuso de águas cinzas em edificações. 2006. Programa de Pós-Graduação em engenharia na Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil, Artigo submetido à revista Building and Environment, mas ainda não publicado, 2004.

GUNTER, F. Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. Ecological Engineering, 2000.

HILL, S.; BIRKS, R; DIAPER, C.; JEFFREY, P. Na evaluating og single-house greywater recycling system. In: Proc. IWA International Symposium on Wastewater Reclamation & Reuse, 2003, cidade do México.

HINRICHSEN, D.; ROBEY, B.; UPADHYAY, U. D. Solutions for a water-short world. Baltimore, Johns Hophins School of Public Health. Population Informarion Program, 1997. Disponível em: http://infoforhealth.org/pr/m14chap2_2.shtml. Acesso em: Maio de 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: Março de 2018.

IDEC. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2010). Água um recurso cada vez mais ameaçado. Disponível em: <https://idec.org.br/> Acesso em: Maio de 2018.

JEFFERSON, et al. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water, 1999.

KISHINO, H.; ISHIDA, H.; IWABU, H.; NAKANO. Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor, 1996.

LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

LIMA, J. G. O paradoxo da água. Veja, São Paulo, ano 38, n. 41, out 2005.

MACHADO, J. 2009. A redescoberta do Aquífero Guarani; Scientific American Brasil.

MAGRI, M. E.; FENELON, F. R.; RABELO, L.; ROSSETO, T. S.; PHILIPPI, L. S. Reuso de águas cinzas tratadas em descarga de vaso sanitário e rega de jardim. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIROS DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 2008, Belém. Trabalhos técnicos... Rio de Janeiro: ABES, 2008.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reuso de água. Barueri-SP: Manoele, 2003.

MARCH, J. G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain), 2004.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. 2008. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAY, S. Estudo do aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo).

MAY, S.; HESPANHOL, I. Caracterização e Tratamento de Águas Cinzas para consumo não Potável em Edificações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta Del Leste. Anais... Punta Del Leste: Asociación Interamericana de Ingenieria Ambiental, 2006.

MELLO, M. C. S. A Crise Hídrica no cenário mundial: análise de suas causas, consequências e proposição de soluções que possibilitem a reversão desse quadro. Rio de Janeiro, 2010.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. Urban Water, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/>. Acesso em: Abril de 2018.

OBSERVATÓRIO HISTÓRICO GEOGRÁFICO. Blog Educacional. 2016. Disponível em: <http://obshistoricogeo.blogspot.com/2016/02/ciclo-hidrologico-ou-da-agua-omovimento.html>. Acesso em: Março de 2018.

PITTON, S. E.C; Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional. A água e a cidade. Rio Claro (SP): Ed. Laboratório de Planejamento Municipal – Deplan – UNESP - IGCE, 2003.

REBOUÇAS, A. C. Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez. Bahia Análise & Dados. Salvador, 2003.

REBOUÇAS, Aldo. Uso Inteligente da água. São Paulo. Editora: Escrituras, 2004.

ROCHA, A. L.; BARRETO. D.; IOSHIMOTO, E. Caracterização e monitoramento do consumo predial de água. Brasília: Ministério do planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. (Programa nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documento Técnico de Apoio; E1), 1998.

SELLA, M, B. Reuso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências. 2011. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SERPA, Thiago. Tratamento e Tratamento e Reuso da Água Cinza. <https://liter.com.br/tratamento-e-reuso-de-agua-cinza/>. Acesso em abril de 2018.

SERVIÇO DE APOIO PEDAGÓGICO ONLINE – SAPO (2010). Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.sapo.salvador.ba.gov.br/arq/recursos_arquivos/slide0148_image1. Acesso em: Maio de 2018.

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

TOMAZ, P. Economia de água para Empresas e Residências, Navegar editora, São Paulo, 2001.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar, 2000.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, v.22, n.63, p.1-16, 2008.

TUNDISI, José Galizia. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. São Paulo: oficina de Textos. 2011.

UNESCO. Organizações das Nações Unidas para a Educação, a ciência e a cultura. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/> Acesso em: Abril de 2018.

WEBCIÊNCIA (2008). Água. Disponível em: https://webciencia.com/artigo/21_agua Acesso em: Abril de 2018.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of Express. Technical report series N° 517. Genebra, 1973.

ANEXO I – MEMORIAL DE CÁLCULO

Memorial de cálculo para vazão (Q), perda de carga (hf) e número de Reynolds.

V= volume

t= tempo

D= diâmetro

A= área

L= comprimento

k= rugosidade

ν = Viscosidade cinemática do fluido

- Cálculo da bomba para o reservatório de água bruta 2, trecho (R1 para R2):

Dados:

V= 1L

t= 1,8s

D= 32mm

ν = 10^{-6}

k= 0,06

L= 2,35m

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1}{1,8} = 0,55 \quad \Rightarrow \quad Q = 5,55 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,032^2}{4} \quad \Rightarrow \quad A = 8,04 \times 10^{-4} m^2$$

$$V_{méd} = \frac{Q}{A} = \frac{5,55 \times 10^{-4}}{8,04 \times 10^{-4}} \quad \Rightarrow \quad V_{méd} = 6,91 \times 10^{-1} \frac{m}{s}$$

$$N^{\circ} Re_{ynolds} = \frac{V_{méd} * D}{\nu} = \frac{6,91 \times 10^{-1} * 0,032}{10^{-6}} \quad \Rightarrow \quad N^{\circ} Re_{ynolds} = 22104,85$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{32} \quad \Rightarrow \quad \frac{k}{D} = 0,001875$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de f= 0,031

$$hf = f \frac{L * V_{méd}^2}{D * 2g} = 0,031 \frac{2,35 * (6,91 \times 10^{-1})^2}{0,032 * 2 * 9,8} \Rightarrow hf = 0,055m$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho (R1 para R2) correspondem a:

Conexões	k
1 Registro de gaveta (aço)	0,2
1 Joelho de 45°	1
1 Joelho de 90°	2

$$\frac{V_{méd}^2}{2g} = \frac{6,91 \times 10^{-1}}{2 * 9,8} \Rightarrow \frac{V_{méd}^2}{2g} = 0,024m$$

$$1 \text{ Registro de gaveta} \rightarrow hf1 = \frac{V_{méd}^2}{2g} * k = 0,024 * 0,2 \Rightarrow hf1 = 4,86 \times 10^{-3} m$$

$$1 \text{ Joelho de } 45^\circ \rightarrow hf2 = \frac{V_{méd}^2}{2g} * k = 0,024 * 1 \Rightarrow hf2 = 2,13 \times 10^{-2} m$$

$$1 \text{ Joelho de } 90^\circ \rightarrow hf3 = \frac{V_{méd}^2}{2g} * k = 0,024 * 2 \Rightarrow hf3 = 4,86 \times 10^{-2}$$

$$hf_{total} = hf + hf1 + hf2 + hf3 \Rightarrow hf_{total} = 1,33 \times 10^{-1} m$$

- Cálculo do reservatório de água bruta 2 com registro pouco aberto para filtro:

Dados:

$$V = 0,8L$$

$$t = 60s$$

$$D = 50mm$$

$$v = 10^{-6}$$

$$k = 0,06$$

$$L = 0,75m$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,8}{60} = 0,0133 \Rightarrow Q = 1,33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,050^2}{4} \Rightarrow A = 1,96 \times 10^{-3} m^2$$

$$V_{méd} = \frac{Q}{A} = \frac{1,33 \times 10^{-5}}{1,96 \times 10^{-3}} \Rightarrow V_{méd} = 6,79 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$N^{\circ} Re_{ynolds} = \frac{V_{méd} * D}{\nu} = \frac{6,79 \times 10^{-3} * 0,050}{10^{-6}} \Rightarrow N^{\circ} Re_{ynolds} = 339,5$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{50} \Rightarrow \frac{k}{D} = 0,0012$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de $f = 0,19$

$$h_f = f \frac{L * V_{méd}^2}{D * 2g} = 0,19 \frac{0,75 * (6,79 \times 10^{-3})^2}{0,050 * 2 * 9,8} \Rightarrow h_f = 6,65 \times 10^{-6} m$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho reservatório 2 para filtro correspondem a:

Conexões	k
1 Registro de gaveta	37,9
2 joelhos de 90°	1,3

$$\frac{V_{méd}^2}{2g} = \frac{6,79 \times 10^{-3}}{2 * 9,8} \Rightarrow \frac{V_{méd}^2}{2g} = 3,46 \times 10^{-4} m$$

$$1 \text{ Registro de gaveta} \rightarrow h_{f1} = \frac{V_{méd}^2}{2g} * k = 6,79 \times 10^{-3} * 37,9 \Rightarrow h_{f1} = 1,31 \times 10^{-2} m$$

$$2 \text{ Joelho de } 90^{\circ} \rightarrow h_{f2} = \frac{V_{méd}^2}{2g} * k = 6,79 \times 10^{-3} * 1,3 \Rightarrow h_{f2} = 9,01 \times 10^{-4} m$$

$$h_{ftotal} = h_f + h_{f1} + h_{f2} \Rightarrow h_{ftotal} = 1,40 \times 10^{-2} m$$

- Cálculo do reservatório de água bruta 2 com registro totalmente aberto para filtro:

Dados:

$$V = 3,35L$$

$$t = 12s$$

$$D = 50mm$$

$$\nu = 10^{-6}$$

$$k = 0,06$$

$$L = 0,75\text{m}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{3,35}{12} = 0,279 \quad \Rightarrow \quad Q = 2,79 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,050^2}{4} \quad \Rightarrow \quad A = 1,96 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$V_{\text{méd}} = \frac{Q}{A} = \frac{2,79 \times 10^{-4}}{1,96 \times 10^{-3}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{méd}} = 1,42 \times 10^{-1} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N^{\circ} \text{Re ynolds} = \frac{V_{\text{méd}} * D}{\nu} = \frac{1,42 \times 10^{-1} * 0,050}{10^{-6}} \quad \Rightarrow \quad N^{\circ} \text{Re ynolds} = 7108,9$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{50} \quad \Rightarrow \quad \frac{k}{D} = 0,0012$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de $f = 0,035$

$$hf = f \frac{L * V_{\text{méd}}^2}{D * 2g} = 0,035 \frac{0,75 * (1,42 \times 10^{-1})^2}{0,050 * 2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad hf = 5,41 \times 10^{-4} \text{m}$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho reservatório 2 para filtro correspondem a:

Conexões	k
1 Registro de gaveta	37,9
2 joelhos de 90°	1,3

$$\frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = \frac{(1,42 \times 10^{-1})^2}{2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = 3,91 \times 10^{-2} \text{m}$$

$$1 \text{ Registro de gaveta} \rightarrow hf1 = \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} * k = 3,91 \times 10^{-2} * 37,9 \quad \Rightarrow \quad hf1 = 2,68 \times 10^{-2} \text{m}$$

$$2 \text{ Joelho de } 90^{\circ} \rightarrow hf2 = \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} * k = 3,91 \times 10^{-2} * 1,3 \quad \Rightarrow \quad hf2 = 3,91 \times 10^{-2} \text{m}$$

$$hf_{\text{total}} = hf + hf1 + hf2 \quad \Rightarrow \quad hf_{\text{total}} = 4,23 \times 10^{-2} \text{m}$$

- Cálculo do filtro com registro pouco aberto para reservatório de água tratada:

Dados:

$$V = 1\text{L}$$

$$t = 83\text{s}$$

$$D = 50\text{mm}$$

$$\nu = 10^{-6}$$

$$k = 0,06$$

$$L = 0,51\text{m}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1}{83} = 0,012 \quad \Rightarrow \quad Q = 1,20 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,050^2}{4} \quad \Rightarrow \quad A = 1,96 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$V_{\text{méd}} = \frac{Q}{A} = \frac{1,20 \times 10^{-5}}{1,96 \times 10^{-3}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{méd}} = 6,14 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N^{\circ} \text{Re ynolds} = \frac{V_{\text{méd}} * D}{\nu} = \frac{6,14 \times 10^{-3} * 0,050}{10^{-6}} \quad \Rightarrow \quad N^{\circ} \text{Re ynolds} = 306,8$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{50} \quad \Rightarrow \quad \frac{k}{D} = 0,0012$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de $f = 0,208$

$$hf = f \frac{L * V_{\text{méd}}^2}{D * 2g} = 0,208 \frac{0,51 * (6,14 \times 10^{-3})^2}{0,050 * 2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad hf = 4,09 \times 10^{-6} \text{m}$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho filtro para reservatório de água tratada correspondem a:

Conexões	k
2 joelhos de 90°	1,3

$$\frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = \frac{(6,14 \times 10^{-3})^2}{2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = 1,92 \times 10^{-6} \text{m}$$

$$2 \text{ Joelho de } 90^\circ \rightarrow hf1 = \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} * k = 1,92 \times 10^{-6} * 1,3 \quad \Rightarrow \quad hf1 = 4,99 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$hf_{\text{total}} = hf + hf1 \quad \Rightarrow \quad hf_{\text{total}} = 9,08 \times 10^{-6} \text{ m}$$

- Cálculo do filtro com registro totalmente aberto para reservatório de água tratada:

Dados:

$$V = 1 \text{ L}$$

$$t = 6,62 \text{ s}$$

$$D = 50 \text{ mm}$$

$$\nu = 10^{-6}$$

$$k = 0,06$$

$$L = 0,51 \text{ m}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1}{6,62} = 0,15 \quad \Rightarrow \quad Q = 1,51 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,050^2}{4} \quad \Rightarrow \quad A = 1,96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{méd}} = \frac{Q}{A} = \frac{1,51 \times 10^{-4}}{1,96 \times 10^{-3}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{méd}} = 7,69 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N^\circ \text{Re ynolds} = \frac{V_{\text{méd}} * D}{\nu} = \frac{7,69 \times 10^{-2} * 0,050}{10^{-6}} \quad \Rightarrow \quad N^\circ \text{Re ynolds} = 3846,6$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{50} \quad \Rightarrow \quad \frac{k}{D} = 0,0012$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de $f = 0,043$

$$hf = f \frac{L * V_{\text{méd}}^2}{D * 2g} = 0,043 \frac{0,51 * (7,69 \times 10^{-2})^2}{0,050 * 2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad hf = 1,32 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho filtro para reservatório de água tratada correspondem a:

Conexões	k
2 joelhos de 90°	1,3

$$\frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = \frac{(7,69 \times 10^{-2})^2}{2 * 9,8} \Rightarrow \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = 3,02 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$2 \text{ Joelho de } 90^\circ \rightarrow hf_1 = \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} * k = 3,02 \times 10^{-4} * 1,3 \Rightarrow hf_1 = 7,85 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$h_{\text{ftotal}} = hf + hf_1 \Rightarrow h_{\text{ftotal}} = 9,17 \times 10^{-4} \text{ m}$$

- Cálculo da saída do reservatório para distribuição:

Dados:

$$V = 1 \text{ L}$$

$$t = 12,21 \text{ s}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$\nu = 10^{-6}$$

$$k = 0,06$$

$$L = 0,57 \text{ m}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1}{12,21} = 0,082 \Rightarrow Q = 8,19 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0,025^2}{4} \Rightarrow A = 4,9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{méd}} = \frac{Q}{A} = \frac{8,19 \times 10^{-5}}{4,9 \times 10^{-4}} \Rightarrow V_{\text{méd}} = 1,67 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N^\circ \text{Re ynolds} = \frac{V_{\text{méd}} * D}{\nu} = \frac{1,67 \times 10^{-2} * 0,025}{10^{-6}} \Rightarrow N^\circ \text{Re ynolds} = 4171,1$$

$$\frac{k}{D} = \frac{0,06}{25} \Rightarrow \frac{k}{D} = 0,0024$$

Conforme ábaco de moody (Anexo II) o valor de $f = 0,042$

$$hf = f \frac{L * V_{\text{méd}}^2}{D * 2g} = 0,042 \frac{0,57 * (1,67 \times 10^{-2})^2}{0,025 * 2 * 9,8} \Rightarrow hf = 1,36 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Conforme a tabela de Hélio Creder para PVC (Anexo III), as perdas de carga localizada no trecho filtro para reservatório de água tratada correspondem a:

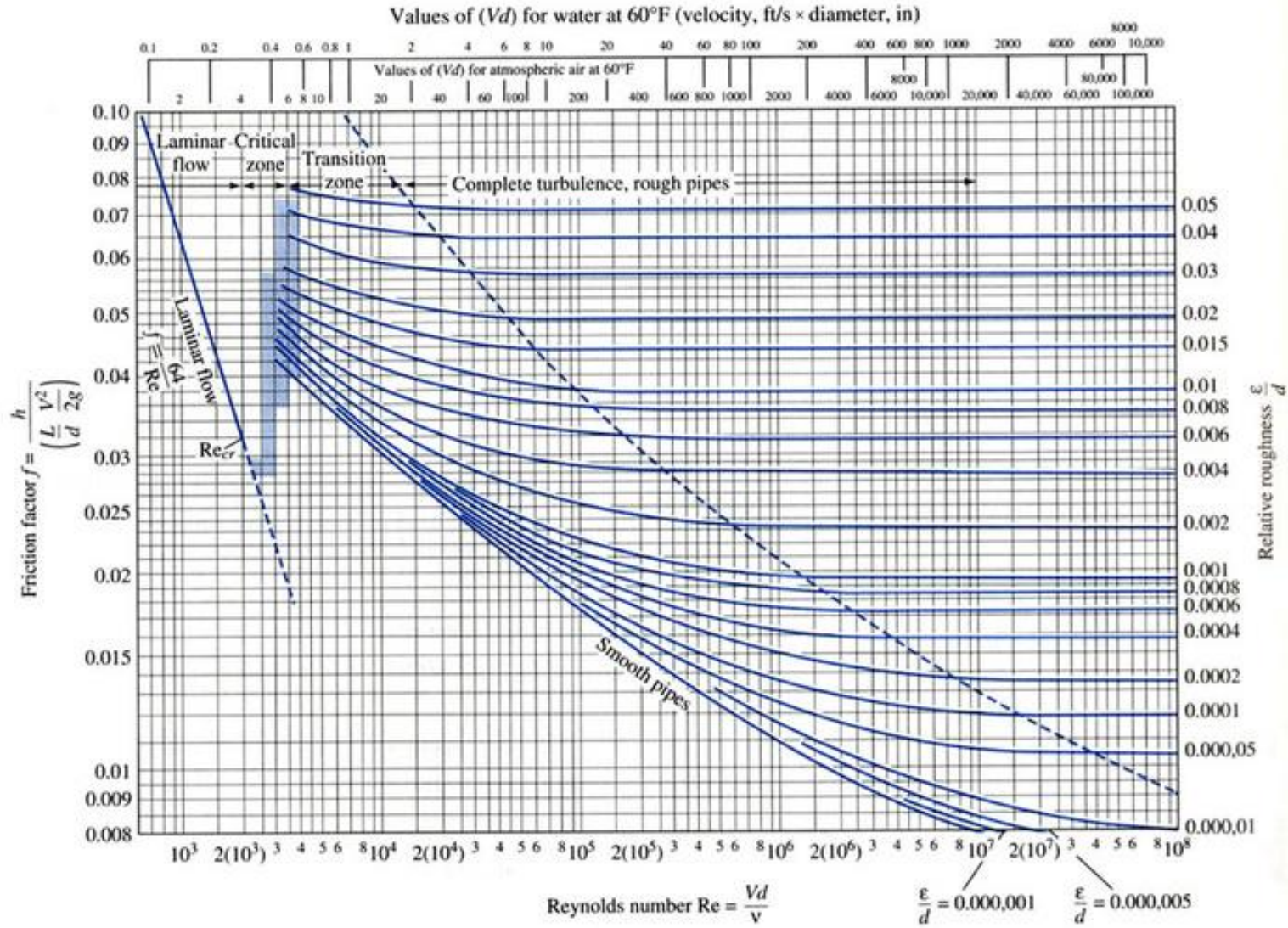
Conexões	k
2 joelhos de 90°	1,5

$$\frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = \frac{(1,67 \times 10^{-2})^2}{2 * 9,8} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} = 1,42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$2 \text{ Joelho de } 90^\circ \rightarrow hf_1 = \frac{V_{\text{méd}}^2}{2g} * k = 1,42 \times 10^{-3} * 1,5 \quad \Rightarrow \quad hf_1 = 4,26 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$hf_{\text{total}} = hf + hf_1 \quad \Rightarrow \quad hf_{\text{total}} = 5,62 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ANEXO II – ÁBACO DE MOODY



ANEXO III – TABELA PERDA DE CARGAS LOCALIZADAS

Diâmetro nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° passag. direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilat.	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de Canaliz.	Válvula de pé e crivo	Válv. de retenção		Registro de globo aberto	Registro de gaveta aberto	Registro de ângulo aberto
DN	(Ref.)												Tipo leve	Tipo pesado			
	(-)																
15	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32	(1,1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,5	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	(1,1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,8	7,8	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60	(2,1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
75	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
100	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
150	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fig. 1.16 (d) Perdas de cargas localizadas — sua equivalência em metros de tubulação de PVC rígido ou cobre.

